

ALTISTUMISOLOSUHTEIDEN ARVIOINTI JA ERILAISET ALTISTEMITTAUKSET RAKENNUSTEN SISÄILMASTOTILANTEEN SELVITTÄMISESSÄ

Kaisa Jalkanen¹, Martin Täubel¹, Asko Vepsäläinen¹, Kristiina Myller¹, Maria Valkonen¹, Kati Huttunen², Arto Köliö³ ja Anne Hyvärinen¹

¹ Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Terveysturvallisuusosasto, Ympäristöterveysyksikkö

² Itä-Suomen yliopisto, Ympäristö- ja biotieteiden laitos

³ Renovatek Oy

TIIVISTELMÄ

REMEDIAL-hankkeeseen (Rakennuksen kosteusvaurion vaikutus sisäympäristön mikrobiomiin ja altistumisen vaikutukset keuhkokuoloksessa - REMEDIAL konsortio) rekrytoitiin terveysvalvontayksiköiden ja omien kanavien kautta mukaan 30 Itä- ja Keski-Suomessa sijaitsevaa omakoti- ja rivitalokohdetta. Kohteisiin tehtiin kosteusteknisiä kuntotutkimuksia ja niiden perusteella altistumisolosuhteiden arviointia. Kohteista kerättiin useita erilaisia näytteitä, joita analysoitiin eri menetelmillä. Lisäksi kohteissa seurattiin olosuhteita sekä ilman hiukkaspitoisuutta. Eri analyysien tuloksia ja olosuhdetietoja verrattiin rakennusteknisen tutkimuksen perusteella tehtyyn arvioon altistumisen todennäköisyydestä. Minkään yksittäisen näytetyypin tai mittausmenetelmän tulokset eivät systemaattisesti olleet yhteydessä arvioon altistumisen todennäköisyydestä.

JOHDANTO

Parhaana käytäntönä rakennusten sisäilmastotilanteiden selvittämiseen pidetään tyypillisesti kokonaisvaltaisten rakennusteknisten tutkimusten tekemistä. Tarvittaessa erilaiset mittaukset ja analyysit ovat tärkeä osa selvitystä. Kokonaisvaltaisen tutkimuksen sekä tarvittavien mittausten antamien tietojen avulla voidaan rakennuksen kunnan selvittämisen lisäksi saatuja tietoja käyttää altistumisolosuhteen arviointiin. Rakennustekniset tutkimukset tarvittavine mittauksineen ovat arvokkaita, mutta välillä on nähtävissä, että erilaisia yksittäisiä mittauksia ja analyysijä käytetään sisäilmastotilanteiden selvittämisen tai jopa altistumisolosuhteen arvioinnin perustana. Yksittäisten mittausten avulla ei kuitenkaan voida selvittää rakennuksen kuntoa tai tehdä altistumisolosuhteen arviointia. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli verrata useiden erilaisten analyysien tuloksia ja olosuhdetietoja rakennusteknisen tutkimuksen perusteella tehtyyn arvioon altistumisen todennäköisyydestä.

KOhteet JA MENETELMÄT

Kohteet

Tutkimuskohteiksi hankittiin vaurioepäilykohteita kunnallisten terveysvalvontayksiköiden sekä muiden yhteistyötahojen kautta. Vaurioepäilykohteet olivat kohteita, joissa oli asukkaan mukaan epäily sisäilmahaitasta. Jokaiselle vaurioepäilykohteelle hankittiin vastaava referenssikohde eli ei-vaurioitunut rakennus,

jossa ei asukkaiden mukaan esiintynyt kosteusvaurioita tai rakennukseen liitettyä oireilua. Referenssikohteet hankittiin omien kanavien kautta esim. sähköpostikyselyjen ja tiedotteiden avulla. Referenssikohteet valittiin vastaamaan mahdollisimman hyvin vauriokohteita mm. iän, sijainnin, koon, perustustyypin, runkorakenteen, ilmanvaihtojärjestelmän ja asunnossa asuvien henkilöiden määrän mukaan. Kaikki kohteet olivat omakoti- ja rivitalokohteita ja sijaitsivat Itä- ja Keski-Suomessa ja ne oli rakennettu vuosina 1924–1989. Suurin osa kohteista (14 kpl) on rakennettu 1940- ja 1950-luvulla. Kohteet ovat puurunkoisia, joihin liittyi betonisia kellari- ja alapohjarakenteita. Vanhin kohde (rakennettu 1924) oli hirsirunkoinen.

