

Ositum Oy:n tilastoaineistoon perustuvat raportoinnin viitearvot ja niiden hyödyntäminen sisäilma- ja rakenneauriotutkimuksissa

FT Juhani Kronholm, TKT Pekka Aittala, kemian laboratorio, Ositum Oy

FT Merja Mikkonen, mikrobilaboratorio, Ositum Oy

1. Tiivistelmä

Ositum Oy on ottamassa käyttöön tilastovertailuun perustuvan raportointimalli, joka koskee sisäilman VVOC- ja VOC- ja mikrobianalyysijä sekä materiaalien FLEC- ja mikrobianalyysijä. Nykyään Asumisterveysopas määrittelee rakennemateriaalien kuntoa ja sisäilman laatua epämääräisesti, minkä vuoksi Ositum Oy katsoi tärkeäksi tutkia, onko olemassa olevissa viitearvoissa korjaamisen tarvetta ja voidaanko mahdollisesti esittää kokonaan uusia viitearvoja. Tilastollisessa tarkastelussa 90. persentiili (P90-arvo) kuvaa poikkeuksellisia pitoisuuksia, jotka hyvin todennäköisesti ilmaisevat sisäilma- tai materiaaliongelmaa. Tyypillistä pitoisuutta kuvaa tilastollinen mediaani.

Havaittiin, että VVOC- ja VOC-analyysien kokonaispitoisuuden (TVOC) P90-arvo kesällä ja talvella on jonkin verran Asumisterveysoppaan $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$:aa pienempi. Vastaavasti styreenin P90-arvo kesällä ja talvella, $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on huomattavasti asumisterveysoppaan viitearvoa ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pienempi. Havaittujen yksittäisten yhdisteiden P90-viitearvon ylitysten tulkinnassa tulee kuitenkin olla varovainen. Yksittäiselle yhdisteelle on useita mahdollisia lähteitä, ja se voi olla peräisin rakenteellisesta vauriosta mutta myös jostakin ulkoisesta lähteestä. Materiaalien VVOC- ja VOC-analyysituloksista havaitaan, että aineisto on painottunut vaurion suuntaan. Lisäksi VVOC- ja VOC-emissiot vaihtelevat paljon eri näytteiden välillä. Tämä hankaloittaa absoluuttisten viitearvojen määrittämistä. Siksi Ositum Oy:n laboratoriossa materiaalien VVOC- ja VOC-analyysitulosten tulkinnassa käytetään tällä hetkellä kokonaisemissioon suhteutettua 10 % TVOC:sta - viitearvoa.

Ositum Oy:ssä analysoitujen viljelyilmanäytteiden sädesienien, homeiden ja bakteerien P90-arvot noudattavat hyvin Asumisterveysoppaassa määritettyjen raja-arvojen suuruusluokkia. Viljelyanalyysissä havaittujen mikrobien määrä on selvästi matalampi kuin qPCR-analyysissä, koska qPCR-analyysissä saadaan elävien mikrobien lisäksi näkyville myös kuolleet mikrobit. Viljelymateriaalinäytteiden sädesienien ja homeiden P90-arvot ovat selvästi Asumisterveysoppaassa määritettyjä raja-arvoja suurempia, koska tilastoaineisto koostuu pääasiassa vaurioituneiksi epäilyistä näytteistä. Jos Ositum Oy:ssä analysoitujen materiaalinäytteiden tilastoa ajatellaan vaurioituneiden näytteiden tilastoksi, voidaan esitettyjä P90-viitearvoja korkeampia pitoisuuksia pitää vauriota ilmaisevina pitoisuuksina. qPCR:llä analysoitujen materiaalin mikrobinäytteiden tulosten arvioinnissa ehdotetaan käytettäväksi tilastoaineistostamme laskettuja mediaaneja (P50-arvoja), eli sädesienille 10 000 kpl/g, homeille 15 000 kpl/g ja bakteereille 95 000 kpl/g. Näitä suuremmat pitoisuudet ilmaisevat materiaalin vaurioitumista.

Materiaalinäytteiden ja sisäilmanäytteiden analyysitulosten välillä on pääsääntöisesti oltava vastaavuus. Kokemuksemme mukaan hyväkuntoisistakin kohteista on usein löydettävissä materiaaleja, joiden sädesienipitoisuus on yli 500 cfu/g. Rakennustekniikan tutkijoidemme kokemuksen mukaan Asumisterveysoppaan määrittämä sädesienien materiaalinäytteen viitearvo on liian matala ja tässä raportissa esittelemämme tilastollinen analyysi tukee tätä väitettä. Toisaalta jos sisäilmanäytteissä on havaittu mikrobien tai VVOC- ja VOC-yhdisteiden aiheuttama ongelma, on materiaalinäytteistä löydyttävä vastaavuus sisäilmanäytteisiin ennen kuin korjauksiin ryhdytään. Muuten saatetaan korjata sisäilman, ja asumisterveyden, kannalta epäoleellista vauriota.

On tärkeää painottaa, että rakennusalan ammattilainen antaa asiakkaalle lopullisen lausunnon aina omien itse kohteessa tehtyjen havaintojen perusteella vertailemalla näitä havaintoja analyysiraportin tuloksiin.

2. Johdanto

Vaikka mikrobiviljelyanalyysi sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) ja erittäin haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VVOC) analyysi ovat jo kauan sitten vakiinnuttaneet paikkansa sisäilmaongelmien selvittämisessä, on molempien menetelmien viitearvojen määrittämiseen sekä sisäilman että materiaalien osalta kiinnitetty yllättävän vähän huomiota. Tämä korostuu Asumisterveysoppaassa, jossa on todettu, että rakennusmateriaalissa voidaan katsoa esiintyvän kosteusvauriosta johtuvaa mikrobiokasvustoa, kun näytteen homesienipitoisuus ylittää 10 000 cfu/g, bakteeripitoisuus 100 000 cfu/g tai sädesienipitoisuus 500 cfu/g [1]. Nämä lukuarvot eivät kuitenkaan perustu tieteellisiin faktoihin tai laajoihin tilastollisiin laskelmiin. Viljelyanalyysiä ongelmallisempi tilanne on modernimmalla QPCR-menetelmällä, jonka käyttöä Asumisterveysopas ei varsinaisesti kiellä, mutta oppaassa ei myöskään ole esitetty viitearvoja kyseiselle menetelmälle.

VVOC- ja VOC-yhdisteiden osalta Asumisterveysopas on vieläkin suurpiirteisempi. Oppaassa on todettu, että ilmasta otetun VVOC- ja VOC-näytteen kohonneesta kokonaispitoisuudesta (TVOC:sta) voidaan puhua, kun TVOC on esimerkiksi yli 600 µg/m³. Tavanomaisena voidaan pitää pitoisuutta 200 – 300 µg/m³. Yksittäisistä yhdisteistä on todettu, että sisäilmasta on voitu analysoida 50 – 300 erilaista orgaanista yhdistettä, joista yksittäisen yhdisteen pitoisuus harvoin ylittää 50 µg/m³. Yksittäisistä VOC-yhdisteistä ainoastaan styreenille on annettu viitearvo (40 µg/m³). [1]

Vaikka asumisterveysopas määrittelee nykyään rakennusmateriaalien kuntoa ja sisäilman laatua varsin epämääräisesti, on opas kuitenkin ainoa yleisesti hyväksytty kirjallisuuslähde mikrobi- sekä VVOC- ja VOC-yhdisteiden viitearvoille. Esimerkiksi terveystarkastajat perustavat lausuntonsa Asumisterveysoppaassa esitettyihin viitearvoihin.

Sisäilmaongelmia selvittäessä kuluttajalle on tärkeää antaa oikeaa tietoa asunnon kunnosta, sekä sisäilman että materiaalien osalta. Pelkkä laboratorioanalyysin tulos ei kerro kuluttajalle kohteen kunnosta mitään. Siksi onkin erityisen tärkeää selvittää pitoisuusrajat mikrobeille ja VVOC- ja VOC-yhdisteille sekä ilmassa että materiaalissa.

Työterveyslaitos (TTL) on selvittänyt viitearvoja toimiston sisäilmassa havaituille VVOC- ja VOC-yhdisteille käyttäen tilastollisia menetelmiä [2]. Todellisista kohteista mitatusta aineistosta määritettiin yhdisteryhmille ja TVOC:lle tavanomainen pitoisuus tilastollisena mediaanina sekä poikkeuksellinen pitoisuus tilastoaineiston 90. persentiilinä (P90), jota on ehdotettu viitearvojen määrittämiseen [3]. Tuloksista ei kuitenkaan ole hyötyä yksityistalouksille, koska toimistorakennuksissa TVOC on yleensä yksityiskoteja matalampi voimakkaan ilmanvaihdon takia.

