

RAKENNUSTEN MIKROBISTO JA NIIDEN ROOLI RAKENNUKSTEN TUTKIMISESSA

Anne Hyvärinen, Kaisa Jalkanen, Maria Valkonen ja Martin Täubel
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Ympäristöterveysyksikkö, Kuopio

TIIVISTELMÄ

Tämän esityksen tavoitteena on kuvata mikrolajiston roolia rakennusten tutkimisessa ja esittää uusia tutkimustuloksia rakennusten mikrobistosta.

RAKENNUKSTEN MIKROBIVAURIOIDEN TUTKIMINEN

Sisäilmaongelmien taustalla eivät ole vain kosteus- ja mikrobivauriot, vaan niitä voivat aiheuttaa monet tekijät, kuten materiaaleista vapautuvat kuidut, pölyt tai kemialliset epäpuhtaudet sekä rakennuksen fysikaaliset tekijät, kuten kosteus, veto ja lämpötila. Rakennusta onkin tutkittava kokonaisuutena – tavoitteena on epäpuhtauslähteen paikallistaminen ja altistumisolosuhteiden arviointi kokonaisvaltaisesti /1/.

Ilmeiset, rajalliset mikrobivauriot, joiden syy on selvillä, voivat olla helppoja todeta ja korjata. Usein tilanne on kuitenkin epäselvä, eikä mahdollisen rakenteissa olevan mikrobikasvun olemassaolo tai sijainti ole tiedossa. Mikrobivaurioiden selvittäminen perustuu rakennuksen tekniseen tutkimiseen, jossa rakenteiden tarkistuksen yhteydessä otetaan tarvittaessa mikrobiologisia näytteitä mikrobikasvun varmistamiseksi. Tärkeää on myös rakennuksen tiiveyden ja painesuhteiden tutkiminen mahdollisten epäpuhtauksien kulkeutumisen selvittämiseksi. Mikrobiologisia määrittelyksiä voidaan käyttää myös korjausalueen laajuuden tai rakenneosan kunnan määrittelyssä.

Mikrobiologiset määrittelykset osana kokonaisuutta

Asumisterveysasetuksen /2/ mukaan mikrobiologisia määrittelyksiä tehdään ensisijaisesti rakennusmateriaaleista, jotta varmistutaan mikrobikasvusta rakenteissa. Sisäilman mikrobiinäytteet eivät ole koskaan ensisijainen tapa tutkia rakennuksen mikrobivaurioita. Tämä johtuu sisäilman mikrobipitoisuuksien suuresta vaihtelusta ja useista pitoisuuksiin vaikuttavista tekijöistä. Sisäilmanäytteet eivät myöskään paikallista lähdettä, eikä niiden avulla voida sulkea pois altistumista mikrobivaurioille, jos rakennustekniset tutkimukset viittaavat siihen. Toisaalta sisäilmanäytteissä havaittu viite altistumisesta vaatii vahvistuksen esim. homeenhaju tai rakennusteknisessä tutkimuksessa havaitut löydökset.

Käytössä olevat mikrobiologiset menetelmät ovat ns. kasvatusmenetelmiä, joilla määritetään elinkykyisten sienten ja bakteerien kokonaispitoisuudet ja sienisukujen ja/tai -lajien sekä sädesienten pitoisuudet. Yksittäisen mikrobiinäytteen tulosten tulkinta tehdään sekä pitoisuuden että mikrobilajiston perusteella /3/.

KOSTEUSVAURIORAKENNUKSET – MIKROBIOLOGISILLE EPÄPUHTAUKSILLE EI OLE TERVEYSPERUSTEISIA TOIMENPIDERAJOJA

Lukuisat tutkimukset ovat osoittaneet, että kosteus- ja homevaurioituneissa rakennuksissa oleskelevilla henkilöillä on enemmän hengitystieoireita sekä astmaa ja sen oireiden pahenemista /4/5/. Mikrobeilla oletetaan olevan rooli terveysvaikutusten synnyssä kosteus- ja mikrobivaurioituneissa rakennuksissa, mutta mikään yksittäinen mikrobin tai mikrobiologisen tekijän mittaaminen ei selitä terveysvaikutuksia/4/5/6/. Tästä johtuen mikrobialtistumisen terveydellistä haittaa ei voida luotettavasti arvioida mittaamalla ilmasta mikrobeja tai muita mikrobiologisia epäpuhtauksia.