Kuntotutkimukset ja altistumisolosuhteen arviointi

Hankkeen kaikkiin (n=30) kohteisiin tehtiin kosteusteknisiä kuntotutkimuksia mahdollisten epäpuhtaustekijöiden tunnistamiseksi. Tutkimusten yhteydessä kartoitettiin kohteiden rakenteet sekä niihin liittyvät kosteustekniset riskit. Lisäksi tutkittavien rakenteiden kunnosta ja toiminnasta kerättiin tietoa kosteusmittausten, painesuhteiden mittauksen sekä rakenneavausten ja materiaalinäytteenoton avulla. Systemaattisen tutkimusohjeen mukaan /1/ tehtyjen tutkimusten perusteella saatiin viitteitä tätä tutkimusotosta vastaavien pientalojen rakenteiden tyypillisistä ominaisuuksista ja kosteusteknisistä toimivuuspuutteista.

Kosteusteknisten kuntotutkimusten perusteella kohteille tehtiin altistumisolosuhteiden arviointi eli määritettiin epäpuhtaustekijöille altistumista rakennuksessa. Altistumisen arvioinnissa huomioitiin epäpuhtauksille ja olosuhdehaitoille altistumisen todennäköisyyttä, määrää, laatua ja kestoja. Kohteet jaoteltiin altistumisen arvioinnin perusteella neljään luokkaan (Taulukko 1.). Altistumisolosuhteen arvioinnissa sovellettiin Työterveyslaitoksen kehittämää mallia altistumisolosuhteen arvioinnista työpaikoilla /2/. Työterveyslaitoksen mallin soveltamisessa otettiin huomioon mikrobivaurioiden laajuus ja ilmavuotoreitit vaurioituneista rakenteista, mutta materiaalien mahdollisia kuitulähteitä, M1-päästöluokitusta tai tilan sisäilman laadun ohjearvoja ei voitu käyttää kriteereinä tutkituissa kohteissa.

Taulukko 1. Kohteiden jakautuminen altistumisen todennäköisyys -luokkiin.

Altistumisen todennäköisyys -luokka	Kohteiden lukumäärä
Altistuminen erittäin todennäköistä	3
Altistuminen todennäköistä	13
Altistuminen mahdollista	7
Altistuminen epätodennäköistä	7
Yhteensä	30

Menetelmät ja näytteet

Kohteista kerättiin useita erilaisia ilma- ja pölynäytteitä, joita analysoitiin eri menetelmillä (Taulukko 2). Kohteiden lämpötilaa, suhteellista kosteutta sekä hiilidioksidipitoisuutta seurattiin näytteiden keräämisen aikana Climabox3-olosuhdeloggerilla ja ilman hiukkaspitoisuutta Lighthouse-partikkelilaskurilla.

Taulukko 2. Kohteista kerätyt näytetyypit ja analysointimenetelmät.

Näytetyyppi	Menetelmä	Muuta
Ilmanäytteet	mikrobit, viljely	Asumisterveysasetuksen (545/2015) ja sen soveltamisohjeen (2016) mukainen menetelmä
Ilmanäytteet	mikrobit, qPCR	Näytteenottoaika n. 2 h
Ilmanäytteet	mikrobit, qPCR	Näytteenottoaika keskimäärin 83 h 8 päivän aikana
Ilmanäytteet	VOC-yhdisteet, GC-MS	Radiello passiivikeräin, 7 vrk
Pölynäytteet	mikrobit, qPCR	Laskeututut pöly, 4 vkoa
Pölynäytteet	mikrobit, qPCR	Mattopöly, 2 min, 1 m ²
Pölynäytteet	toksiinit, HPLC/ESI-MS/MS	Mattopöly, 2 min, 1 m ²
Pölynäytteet	kokonaistoksisuus, E.coli-lux -mittaus	Pyyhintäpöly, kolme näyteparia

Viljelyllä analysoidut ilmanäytteet otettiin Andersen 6-vaihekeräimellä jokaisesta kohteesta. Lisäksi ulkoilmanäytteitä otettiin aina kun se sään puolesta oli mahdollista (tuloksia ei raportoitu). Näytteet otettiin ja analysoitiin Asumisterveysasetuksen /3/ ja sen soveltamisohjeen /4/ mukaisesti.