Tässä raportissa selvitämme poikkeukselliset pitoisuudet, eli pitoisuudet, jotka hyvin todennäköisesti ilmaisevat sisäilma- tai materiaali-ongelmaa, mikrobi- sekä VVOC- ja VOC-näytteille perustuen Ositum Oy:ssä analysoituihin näytteisiin käyttäen tilastollista P90-arvoa. Poikkeukselliset pitoisuudet määritetään sisäilma- ja materiaalinäytteille.

3. Tulokset

Ositum Oy käyttää nykyään tai ottaa pian käyttöönsä analyysistä riippuen (sisäilman VVOC- ja VOC- ja mikrobianalyysit sekä materiaalien FLEC- ja mikrobianalyysit) tilastovertailuun perustuvan raportointimallin. Raporteissa kohdetta verrataan tuhansiin aiemmin analysoituihin kohteisiin, joten materiaali on laajuudeltaan kattava. Ositum Oy:ssä analysoitavat ilmanäytteet ovat hyvin usein kohteista, joissa epäillään sisäilmaongelmaa, joten tilastoaineisto on todennäköisesti hieman painottunut vaurion suuntaan. Vastaavasti Ositum Oy:n laboratoriossa tutkitutetaan materiaalinäytteitä, joiden epäillään olevan vaurioituneita, joten niiden osalta tilastoaineisto on todennäköisesti selvästi painottunut vaurion suuntaan.

3.1. VVOC- ja VOC-yhdisteet

3.1.1. Sisäilmasta

Ositum Oy on havainnut VVOC- ja VOC-analyyseissään, että ainoa merkki sisäilman laadusta ei ole TVOC:n pitoisuus eli onko TVOC yli vai ali $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$ varsinkaan, koska tämä arvo ei perustu tieteelliseen tai tilastolliseen näyttöön. Yksittäiset yhdisteet ärsyttävät ihmisiä eri tavoin ja on tärkeää ottaa kantaa näiden yhdisteiden epätavanomaisiin pitoisuuksiin kohteissa. Pienet pitoisuudet tiettyjä yhdisteitä voivat tehdä sisäilmasta kelvotonta vaikka TVOC ei olisi lähelläkään arvoa $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Yhtenä tärkeänä kiinnostuksen kohteena on 2-etyyliheksanoli, jonka osuudesta ihmisten sairastumisiin on keskusteltu paljon.

Taulukossa 1 on esitetty tärkeiden sisäilmaongelmaa ilmaisevien yhdisteiden tavanomaisia ja poikkeukselliseksi katsottavia pitoisuuksia Ositum Oy:ssä analysoiduissa sisäilman VVOC- ja VOC-näytteissä. Kesä- (1.5. – 30.11.) ja talviaikana (1.12. – 30.4.) otetut näytteet on erotettu toisistaan, koska kesäaikaan VVOC- ja VOC-yhdisteiden määrän voidaan olettaa olevan suurempi talviaikaan verrattuna ulkona tapahtuvan mikrobiotominnan vuoksi. Kesäajan otos koostuu noin 2900 näytteestä ja talviajan otos noin 4200 näytteestä.

Taulukko 1. Tiettyjen VVOC- ja VOC-yhdisteiden tavanomaisia pitoisuuksia (Mediaani), poikkeukselliseksi katsottavia pitoisuuksia (P90) ja havaintojen lukumäärä (kpl) Ositum Oy:ssä analysoiduissa sisäilmanäytteissä. Pitoisuudet on ilmoitettu tolueeniekvivalenttina yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Yhdiste	Kesäaika			Talviaika		
	Mediaani	P90	kpl	Mediaani	P90	kpl
2-Etyyliheksanoli	2	9	1472	1	8	2109
Alfa-pineeni	4	37	2520	3	24	3640
Etanoli	5	38	2438	5	37	3823
Etikkahappo	8	42	2409	5	20	2965
Styreeni	1	4	694	1	4	1118
TXIB	4	27	153	4	16	297
TVOC	108	506	2900	98	460	4200

Etikkahapon, alfa-pineenin ja TXIB:n pitoisuudet ovat selvästi korkeampia kesä- kuin talviaikana. Etikkahapon ja alfa-pineenin osalta tämä voi johtua esimerkiksi kesäaikaan ulkoilmassa olevien mikrobien aineenvaihdunnasta, mutta TXIB:n kohdalla vastaavaa yksinkertaista selitystä ei ole. Muiden Taulukossa 1 esitettyjen yhdisteiden osalta kesä- ja talviajan pitoisuudet ovat lähes samat. Koska tilastoaineisto on hieman painottunut vaurion suuntaan, tästä aineistosta määritetyt mediaanit ja P90-arvot ovat korkeampia kuin ne olisivat häiriöttömästä otoksesta.

Kokonaispitoisuuden P90-arvo niin kesällä ($506 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kuin talvellakin ($460 \mu\text{g}/\text{m}^3$) on jonkin verran Asumisterveysoppaan $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$:aa [1] pienempi. Vastaavasti styreenin P90-arvo kesällä ja talvella, $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, on huomattavasti asumisterveysoppaan viitearvoa ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) [1] pienempi. On tosin huomattava, että Asumisterveysoppaan viitearvot on määritetty terveyshaitan arvioimiseksi. Kesällä 2011 Valvira esitti lausunnossaan [4], että 2-etyyliheksanolin ja TXIB:n aiheuttaman terveyshaitan arvioimisessa tulisi käyttää viitearvoa $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ tolueeniekvivalenttina ilmoitetulle tulokselle. Tämä esitys on linjassa Ositum Oy:ssä analysoitujen näytteiden 2-etyyliheksanolin P90-arvon osalta (kesällä $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja talvella $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Kuitenkin TXIB:n osalta Ositum Oy:n aineistosta määritetty P90-arvo on selvästi tätä korkeampi niin kesällä ($27 \mu\text{g}/\text{m}^3$) kuin talvellakin ($16 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Sisäilman VVOC- ja VOC-analyysissä havaittujen yksittäisten yhdisteiden P90-viitearvon (ja 10 % TVOC:sta -viitearvon) ylitysten tulkinnassa tulee kuitenkin olla varovainen. Yksittäiselle yhdisteelle on useita mahdollisia lähteitä ja yksittäinen yhdiste voi olla peräisin rakenteellisesta vauriosta, mutta toisaalta myös jostakin ulkoisesta lähteestä, kuten puhdistusaineista. Niinpä laboratorioanalyysin johtopäätöksessä esille tuotujen yhdisteiden lähteitä selvittäessä tulee aina ensisijaisesti selvittää tiloissa olevat ulkoiset lähteet (siivousaineet, hajusteet, polttoaineet, jne.), joista analyysissä poikkeavina pitoisuuksina havaitut yhdisteet voisivat olla peräisin. Vain jos yhdisteiden olemassaoloa selittävää ulkoista lähdettä ei löydy, kannattaa harkita rakenteiden tarkempaa tutkimista, jotta analyysissä epätavanomaisina pitoisuuksina havaittujen yhdisteiden lähde saadaan selvitettyä. Laboratorioanalyysituloksen tulkinnassa näytteenottajan kohteesta tekemät havainnot ja aiemmat kokemukset vastaavista tapauksista ovat korvaamattomia mahdollisen rakennevaurion arvioinnissa.

3.1.2. Materiaalista

Taulukossa 2 on esitetty tärkeiden materiaaliongelmaa ilmaisevien yhdisteiden tavanomaisia ja poikkeukselliseksi katsottavia pitoisuuksia Ositum Oy:ssä analysoiduissa materiaalien VVOC- ja VOC-analyysinäytteissä. Ositum Oy:ssä VVOC- ja VOC-materiaalinäytteet analysoidaan FLEC-menetelmällä (the Field and Laboratory Emission Cell). Suurin osa näytteistä analysoidaan massaperusteisesti mittaamalla punnitusta näytteestä bulkkiemissiot. Huomattavasti pienempi osa näytteistä analysoidaan pinta-alaperusteisesti mittaukseen tarvittavan suurehkon näytepalan takia.