Allerginen alveoliitti voi aiheutua pitkäaikaisesta, yleensä työperäisestä, altistumisesta mikrobeille. Tautia havaitaan esimerkiksi maanviljelijöillä. Taudin synty vaatii suurempaa mikrobialtistusta kuin kosteusvaurioituneissa rakennuksissa yleensä havaitaan. Näin ollen on epätodennäköistä, että kosteusvauriot vaikuttavat merkittävästi allergisen alveoliitin syntyyn Suomessa/5/. Henkilöillä, joiden vastustuskyky on alentunut, tiedetään olevan homeisiin liittyviä infektioita/6/.

Kosteusvauriot ja niistä aiheutuvat terveyshaitat ovat varsin monimutkainen kokonaisuus. Altistavia tekijöitä, kuten mikrobit ja niiden aineenvaihduntatuotteet, on lukuisia ja ne muuttuvat ajan ja olosuhteiden myötä. Oireiden ja sairauksien takana ei liene mikään yksittäinen epäpuhtaus, vaan kyseessä lienee yhdistelmä, ”cocktail”, useista epäpuhtauksista ja niiden yhteisvaikutuksista. Lisäksi ihmisten yksilölliset erot herkkydessä vaikuttavat oireiluun ja sairastumiseen.

Sekä WHO:n että terveydensuojelulain (763/1994) mukaan kosteusvaurioihin liittyvän terveyshaitan esiintymistä arvioidaan tutkimalla, esiintyykö rakenteissa tai niiden pinnoilla kosteutta ja mikrobikasvua. Näitä pidetään indikaattoreina olosuhteista, jotka voivat aiheuttaa terveyshaittoja rakennuksessa oleskeville. Peruslähdekohta on, että kosteus- ja homevauriot tulisi ennaltaehkäistä ja korjata.

Yksittäisille mikrobisuvuille ja –lajeille ei ole toimenpiderajoja

Rakennuksille tehtävät toimenpidesuositukset perustuvat sisäilmaongelman kokonaisvaltaiseen tunnistamiseen eli altistumisolosuhteiden arviointiin. Toimenpidesuositusten ei tule siis perustua vain yksittäiseen mikrobilöydökseen.

Mikrobimääritysten avulla selvitetään, onko rakenteissa ja pinnoilla mikrobikasvua tai mahdollinen epätavanomainen mikrobiologinen epäpuhtauslähde (ilmanäytteet) osana tutkimuskokonaisuutta. Mikrobilajisto antaa lisätietoa tähän kokonaisuuteen.

Sädesienet eli aktinomykeetit ovat saaneet lähes hurjan maineen keskusteluissa. Puhutaan ”siitä kaikkein vaarallisimmasta mikrobista”. Samaan aikaan unohdetaan, että sädesienet ovat erittäin yleisiä luonnossa. Niitä esiintyy miljoonittain mm. mullassa ja ulkoilmassa lähes aina, kun maa ei ole lumen peittämä. Sädesienet ovat yksi kosteusvaurio-indikaattoreista eli mikrobeista, joiden on havaittu liittyvän runsaaseen kosteuteen rakennuksissa. Sädesienet ovat yksi potentiaalisista terveysvaikutusten aiheuttajista, koska ne voivat tuottaa paljon erilaisia aineenvaihduntatuotteita, joista osa on toksisia /7/ ja niillä on havaittu vasteita solu- ja eläinkokeissa /8/9/. Sädesieniä esiintyy myös runsaasti maataloustyöympäristöissä, joiden korkeat mikrobipitoisuudet voivat aiheuttaa allergista alveoliittia. Epidemiologisissa tutkimuksissa, jotka on tehty ei-työperäisissä altistumistilanteissa, näyttö terveysvaikutusten ja sädesienialtistuksen suhteen on

ristiriitaista. Osassa tutkimuksista on havaittu riski astmalle tai hengitystieoireille, toisissa jopa suojaavan oireilta tai yhteyttä oireisiin ei havaittu /10/11/12/13/14/15/. Sädesienet ovat siis yksi kosteusvaurioindikaattoreista, joille on asetettu toimenpideraja rakennusmateriaalinäytteissä osoittamaan mikrobikasvua näytteessä. Sädesienten havaitseminen rakennuksessa antaa lisätietoa kosteus- ja mikrobivaurioiden tutkimuskokonaisuudessa, mutta ei luokittele lähtökohtaisesti rakennuksen tilannetta vakavaksi.