Sisäilman qPCR-analyysijä varten otettiin Button-keräimellä lyhyt- ja pitkäkestoisia suodatinnäytteitä. Lyhytaikaisia ulkoilmanäytteitä otettiin aina kun se sään puolesta oli mahdollista (tuloksia ei raportoitu). Keräysaika oli lyhytkestoisilla näytteillä n. 2 h ja pitkäkestoisilla näytteillä keskimäärin 83 h (8 päivän aikana). Virtausnopeus oli molemmilla näytetyypeillä n. 4 l/min. Suodattimilta eristettiin DNA ja analysoitiin qPCR-sovelluksilla sienten kokonaispitoisuus /5/ ja *Penicillium/Aspergillus/Paecilomyces variotii*-ryhmä /6/.

Kemialliset (VOC) yhdisteet kerättiin kohteista Radiello-passiivikeräimellä. Keräimet olivat kohteissa 7 vrk. Näytteistä analysoitiin kaasukromatografi-massaspektrometrillä (GC-MS) n. 30 yksittäistä yhdistettä sekä laskettiin yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC).

Laskeutuneen pölyn näyte kerättiin kohteista kahden viikon ajan neljälle petrimaljalle kerääntyneestä pölystä. Näytteistä eristettiin DNA ja analysoitiin qPCR-sovelluksilla sienten kokonaispitoisuus /5/ ja *Penicillium/Aspergillus/Paecilomyces variotii*-ryhmä /6/.

Mattopölynäytteitä qPCR-analyysijä varten kerättiin tyypillisesti olohuoneesta matolta 1 m² tai lattialta 4 m² pinta-alalta 2 minuutin ajan imuroimalla. Mattopöly esikäsiteltiin ja osanäytteestä eristettiin DNA, josta analysoitiin ns. FERMI-analyysia varten *Aspergillus ochraceus*, *Aspergillus versicolor*, *Chaetomium globosum*, *Cladosporium sphaerospermum*, *Penicillium corylophilum*, *Penicillium crustosum*-ryhmä, *Penicillium chrysogenum*, *Alternaria alternata*, *Cladosporium cladosporioides* ja *Epicoccum nigrum* qPCR-sovellukset /7/ sekä sienten kokonaispitoisuus /5/ ja *Penicillium/Aspergillus/Paecilomyces variotii*-ryhmä /6/.

Mattopölynäytteistä (ks. edellä) punnittiin lisäksi osanäyte (n. 50 µg) toksiinianalyysiin. Toksiinit määritettiin nestekromatografi-massaspektrometri (HPLC/ESI-MS/MS)

analyysillä /8/, joka määrittää näytteestä yli 400 eri toksiinia ja muuta sekundäärimetaboliittia.

Näytteet kokonaistoksisuusanalyysiin otettiin analyysin suorittavan laboratorion ohjeiden mukaisesti pyyhintäpölynäytteinä tikuilla polyeteeniputkiin kohteen oleskelutilan (tyypillisesti olohuone) pinnoilta. Jokaisesta kohteesta otettiin kolme näyteparia.

Tulosten tilastollinen analysointi

Tulosten tilastollinen käsittely tehtiin SAS -tilasto-ohjelmalla, versio 9.3. Kohteista kerättyjen näytteiden tuloksia (mikrobiologiset määritykset, toksiinianalyysit, VOC-analyysit) verrattiin rakennusteknisen tutkimuksen perusteella määritetyissä altistumisen todennäköisyys- luokissa (altistuminen todennäköistä /erittäin todennäköistä ja altistuminen epätodennäköistä) Wilcoxon Two-Sample -testillä. Mattopölystä qPCR -menetelmällä määritetty FERMI -indeksi laskettiin, kuten on aiemmin esitetty /7/.

TULOKSET JA TULOSTEN TULKINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli verrata kohteista kerätyistä näytteistä analysoituja tuloksia sekä kerättyjä olosuhdetietoja kohteiden rakennusteknisten tutkimusten perusteella tehtyyn altistumisen todennäköisyys -luokitukseen. Työterveyslaitoksen työpaikoille tarkoitetun altistumisen todennäköisyys -luokituksen /2/ soveltamiseen asuinrakennusten arvioimiseen liittyi haasteita ja epävarmuuksia esim. 1) kosteus- ja mikrobivaurioiden sijainnin, 2) vauriokohtien lukumäärän, 3) huonetilojen käyttötarkoituksen, 4) kulku- ja ilmayhteyksien sekä 5) tilojen käyttöasteen suhteen. Tulokset analysoitiin siten, että altistumisen suhteen epäselvin eli altistuminen mahdollista -luokka jätettiin pois analyysistä aineiston polarisoimiseksi. Tilastollisten analyysien perusteella minkään näytetyypin tai menetelmän tulokset eivät systemaattisesti olleet yhteydessä arvioon altistumisen todennäköisyydestä siten, että pitoisuudet olisivat olleet kesimäärin korkeammat altistuminen todennäköistä/erittäin todennäköistä -luokassa verrattuna altistuminen epätodennäköistä -luokkaan. Poikkeuksena oli Brevianamid F-toksiinin esiintyminen, jossa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero (Taulukko 3.). Lämpötiloissa (C°), suhteellisessa kosteudessa (RH %) tai hiilidioksidipitoisuudessa (CO₂) ei ollut merkittäviä eroja kohteiden altistumisolosuhteen todennäköisyys-luokissa (Taulukko 4.).