Taulukko 2. Tiettyjen VVOC- ja VOC-yhdisteiden tavanomaisia pitoisuuksia (Mediaani), poikkeukselliseksi katsottavia pitoisuuksia (P90) ja havaintojen lukumäärä (kpl) Ositum Oy:ssä analysoiduissa sisäilmanäytteissä.

Yhdiste	Massaperusteinen(ng/(gh))			Pinta-alaperusteinen(µg/(m ² h))		
	Mediaani	P90	kpl	Mediaani	P90	kpl
2-Etyyliheksanoli	72	465	1273	165	1533	67
Etanoli	15	77	1242	15	27	58
Etikkahappo	9	97	2409	10	175	35
TXIB	12	629	51	11	30	3

Materiaalien VVOC- ja VOC-analyysituloksista havaitaan, että aineisto on hyvin vahvasti painottunut vaurion suuntaan. Lisäksi VVOC- ja VOC-emissiot vaihtelevat Ositum Oy:n laboratorion kokemuksen mukaan paljon eri näytteiden välillä. Esimerkiksi uuden muovimaton emissiot ovat vanhaa suurempia, betonin emissiot ovat muovimattoa pienempiä ja niin edelleen. Tämä hankaloittaa absoluuttisten viitearvojen määrittämistä. Siksi Ositum Oy:n laboratoriossa materiaalien VVOC- ja VOC-analyysituloksien tulkinnassa käytetäänkin tällä hetkellä kokonaisemissioon suhteutettua 10 % TVOC:sta -viitearvoa. Taulukossa 2 esitetyt P90-arvot ilmaisevat kuitenkin rajat varmalle vauriolla. On kuitenkin hyvin todennäköistä, että jo P90:ä matalammalla pitoisuudella materiaali on vaurioitunut. Tilastoaineiston mediaani voisi olla yksi mahdollinen raja. Tällöin analyysinäytteissä harvemmin havaittujen yhdisteiden raja-arvo laskisi kuitenkin suhteettoman matalaksi. Toinen vaihtoehto olisi esittää mediaaniin perustuvat raja-arvot ainoastaan muutamalle vauriota ilmaisevalle yhdisteelle (2-etyyliheksanoli, TXIB, etanoli, etikkahappo) ja arvioida loput käyttäen 10 % TVOC:sta -viitearvoa. Kolmas vaihtoehto on käyttää pitoisuuksien arvioimisessa ainoastaan kokonaispitoisuuteen suhteutettua 10 % TVOC:sta -viitearvoa. Tämän rajan etsiminen vaatii lisätutkimuksia, eikä se selviä pelkällä tilastollisella analyysillä.

3.2. Mikrobit

3.2.1. Sisäilmasta

Taulukossa 3 on esitetty sädesienien, homeiden ja bakteerien tavanomaisia ja poikkeukselliseksi katsottavia pitoisuuksia Ositum Oy:ssä analysoiduissa sisäilman viljely- ja qPCR-analyysinäytteissä (qPCR = quantitative real time polymerase chain reaction). Sisäilman viljelynäytteet on kerätty viljelymaljoille Andersen-menetelmällä ja qPCR-näytteet on kerätty Button-menetelmällä.

Taulukko 3. Mikrobin tavanomaisia pitoisuuksia (Mediaani), poikkeukselliseksi katsottavia pitoisuuksia (P90) ja havaintojen lukumäärä (kpl) Ositum Oy:ssä analysoiduissa sisäilmanäytteissä.

	Viljely (cfu/m ³)			qPCR (kpl/m ³)		
	Mediaani	P90	kpl	Mediaani	P90	kpl
Sädesienet	7	50	2014	700	5100	875
Homeet	40	630	2523	360	3600	378
Bakteerit	230	1900	3561	6000	35000	1477

Ositum Oy:ssä analysoitujen viljelyilmanäytteiden sädesienien, homeiden ja bakteerien P90-arvot noudattavat hyvin Asumisterveysoppaassa määritettyjen raja-arvojen suuruusluokkia. Sädesienien tilastoaineistosta laskettu P90-arvo (50 cfu/m³) on hieman suurempi kuin Asumisterveysoppaan määrittelemä raja-arvo (10 cfu/m³) [1]. Samoin homeiden tilastollinen P90-arvo (630 cfu/m³) on jonkin verran suurempi kuin Asumisterveysoppaan raja-arvo (500 cfu/m³), mutta bakteerien tilastollinen P90-arvo (1900 cfu/m³) on Asumisterveysoppaan raja-arvoa (>4500 cfu/m³) matalampi [1].

Taulukossa 4 on esitelty Asumisterveysoppaan sisäilman viljelynäytteistä analysoitujen sädesienien, homeiden ja bakteerien raja-arvoja vastaavat Ositum Oy:n tilastoaineiston persentiilit.

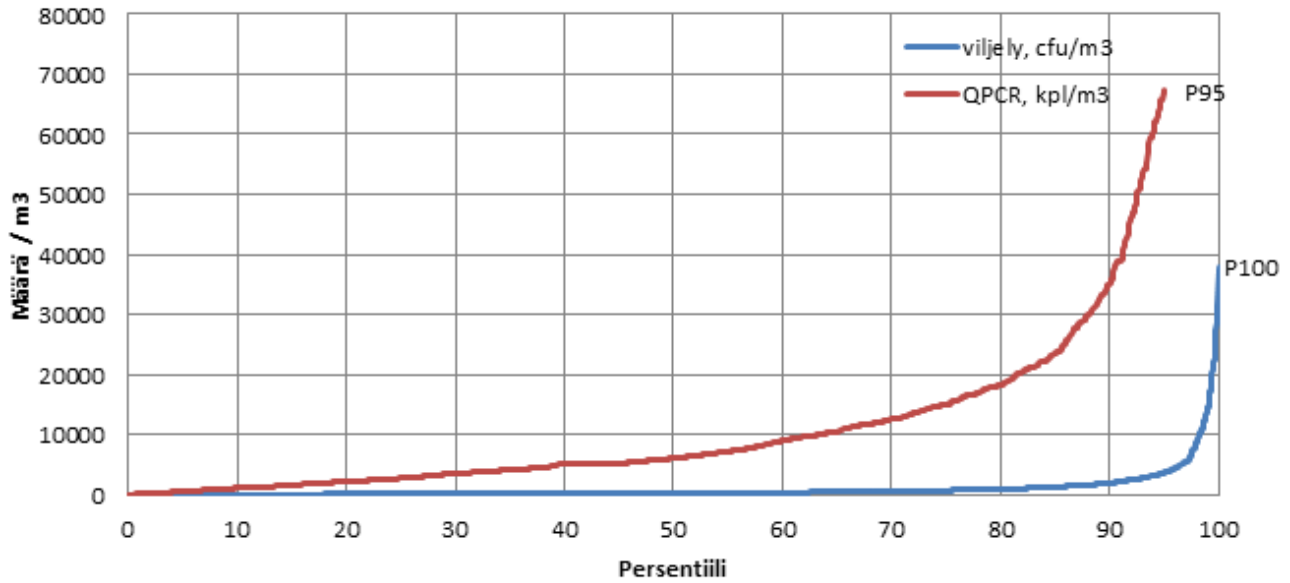
Taulukko 4. Mikrobin määrien raja-arvoja Asumisterveysoppaassa [1] ja raja-arvoa vastaava persentiili Ositum Oy:ssä analysoitujen sisäilmanäytteiden tilastossa.