UUTTA TUTKIMUSTA RAKENNUSTEN MIKROBISTOSTA

Uuden sukupolven sekvensointitekniikoiden [next generation sequencing (NGS)] soveltaminen ihmisen mikrobiomin tutkimukseen on mullistanut ymmärryksemme ihmisen mikrobiomin roolista terveydellemme. Tätä lupaavaa menetelmää sovelletaan nyt myös sisäympäristöjen mikrobiomi- ja epidemiologisessa tutkimuksessa. Tavoitteena on hyödyntää tietoa ja menetelmiä myös käytännön työkaluina /16/. Sekvensointimenetelmä mahdollistaa sisäympäristön mikrobiston syvällisen ja laaja-alaisen kuvaamisen siinä missä viljelymenetelmällä havaitaan vain elinkykyiset mikrobit ja qPCR-menetelmällä (kvantitatiivinen polymeerasiketjureaktio) vain ne mikrobit, joihin analyysit kohdistetaan.

Valtaosassa tutkimuksista, joissa NGS-menetelmää on käytetty, on pyritty ymmärtämään sisäympäristöjen mikrobiston ekologisia prosesseja ja dynamiikkaa sekä arvioitu erilaisten ympäristötekijöiden vaikutusta rakennusten mikrobiomiin. Käytännössä nämä tutkimukset ovat vahvistaneet ja laajentaneet havaintoja, joita on aiemmin tehty viljely- ja molekylaarisilla menetelmillä/17/. Tutkimukset ovat mm. osoittaneet, että sisäympäristöjen mikrobiomi on erittäin monimuotoinen, noin 10–100 kertaa monimuotoisempi kuin, mitä viljely- ja mikroskooppisilla menetelmillä on havaittu. Sisäilman bakteeristo heijastaa paljon ihmisten ja eläinten läsnäoloa, kun taas sienilajisto on pitkälti peräisin ulkolähteistä; tosin kosteusvauriorakennuksissa tilanne voi olla toisin. Rakennusten tyyppi, käyttö ja sijainti (maaseutu, kaupunki, maantieteellinen alue) vaikuttavat myös rakennusten mikrobiomiin/17/16/.

Vain muutama tutkimus on toistaiseksi hyödyntänyt sekvensointitekniikoita kosteusvaurioituneiden rakennusten mikrobiomin tutkimiseen/18/19/20/21/22/23/24/25/. Vain yksi näistä tutkimuksista raportoi selvän ja merkitsevän eron bakteeri- ja sienilajistojen koostumuksessa tutkiessaan ääripäiden tilanteita eli tulvan runtelemlia ja tulvalta säästyneitä asuntoja/21/. Rakennuksen mikrobiomissa ei toistaiseksi ole havaittu monia yhtenäisiä mikrobiprofiileja kosteusvaurioihin liittyen. Kosteusvauriot ovat yhteydessä rakennuksen mikrobiston suurempaan monimuotoisuuteen/19/20/23/24/25/. Tämä havainto vaatii kuitenkin lisää tutkimusta, sillä suuri monimuotoisuus on yleensä havaittu olevan yhteydessä suojaaviin terveysvaikutuksiin, kun taas kosteusvaurioaltistumisen tiedetään aiheuttavan terveyshaittoja. Yhdessä viimeisimmästä tutkimuksestamme havaitsimme merkittävän vähennyksen useiden Aktinobakteereihin kuuluvien lajien suhteellisessa määrässä sen jälkeen, kun kyseisen rakennuksen kosteusvauriot korjattiin/25/. Myös mikrobien sekundärimetaboliitit eli nk. toksiniit vähenevät korjausten jälkeen näissä rakennuksissa /26/. Sekvensointimenetelmän tuottamaa tietoa rakennuksen mikrobistosta voidaan tulevaisuudessa hyödyntää käytännön tutkimuksessa, mutta tarvitsemme siihen laajat referenssidata-aineistot erilaisista näytteistä.