Taulukko 3. Yhteenveto tuloksista. ↑ = Pitoisuudet keskimäärin korkeammat altistuminen todennäköistä -luokassa, ↓ = Pitoisuudet keskimäärin matalammat altistuminen todennäköistä -luokassa, *Tuloksia ei voitu analysoida tilastollisesti (tulokset alle määrittäysrajan), vain alle $p < 0.1$ on ilmoitettu, tilastollisesti merkitsevänä on pidetty $p < 0.05$

Näytetyyppi	Menetelmä	Tulos	p-arvo
Ilmanäyte, Andersen	Viljely, sienten kokonaispitoisuus	↑	0,036
	Viljely, bakteerien kokonaispitoisuus	↓	
	Viljely, aktinomykeettipitoisuus	↑	
Ilmanäyte, 2 h	qPCR, sienten kokonaispitoisuus	↓	
	qPCR, <i>Pen/Asp/P.variotii</i> -ryhmä	↓	
Ilmanäyte, 1 vko	qPCR, sienten kokonaispitoisuus	↑	
	qPCR, <i>Pen/Asp/P.variotii</i> -ryhmä	↑	
Ilmanäyte, 1 vko	TVOC	↓	
Mattopöly	qPCR, sienten kokonaispitoisuus	↓	
	qPCR, <i>Pen/Asp/P.variotii</i> -ryhmä	↓	
	qPCR, FERMI	↓	
Laskeutunut pöly, 4 vko	qPCR, sienten kokonaispitoisuus	↑	
	qPCR, <i>Pen/Asp/P.variotii</i> -ryhmä	↑	
	qPCR, Streptomykeetit	↓	
Pyyhintäpöly	kokonaistoksisuus	-	*
Mattopöly	toksiinianalyysi: Brevianamid F	↑	0.032
	Usnic acid	↑	<0.1
	Enniatin A	↑	<0.1

Taulukko 4. Kohteiden olosuhdetiedot eri altistumisen todennäköisyys-luokissa (altistuminen erittäin todennäköistä ja altistuminen todennäköistä -luokat yhdistetty). Taulukossa on ilmoitettu viikon mittausjakson keskiarvo ja suluisissa keskiarvot minimi- ja maksimiarvoista.

Altistumisen todennäköisyys -luokka	C°	RH %	CO ₂
Altistuminen erittäin todennäköistä/todennäköistä	22,2 (19,5-24,9)	32,1 (26,0-40,8)	941 (607-1625)
Altistuminen mahdollista	20,0 (20,0-24,3)	29,4 (23,0-36,1)	857 (597-1285)
Altistuminen epätodennäköistä	20,4 (20,4-25,0)	36,7 (30,8-45,0)	982 (625-1676)

YHTEENVETO

Rakennuksen kokonaisvaltaisen tutkimuksen sekä tarvittavien mittausten antamien tietojen avulla voidaan rakennuksen kunnon selvittämisen lisäksi tutkimuksissa saatuja tietoja käyttää rakennuksen altistumisolosuhteen arviointiin. Välillä on nähtävissä, että yksittäisiä mittauksia ja analyyskejä käytetään sisäilmastotilanteen selvittämisen tai jopa altistumisolosuhteen arvioinnin perustana, vaikka on yleisesti tiedossa, että yksittäisten mittausten avulla ei saada riittävää tietoa kokonaistilanteesta. REMEDIAL-hankkeessa tehtiin kosteusteknisiä kuntotutkimuksia sekä altistumisolosuhteen arviointi 30 omakoti-