	Raja-arvo, cfu/m ³	Persentiili
Sädesienet	10	P57
Homeet	100–500	P66–P88
Bakteerit	>4500	P96

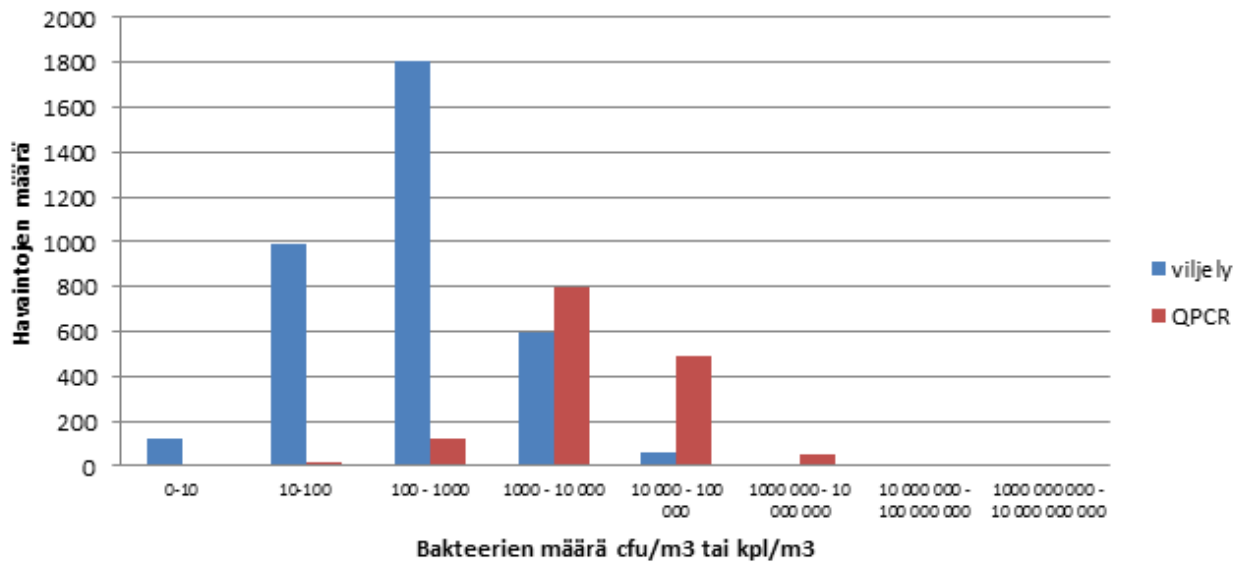
Jos 90. persentiilin ylittävää pitoisuutta pidetään poikkeukselliseksi katsottavana, vaikuttaisi homeiden raja-arvoksi sopivan paremmin 500 kuin 100 cfu/m³. Vastaavasti bakteerien raja-arvoksi määritetty >4500 cfu/m³ vaikuttaisi hieman liian korkealta. Selvimmin tilastoaineistosta kuitenkin nähdään, että sädesienien raja-arvo 10 cfu/m³ on niin matala, että se vastaa paremminkin tilastollisesti normaaliksi katsottavaa pitoisuutta (mediaania). Täytyy toki muistaa, että tilastollisen analyysin perusteella ei voida ottaa kantaa terveydellisiin raja-arvoihin.

Viljely- ja qPCR-analyysien erojen selvittämiseksi kuvissa 1, 2 ja 3 on esitetty bakteerien, homeiden ja sädesienien pitoisuuksien jakautumista Ositum Oy:ssä analysoiduissa viljely- ja qPCR-ilmanäytteissä.

a) Bakterien persenttiliosuudet ilmanäytteissä

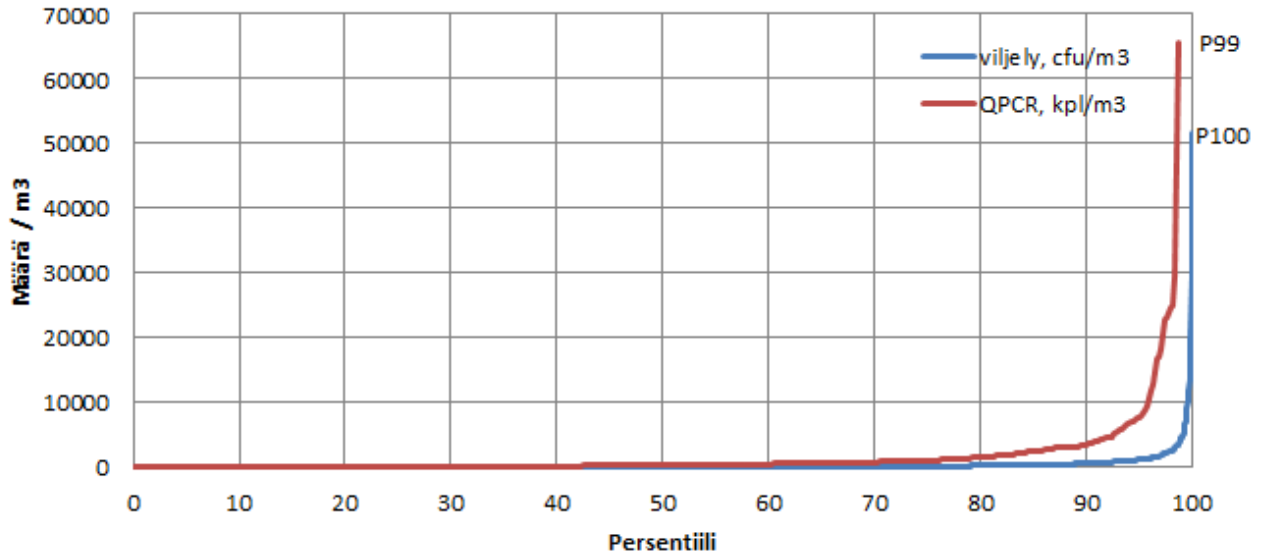


b) Bakterien määrät ilmanäytteissä

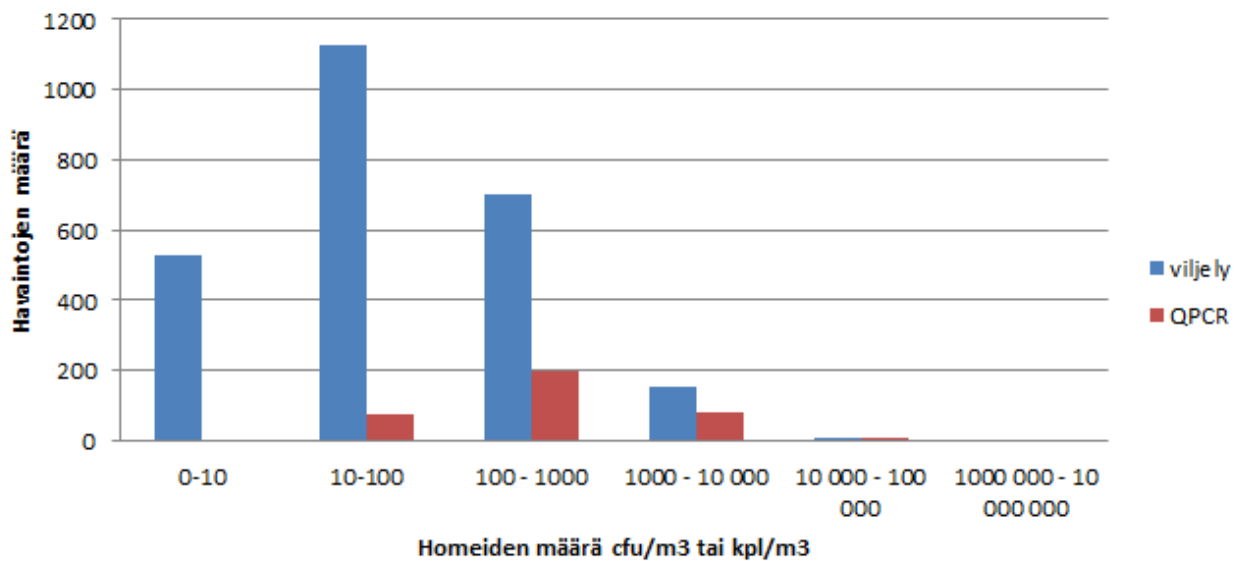


Kuva 1. a) Bakterien persenttiliosuudet Ositum Oy:ssä analysoiduissa sisäilmanäytteissä. Bakteerit on viljelty THG-alustalla. qPCR-näytteitä kuvaava käyrä on katkaistu P95:n kohdalta selkeyden vuoksi. b) Bakterien määrät Ositum Oy:ssä analysoiduissa sisäilmanäytteissä. Bakteerit on viljelty THG-alustalla.