YHTEENVETO

Rakennuksissa esiintyy lukuisia erilaisia mikrobeja, joiden esiintymiseen ja pitoisuuksiin vaikuttaa mm. ihmiset ja heidän toimintansa, rakennustyyppi, ulkoilma ja vuodenaika. Mikrobivaurioiden toteaminen perustuu rakennuksen tekniseen tutkimukseen, jonka yhteydessä tehdään tarvittaessa mikrobiologisia määrytyksiä ensisijaisesti rakennusmateriaalinäytteistä käyttäen hyväksytyjä ja validoituja menetelmiä. Yksittäisille mikrobisuvuille ja –lajeille ei ole toimenpiderajoja, vaan mikrobilajisto tuo lisätietoa altistumisolosuhteiden kokonaisvaltaiseen arviointiin. Kosteus- ja homevauriot ja niiden syyt tulisi korjata ja niiden synty ennaltaehkäistä, koska niin voidaan vähentää hengitystieoireilua ja ylläpitää rakennuksen kuntoa.

LÄHDELUETTELO

1. Lappalainen, S., Reijula, K., Tähtinen, K. ym. (2017) Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-261-722-4> (PDF).
2. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1994/19941280>.
3. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje . Valviran ohje 8/2016, osa IV2 <http://www.valvira.fi/ymparistoterveys/terveydensuojelu/asumisterveys>.
4. WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. Geneva: World Health Organization 2009; http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0017/43325/E92645.pdf.
5. Käypähoitosuositus- Kosteus- ja homevaurioista oireileva potilas. Duodecim (2017) <http://www.kaypahoito.fi/web/kh/suositukset/suositus?id=hoi50111#s5>.
6. Hurrass, J., Heinzow, B., Aurbach, U. ym. (2017) Medical diagnostics for indoor mold exposure. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 2017 Apr;220(2 Pt B):305-328. doi: 10.1016/j.ijheh.2016.11.012.
7. Solecka, J., Zajko, J., Postek, M., Rajnisz, A. Biologically active secondary metabolites from Actinomycetes. *Cent. Eur. J. Biol.* 7: 373-390, 2012.
8. Huttunen, K., Pelkonen, J., Nielsen, KF., Nuutinen, U., Jussila, J., Hirvonen, MR. Synergistic interaction in simultaneous exposure to *Streptomyces californicus* and *Stachybotrys chartarum*. *Env Health Perspect* 112;659-665, 2004.
9. Penttinen, P., Huttunen, K., Pelkonen, J., Hirvonen, MR. The proportions of *Streptomyces californicus* and *Stachybotrys chartarum* in simultaneous exposure affect inflammatory responses in mouse RAW264.7 macrophages. *Inhal Toxicol*;2005;17(2):79-85.
10. Hyvärinen, A., Sebastian, A., Pekkanen, J. ym. (2006). Characterizing microbial exposure with ergosterol, 3-hydroxy fattyacids, and viable microbes in house dust: Determinants and association with childhood asthma. *Archives of Environmental and Occupational Health* 61(4):149-157.
11. Cai, G., Hisham Hashim, J., Hashim, Z., Ali, F., Bloom, E., Larsson, L., Lampa, E., Norbäck, D. (2010). Fungal DNA, allergens, mycotoxins and associations with