ja rivitaloon ja kohteista kerättiin useita erilaisia näytteitä, jotka analysoitiin erilaisilla menetelmillä. Tarkoituksena oli verrata kohteista kerätyistä näytteistä analysoituja tuloksia sekä kerättyjä olosuhdetietoja kohteiden rakennusteknisten tutkimusten perusteella tehtyyn altistumisen todennäköisyys -luokitukseen. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan mikään yksittäisen epäpuhtauden tai olosuhdetekijän määrittäminen ei ole yhteydessä rakennuksen altistumisen todennäköisyys -luokkaan, lukuun ottamatta yksittäistä Brevianamid F toksiinia. Tämä tukee olemassa olevan ohjeistuksen mukaista linjaa kokonaisvaltaisten rakennusteknisten ja muiden tarvittavien tutkimusten merkityksestä rakennusten sisäilmastotilanteiden selvittämisessä. Altistumisolosuhteen arviointia asuinrakennuksille tulisi kehittää edelleen.

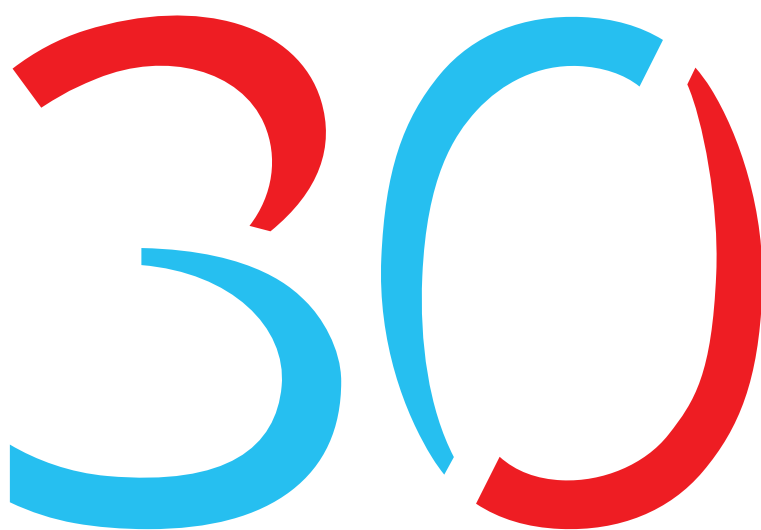
LÄHDELUETTELO

1. Köliö, A., Jalkanen, K., Annala, P. 2017. Havainnot vanhojen pientalojen rakenteiden kosteusteknisestä toiminnasta Remedial-tutkimushankkeessa. Rakennusfysiikka 2017: Uusimmat tutkimustulokset ja hyvät käytännön ratkaisut, 24-26.10.2017, Tampere.
2. Lappalainen, S., Reijula, K., Tähtinen, K., Latvala, J., Hongisto, V., Holopainen, R., Kurttio, P., Lahtinen, M., Rautiala, S., Tuomi, T. ja Valtanen, A. 2016. Ohje työpaikkojen sisäilmasto-ongelmien selvittämiseen. Työterveyslaitos.
3. Asumisterveysasetus. 2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista. Asetus 545/2015
4. Asumisterveysasetuksen soveltamisohje. 2016. Osa IV Mikrobiologiset olot. Ohje 8/2016. Valvira.
5. Haugland, RA., Vesper, S. 2002. Method of identifying and quantifying specific fungi and bacteria. US patent, 2002 6:3741-3751.
6. Haugland, RA., Varma, M., Wymer, LJ., Vesper, S. 2004. Quantitative PCR analysis of selected Aspergillus, Penicillium and Paecilomyces species. Systematic and Applied Microbiology. 27(2):198-210.
7. Täubel, M., Karvonen, AM., Reponen, T., Hyvärinen, A., Vesper, S., Pekkanen, J. 2015. Application of the Environmental Relative Moldiness Index in Finland. Applied and Environmental Microbiology. Nov 6;82(2):578-84
8. Vishwanath V, Sulyok M, Labuda R, et al. 2009. Simultaneous determination of 186 fungal and bacterial metabolites in indoor matrices by liquid chromatography/tandem mass spectrometry. Anal Bioanal Chem 395(5):1355-72.

SISÄILMASTOSEMINAARI

2020

Messukeskus, Helsinki
10.3.2020



SISÄILMAYHDISTYS

Sisäilmayhdistys ry

SISÄILMASTOSEMINAARI 2020

10.3.2020

Toimittajat:

Mervi Ahola
Anna Merikari