a) Homeiden persentiiliosuudet ilmanäytteissä

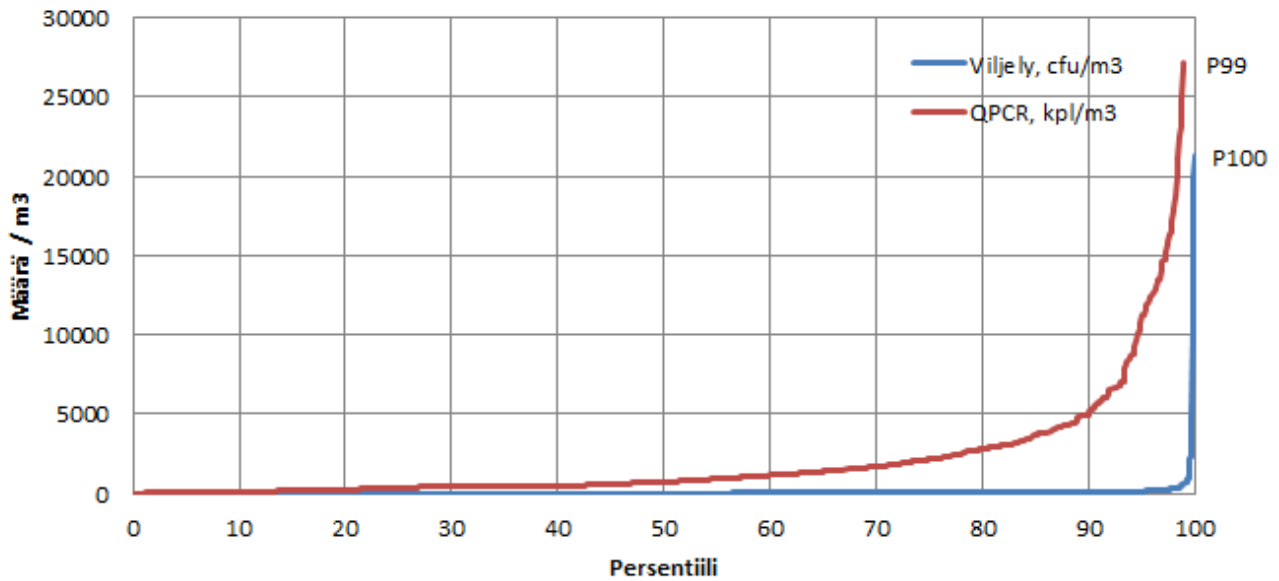


b) Homeiden määrät ilmanäytteissä

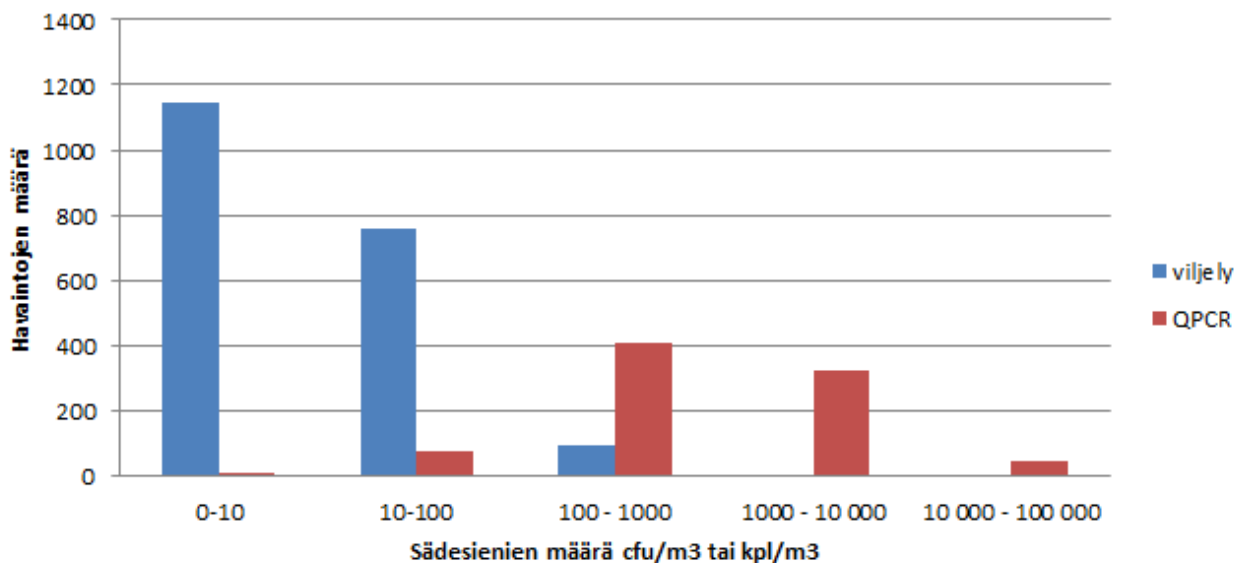


Kuva 2. a) Homeiden persentiiliosuudet Ositum Oy:ssä analysoiduissa sisäilmanäytteissä. Homeet on viljelty 2% MEA-alustalla. qPCR-näytteitä kuvaava käyrä on katkaistu P99:n kohdalta selkeyden vuoksi. b) Homeiden määrät Ositum Oy:ssä analysoiduissa sisäilmanäytteissä. Homeet on viljelty 2% MEA-alustalla.

a) Sädesienien persentiiliosuudet ilmanäytteissä



b) Sädesienien määrät ilmanäytteissä



Kuva 3. a) Sädesienien persentiiliosuudet Ositum Oy:ssä analysoiduissa sisäilmanäytteissä. Sädesienet on viljelty THG-alustalla. qPCR-näytteitä kuvaava käyrä on katkaistu P99:n kohdalta selkeyden vuoksi. b) Sädesienien määrät Ositum Oy:ssä analysoiduissa sisäilmanäytteissä. Sädesienet on viljelty THG-alustalla.

Viljelyanalyysissä havaittujen mikrobien määrä on selvästi matalampi kuin qPCR-analyysissä. Tämä on järkevää, koska toisin kuin viljelyanalyysissä, qPCR-analyysissä saadaan elävien mikrobien lisäksi näkyville myös kuolleet mikrobit. Lisäksi viljelyssä näkyy vain kyseisellä alustalla kasvavat lajikkeet. Tästä syystä on selvää, ettei viljelyanalyysille määritettyjä viitearvoja voi käyttää qPCR:llä analysoitujen ilmanäytteiden tulkinnessa.

Bakteerien ja homeiden tapauksessa (Kuvat 1 ja 2) viljely- ja qPCR -tulosten perusteella piirretyt persentiilikuvaajat käyttäytyvät samalla tavalla, eli kuvaajan muodot ovat samanlaisia. Tämä

tarkoittaa sitä, että qPCR:llä saadut tulokset ovat viljelytulosten monikertoja. Sädesienien tapauksessa (Kuva 3) viljely- ja qPCR -tuloksista piirretyt persentiilikuvaajat poikkeavat enemmän toisistaan. Tarkempi tarkastelu osoittaa, että viljelyanalyysissä tulokset painottuvat enemmän pieniin pitoisuuksiin ja qPCR -tulokset ovat tasaisemmin jakautuneita (ks. Kuva 3 b). Tämä ero ei kuitenkaan osoita niinkään ongelmaa qPCR –analyysissä, vaan johtuu sädesienien viljelyanalyysin hieman muista poikkeavasta jakaumasta. Sädesienien persentiilikuvaajan jyrkkä nousu lähellä P100:aa tarkoittaa, että aineistossa on hyvin pieni määrä tapauksia, joissa pitoisuudet ovat huomattavasti toisia tuloksia suurempia.

Ehdotamme qPCR:llä analysoitujen sisäilman mikrobinäytteiden tulosten arvioinnissa käytettäväksi Taulukossa 3 esitettyjä tilastoaineistostamme laskettuja P90-arvoja, eli sädesienille 5100 kpl/m³, homeille 3600 kpl/m³ ja bakteereille 35 000 kpl/m³. Näitä viitearvoja korkeammat pitoisuudet ilmaisevat rakennusteknistä ongelmaa, eikä näitä tule käyttää sellaisenaan terveyshaitan arvioimisessa.

3.2.2. Materiaalista

Taulukossa 5 on esitetty sädesienien, homeiden ja bakteerien tavanomaisia ja poikkeukselliseksi katsottavia pitoisuuksia Ositum Oy:ssä analysoiduissa materiaalien viljely- ja qPCR-analyysinäytteissä.

Taulukko 5. Mikrobien tavanomaisia pitoisuuksia (Mediaani), poikkeukselliseksi katsottavia pitoisuuksia (P90) ja havaintojen lukumäärä (kpl) Ositum Oy:ssä analysoiduissa materiaalinäytteissä.