- asthmatic symptoms among pupils in schools from Johor Bahru, Malaysia. *Pediatric Allergy and Immunology* 22 (2011) s. 290-297.
12. Johansson, E., Reponen, T., Vesper, S., Levin, L., Lockey, J., Ryan, P., Bernstein, D.I., Villareal, M., Khurana Hershey, G.K., Schaffer, C., LeMasters, G. (2013). Microbial content of household dust associated with exhaled NO in asthmatic children. *Environment International* 59 (2013) 141-147.
 13. Karvonen, AM., Hyvärinen, A., Rintala, H. ym. (2014). Quantity and diversity of environmental microbial exposure and development of asthma: a birth cohort study. *Allergy*. 69(8):1092-101. doi: 10.1111/all.12439. Epub 2014 Jun 13.
 14. Nordbäck, D., Hisham Hashim, J., Cai, G., Hashim, Z., Ali, F., Bloom, E., Larsson, L.(2016). Rhinitis, Ocular, Throat and Dermal Symptoms, Headache and Tiredness among Students in Schools from Johor Bahru, Malaysia: Associations with Fungal DNA and Mycotoxins in Classroom Dust. *Plos One* 2016 Feb 1;11(2):e0147996. doi: 10.1371/journal.pone.0147996. eCollection 2016.
 15. Park, J-H., Cox-Ganser, JM., White, SK., Laney, AS., Caufield, SM., Turner, WA., Sumner, AD., Kreiss, K. (2017). Bacteria in a water-damaged building: associations of actinomycetes and non-tuberculous mycobacteria with respiratory health in occupants. *Indoor Air* 2017;27:24-33.
 16. National Academy of Sciences, Engineering, and Medicine. 2017. *Microbiomes of the Built Environment: From Research to Application*. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/23647.References.
 17. Stephens, B. What Have We Learned about the Microbiomes of Indoor Environments? *mSystems* 2016;1(4). pii: e00083-16.
 18. Ciaccio, CE., Barnes, C., Kennedy, K., Chan, M., Portnoy, J., Rosenwasser, L. Home dust microbiota is disordered in homes of low-income asthmatic children. *J. Asthma* 2015;52:873-880.
 19. Dannemiller, KC., Mendell, MJ., Macher, JM., Kumagai, K., Bradman, A., Holland, N., Harley, K., Eskenazi, B., Peccia, J. Nextgeneration DNA sequencing reveals that low fungal diversity in house dust is associated with childhood asthma development. *Indoor Air* 2014;24:236-247.
 20. Dannemiller, KC., Gent, JF., Leaderer, BP., Peccia, J. Influence of housing characteristics on bacterial and fungal communities in homes of asthmatic children. *Indoor Air* 2016;26:179-192.
 21. Emerson, JB., Keady, PB., Brewer, TE., Clements, N., Morgan, EE., Awerbuch, J., Miller, SL., Fierer, N. Impacts of flood damage on airborne bacteria and fungi in homes after the 2013 Colorado Front Range flood. *Environ. Sci. Technol.* 2015;49:2675-2684.
 22. Green, BJ., Lemons, AR., Park, Y., Cox-Ganser, JM., Park, J. Assessment of fungal diversity in a water-damaged office building. *J. Occup. Environ. Hyg.* 2017;14:285-293.
 23. Kettleson, EM., Adhikari, A., Vesper, S., Coombs, K., Indugula, R., Reponen, T. Key determinants of the fungal and bacterial microbiomes in homes. *Environ. Res.* 2015;138:130-135.

24. Pitkäranta, M., Meklin, T., Hyvärinen, A., Nevalainen, A., Paulin, L., Auvinen, P., Lignell, U., Rintala, H. Molecular profiling of fungal communities in moisture damaged buildings before and after remediation-a comparison of culture-dependent and culture-independent methods. *BMC Microbiol.* 2011;11:235.
25. Jayaprakash, B., Adams, R., Kirjavainen, P., Karvonen, A., Vepsäläinen, A., Valkonen, M., Järvi, K., Sulyok, M., Pekkanen, J., Hyvärinen, A., Täubel, M. (2017) Indoor microbiota in severely moisture damaged homes and the impact of interventions. *Microbiome* 5:138. <https://doi.org/10.1186/s40168-017-0356-5>
26. Valkonen, M., Järvi, K., Asikainen, A., Vepsäläinen, A., Jalkanen, K., Pasanen, P., Salonen, H., Täubel, M., Hyvärinen, A. Microbial exposures in severely moisture damaged homes in Finland. Manuscript under preparation.
- 7.