	Viljely (cfu/g)			qPCR (kpl/g)		
	Mediaani	P90	kpl	Mediaani	P90	kpl
Sädesienet	4800	340 000	2588	10 000	2 200 000	2339
Homeet	4500	320 000	2952	15 000	1 300 000	2417
Bakteerit	3600	510 000	3999	95 000	13 000 000	4623

Ositum Oy:ssä analysoitujen viljelymateriaalinäytteiden sädesienien ja homeiden P90-arvot ovat selvästi Asumisterveysoppaassa määritettyjä raja-arvoja suurempia (sädesienet >500 ja homeet >10 000 cfu/g [1]). Tämä on luonnollista, koska tilastoaineisto koostuu pääasiassa näytteistä, joita epäillään vaurioituneiksi. Bakteerien osalta tilanne ei kuitenkaan ole niin selvä. Ositum Oy:ssä analysoitujen viljelyilmanäytteiden bakteerien P90-arvo (510 000 cfu/g) on yllättävän vähän Asumisterveysoppaassa määritettyä raja-arvoa (>100 000 cfu/g) suurempi.

Taulukossa 6 on esitelty Asumisterveysoppaan materiaaliviljelynäytteistä analysoitujen sädesienien, homeiden ja bakteerien raja-arvoja vastaavat Ositum Oy:n tilastoaineiston persentiilit.

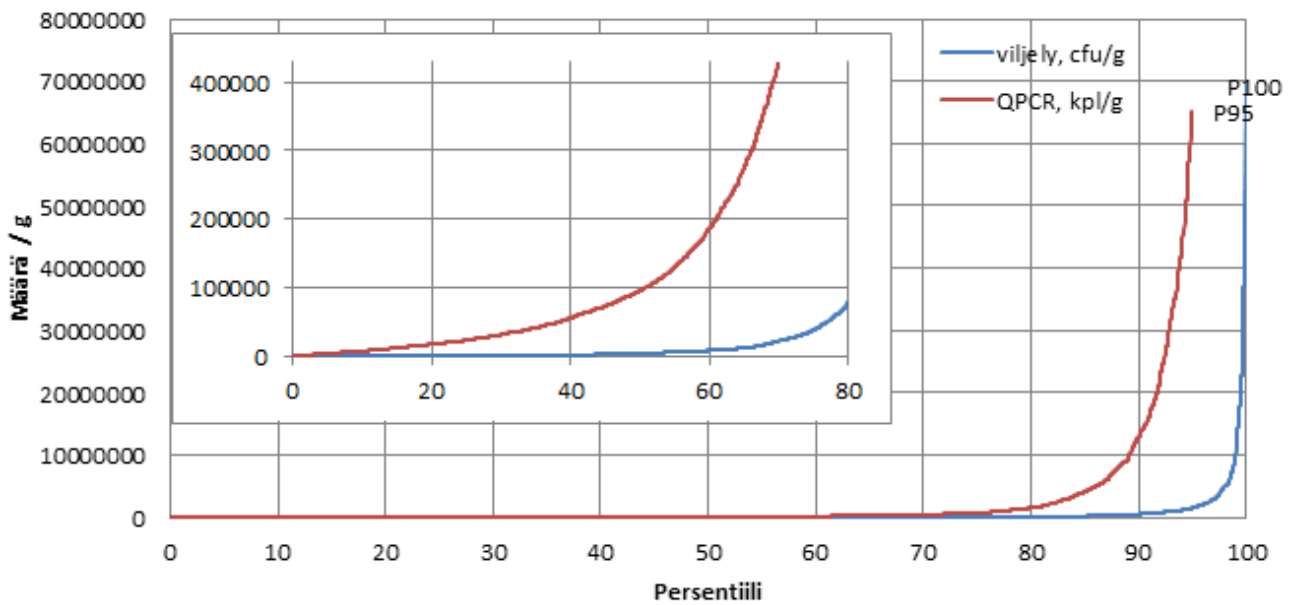
Taulukko 6. Mikrobien määrien raja-arvoja Asumisterveysoppaassa [1] ja raja-arvoa vastaava persentiili Ositum Oy:ssä analysoitujen materiaalinäytteiden tilastossa.

	Raja-arvo, cfu/g Asumisterveysopas	Persentiili Ositum Oy
Sädesienet	>500	P25
Homeet	>10 000	P60
Bakteerit	>100 000	P82

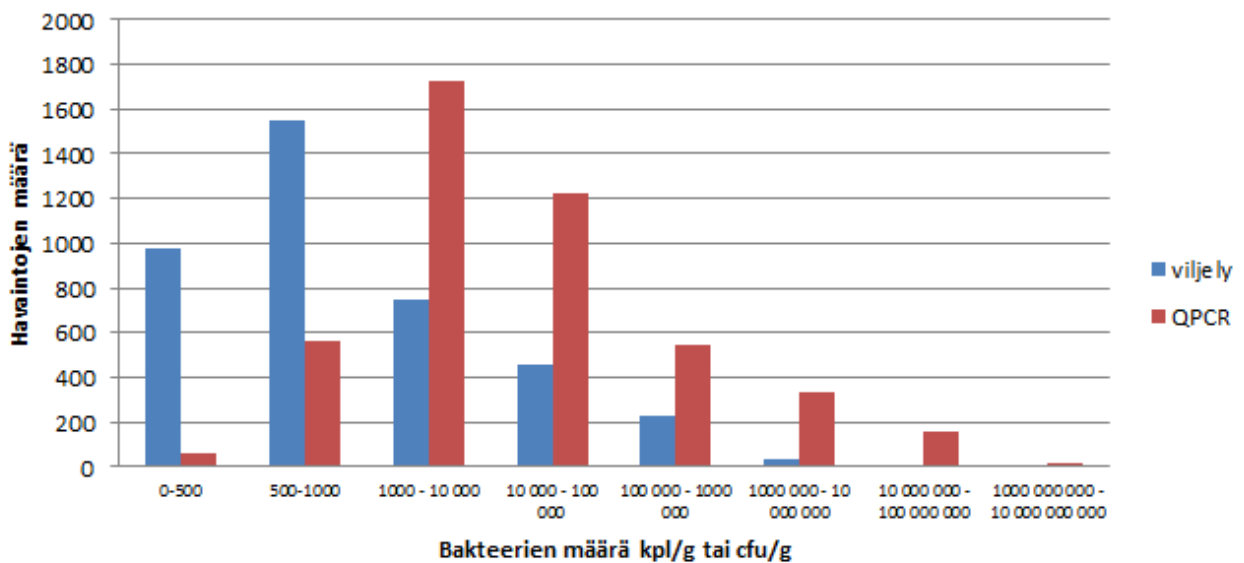
Taulukon 6 tarkastelu vahvistaa Taulukon 5 pohjalta tehtyjä havaintoja. Asumisterveysoppaan materiaaliviljelynäytteelle asetettu raja-arvo vastaa Ositum Oy:ssä analysoitujen näytteiden P25-arvoa. Homeiden ja bakteerien raja-arvot ovat selvästi tilastoaineiston mediaanin yläpuolella. Tilastojen perusteella Asumisterveysoppaan materiaaliviljelynäytteiden raja-arvo vaikuttaisi olevan tiukempi sädesienille verrattuna homeisiin ja bakteereihin. Tutkittaessa rakennuksen kuntoa Asumisterveysoppaan sädesienien viitearvo vaikuttaisi liian matalalta, ainakin suhteessa homeiden ja bakteerien vastaaviin viitearvoihin verrattuna. Jos Ositum Oy:ssä analysoitujen materiaalinäytteiden tilastoa ajatellaan vaurioituneiden näytteiden tilastoksi, voidaan Taulukossa 5 esitetyjä P90-viitearvoja korkeampia pitoisuuksia pitää varmasti vauriota ilmaisevina pitoisuuksina. Vaurioituneen materiaalin raja kulkee kuitenkin hyvin todennäköisesti näiden pitoisuuksien alapuolella. Yhtenä rajana voisi pitää aineiston mediaaneja, jotka kuvaavat vaurioitunutta tapausta keskimääräin. Tilastoaineistosta johdettuja viitearvoja ei kuitenkaan tule missään nimessä käyttää terveyshaitan arvioimiseen. Selvitettäessä rakennuksen kuntoa, esimerkiksi ennakoivasti tai asuntokauppatapauksessa, voivat ehdottamamme viitearvot olla kuitenkin Asumisterveysoppaan raja-arvoja käyttökelpoisempia.

Viljely- ja qPCR-analysien erojen selvittämiseksi kuvissa 1, 2 ja 3 on esitetty bakteerien, homeiden ja sädesienien pitoisuuksien jakautumista Ositum Oy:ssä analysoiduissa viljely- ja qPCR-materiaalinäytteissä

a) Bakteerien persentiiliosuudet materiaalinäytteissä

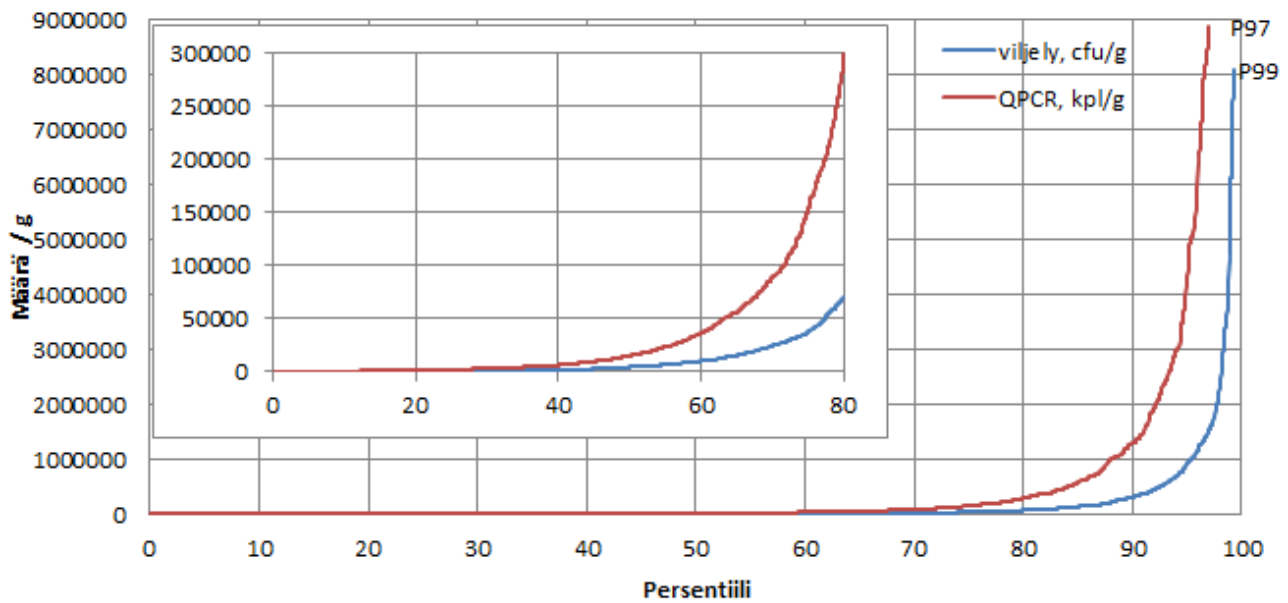


b) Bakteerien määrät materiaalinäytteissä

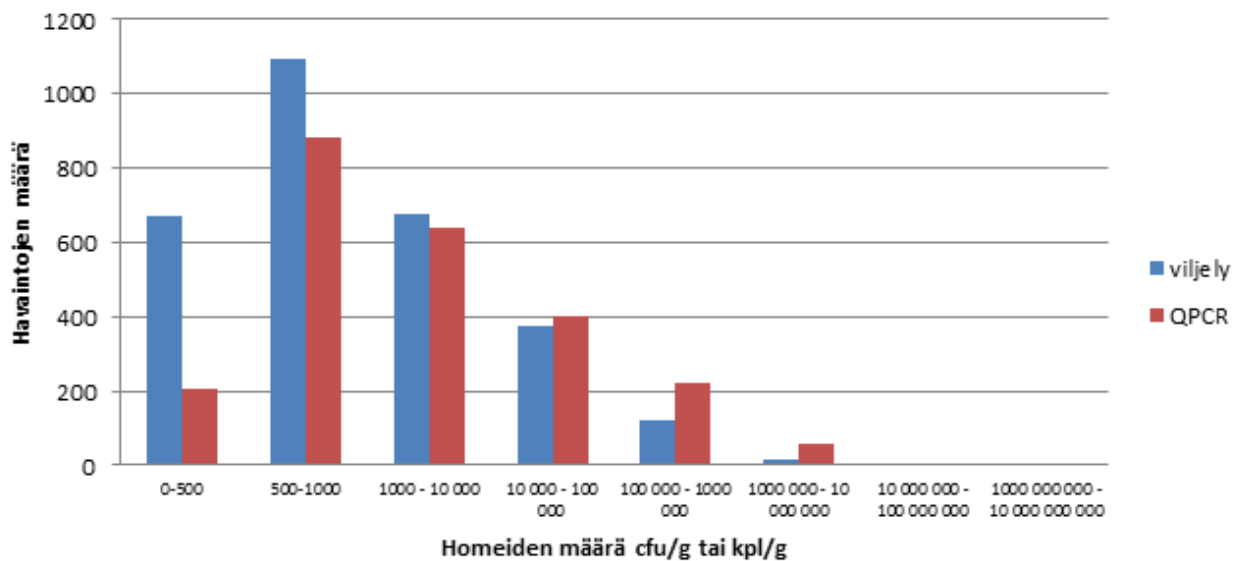


Kuva 4. a) Bakteerien persentiiliosuudet Ositum Oy:ssä analysoiduissa materiaalinäytteissä. Bakteerit on viljelty THG-alustalla. qPCR-näytteitä kuvaava käyrä on katkaistu P95:n kohdalta selkeyden vuoksi. b) Bakteerien määrät Ositum Oy:ssä analysoiduissa materiaalinäytteissä. Bakteerit on viljelty THG-alustalla.

a) Homeiden persenttiliosuudet materiaalinäytteissä

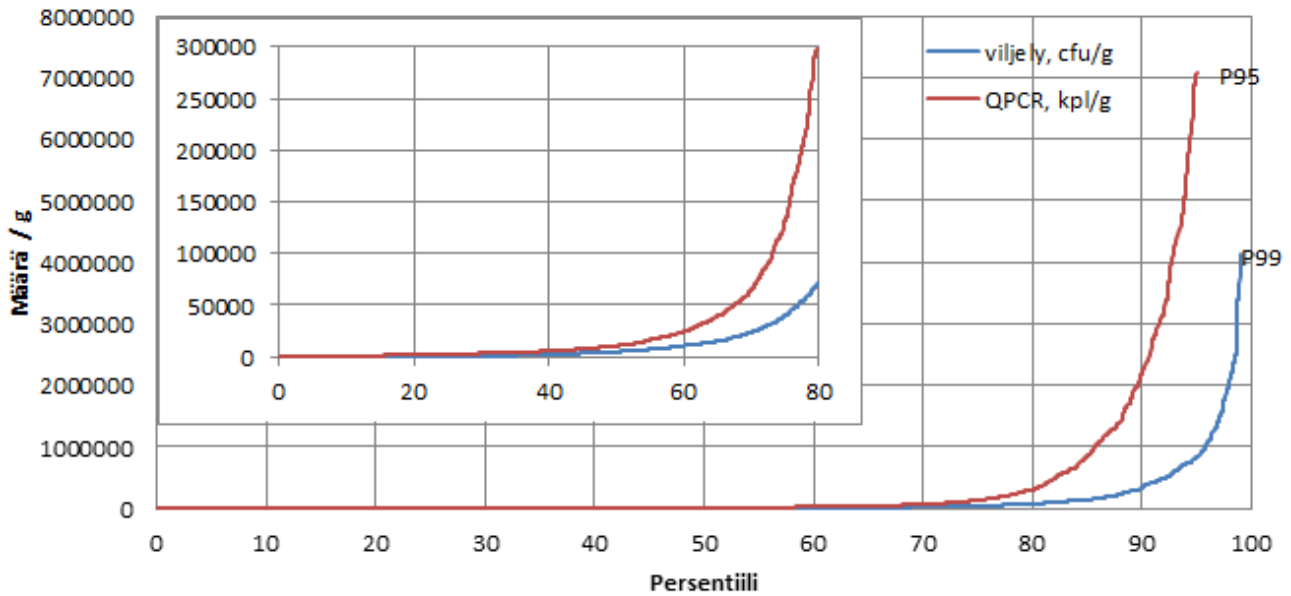


b) Homeiden määrät materiaalinäytteissä

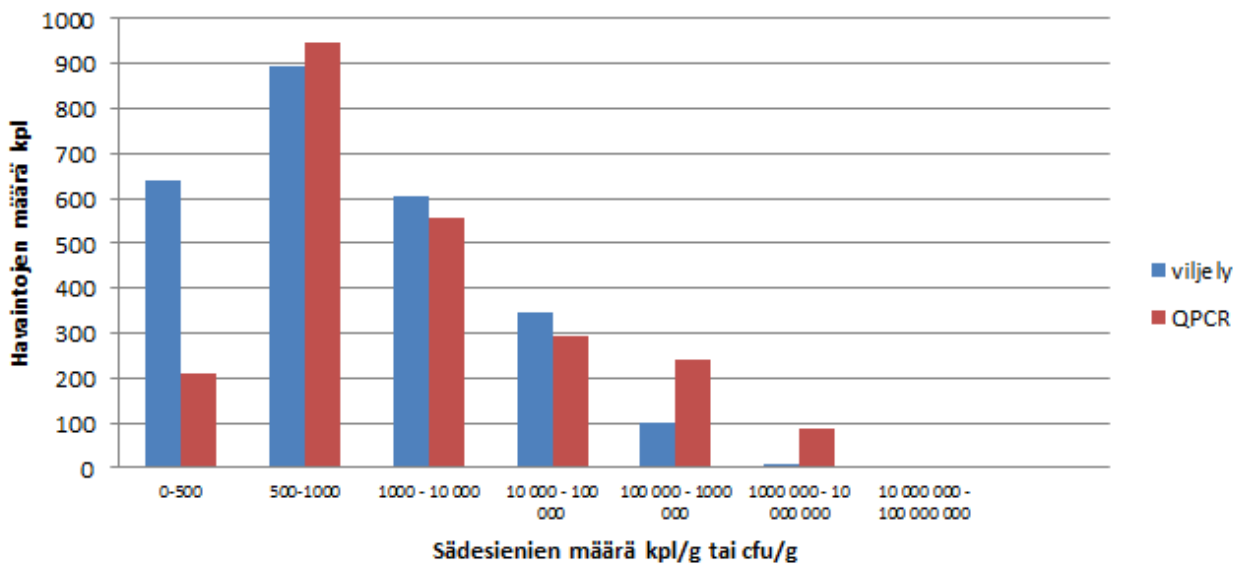


Kuva 5. a) Homeiden persenttiliosuudet Ositum Oy:ssä analysoiduissa materiaalinäytteissä. Homeet on viljelty 2% MEA-alustalla. qPCR -näytteitä kuvaava käyrä on katkaistu P97:n kohdalta ja viljelynäytteitä kuvaava käyrä P99:n kohdalta selkeyden vuoksi. b) Homeiden määrät Ositum Oy:ssä analysoiduissa materiaalinäytteissä. Homeet on viljelty 2 %MEA-alustalla.

a) Sädesienien persentiiliosuudet materiaalinäytteissä



b) Sädesienien määrät materiaalinäytteissä



Kuva 6. a) Sädesienien persentiiliosuudet Ositum Oy:ssä analysoiduissa materiaalinäytteissä. Sädesienet on viljelty THG-alustalla. qPCR -näytteitä kuvaava käyrä on katkaistu P99:n kohdalta selkeyden vuoksi. b) Sädesienien määrät Ositum Oy:ssä analysoiduissa materiaalinäytteissä. Sädesienet on viljelty THG-alustalla.

Kuvien 4, 5 ja 6 perusteella nähdään, että materiaalinäytteissä qPCR-analyysin kuvaaja noudattaa viljelyanalyysin kuvaaja vielä selkeämmin kuin ilmanäytteiden tapauksessa. Sädesienienkin tapauksessa (Kuva 6) qPCR-tulosten käyrä noudattaa viljelyanalyysin käyrää absoluuttisten mikrobimäärien ollessa qPCR:llä odotetusti viljelytuloksia suurempia.

Ehdotamme qPCR:llä analysoitujen materiaalin mikrobinäytteiden tulosten arvioinnissa käytettäväksi Taulukossa 3 esitettyjä tilastoaineistostamme laskettuja mediaaneja (P50-arvoja), eli sädesienille 10 000 kpl/g, homeille 15 000 kpl/g ja bakteereille 95 000 kpl/g. Näitä viitearvoja

suuremmat pitoisuudet ilmaisevat materiaalin vaurioitumista. Näitä viitearvoja ei tule käyttää sellaisenaan terveyshaitan arvioimisessa.

4. Johtopäätös

Materiaalinäytteiden ja sisäilmanäytteiden analyysitulosten välillä on pääsääntöisesti oltava vastaavuus. Ensin olisi aina tutkittava sisäilmaa, jotta saadaan selville, onko tilassa mikrobin tai VVOC- ja VOC-yhdisteiden aiheuttamaa sisäilmaongelmaa. Jos rakenteista lähdetään ottamaan suoraan materiaalinäytteitä, voidaan usein havaita viitearvojen puitteissa oleva ongelma, vaikkei kyseinen materiaali vaikuttaisikaan alentavasti sisäilman laatuun. Kokemuksemme mukaan hyväkuntoisistakin kohteista on usein löydettävissä materiaaleja, joiden sädesienipitoisuus on yli 500 cfu/g. Rakennustekniikan tutkijoidemme kokemuksen mukaan Asumisterveysoppaan määrittämä sädesienien materiaalinäytteen viitearvo on liian matala ja tässä raportissa esittelemämme tilastollinen analyysi tukee tätä väitettä.

Toisaalta jos sisäilmanäytteissä on havaittu mikrobin tai VVOC- ja VOC-yhdisteiden aiheuttama ongelma, on materiaalinäytteistä löydyttävä vastaavuus sisäilmanäytteisiin ennen kuin korjauksiin ryhdytään. Muuten saatetaan korjata sisäilman, ja asumisterveyden, kannalta epäoleellista vauriota. Ongelma saattaa olla peräisin myös ei-rakenteellisista lähteistä, esimerkiksi ulkoilmasta tai tilaan vahingossa unohtuneesta homeisesta elintarvikkeesta. Ainoastaan kun materiaalinäytteen tulos vastaa sisäilmanäytteen tulosta, voidaan todeta sisäilmaongelman aiheuttajan löytyneen.

Sisäilman viljelyanalyysien tilastoaineiston perusteella ehdotamme, että Asumisterveysoppaassa määritetty 10 cfu/m³ on liian matala viitearvoksi arvioitaessa rakennuksen kuntoa. Tilstoanalyysimme perusteella sisäilman laatua arvioitaessa sädesienille tulisi käyttää raja-arvona 50 cfu/m³. Tämä olisi perusteltua myös siitä syystä, että jo kolme sädesieni-itiötä maljalla tarkoittaa pitoisuutta 12 cfu/m³ sisäilmassa.

Tilastoihin perustuvien sisäilma-alyysiraporttien tulkinnan perusajatuksena on:

- kun P90 ylittyy, on todennäköistä, että kohteessa on sisäilmaongelma ja kuntotutkimukseen saattaa olla tarvetta.

Tilastoihin perustuvien materiaalianalyysiraporttien tulkinnan perusajatuksena on:

- kun mediaani eli jakauman tyypillinen arvo ylittyy, materiaali voi olla vaurioitunut.
- kun P90 ylittyy, on todennäköistä, että kyseessä on mahdollinen merkittävä vaurio.

On erittäin tärkeää muistaa, että kemistin tai mikrobiologin allekirjoittama analyysiraportti ei kuitenkaan ole toimenpidesuositus; rakennusalan ammattilainen antaa asiakkaalle lopullisen lausunnon aina omien itse kohteessa tehtyjen havaintojen perusteella vertailemalla näitä havaintoja analyysiraportin tuloksiin. Rakennusalan ammattilaisen tekemät havainnot ovat tärkeitä etenkin silloin, kun liikutaan mediaanin ja P90:n välissä.

Tilastoihin perustuvia analyysijä kehitetään edelleen niin, että esimerkiksi toimistoista, kouluista, päiväkodeista, omakotitaloista ja kerrostaloista otettuja näytteitä verrataan vain keskenään. Tällainen raportointimalli valmistunee kevääksi 2013. Näin analyysin luotettavuus paranee entisestään.

5. Kirjallisuus

[1] Asumisterveysopas, Ympäristö ja Terveys-lehti, 2009.

[2] Toimiston sisäilmaston tutkiminen Heidi Salonen, Sanna Lappalainen, Marjaana Lahtinen, Rauno Holopainen ym. Työterveyslaitos 2011.

[3] Schleichinger H., Hott U., Braun P. et al. Recommendations for establishing target values and guidance values for volatile organic compounds (VOC) in indoor air. Healthy Buildings, Singapore (2003).

[4] Valvira, Lausunto Dnro 6195/11.02.02.00/2011.