MIKROBITOKSIINIEN HENGITYSTIEVAIKUTUKSET

Kati Huttunen[1], Merja Korkalainen[2], Martin Täubel[2], Juha Pekkanen[3], Anne Hyvärinen[2]

[1]Itä-Suomen Yliopisto
[2]Terveyden ja hyvinvoinnin laitos
[3]Helsingin Yliopisto

TIIVISTELMÄ

Mikrobien aineenvaihduntatuotteille altistutaan niin työpaikoilla kuin kotien sisäilmassakin, mutta yksittäisten toksiinien pitoisuudet ovat tyypillisesti alhaisia. Kirjallisuudessa on esitetty laaja kirjo mykotoksiinien haitallisia vaikutuksia, jotka eivät rajoitu pelkästään hengitysteihin. Epidemiologisia tutkimuksia toksiineille altistumisesta on vain muutamia, mutta hengitystiealtistumisen terveyshaittoja on tutkittu kokeellisesti sekä solu-, kudos- että eläinmallien avulla. Riskinarviointia hankaloittaa epätarkkuus altistumisen mittaamissa ja keskittyminen yksittäisiin yhdisteisiin. Erityisen hyödyllisiä olisivat altistumista ja terveyshaittoja mittaavat kliiniset tutkimukset sekä edistyneitä hengitystiemalleja hyödyntävät kokeelliset tutkimukset, joissa keskitytään toksiineiden pitkäaikais- ja yhteisvaikutuksiin.

TAUSTA

Mykotoksiinien eli sienien sekundääristen aineenvaihduntatuotteiden terveyshaittoja on tutkittu alkaen jo 1960-luvun alusta, jolloin aflatoksiinin saastuttama vilja tunnistettiin syypääksi siipikarjan massakuolemiin /1/. Ympäristössämme on lukuisia sienten toksisia aineenvaihduntatuotteita, joista vain pieni osa, noin 400 yhdistettä, on tunnistettu /2/. Ihmisille mahdollisesti terveyshaittaa aiheuttavien mikrobitoksiinien määrä lienee tuhansissa, kun otetaan huomioon myös bakteereiden tuottamat toksiset yhdisteet /3/. Mikrobitoksiineille altistutaan yleensä ruuansulatuskanavan kautta, mutta altistumista tapahtuu myös hengitysteiden, ihon tai limakalvojen läpi. Kiinnostus sisäilmaan altistusreittinä lisääntyi, kun toksiineja eristettiin sisäilman pölystä sekä mikrobi-itiöistä ja niiden fragmenteista, joiden mukana ne voivat kulkeutua keuhkoihin /4/. Hengitystiet ovat myös todennäköinen altistumisreitti haihtuville aineenvaihduntatuotteille, joten sisätiloissa hengitysteitse tapahtuvaa altistumista voidaan pitää merkittävimpänä altistumisreittinä.

Tässä esitetty kirjallisuuskatsaus on tehty pohjatyönä keväällä 2017 julkaistavaa "Exposure to microbiological agents in indoor and occupational environments" –kirjaa varten. Kirjallisuuskatsausta varten kävimme läpi erityisesti mykotoksiinien hengitystiealtistukseen liittyviä kokeellisia tutkimuksia sekä kliinisiä tutkimuksia työpaikoilla tai kosteusvaurioituneissa sisäympäristöissä tapahtuvasta altistumisesta ja/tai oireista. Altistumisen arviointi sisäilmasta eristetyn sienilajin tai sen laboratorioviljelyssä todetun toksiinituotannon perusteella on tulkinnanvaraista, joten olemme keskittyneet kokeellisiin tutkimuksiin, joissa altistuksen laatu ja määrä on tiedossa. Lisäksi mukana on kliinisiä tutkimuksia, joissa yhdelle tai useammalle mykotoksiinille altistuminen on varmistettu joko mittaamalla itse mykotoksiinin tai mykotoksiinialtistukselle spesifisen biomarkkerin pitoisuus altistusympäristössä tai altistuneen ihmisen elimistössä.

HENGITYSTIEMALLIT TOKSIKOLOGISESSA TUTKIMUKSESSA

Merkittävä osa hengitysteihin liittyvästä toksikologisesta tutkimuksesta on tehty eläinmalleilla, joissa kohde-eläiminä käytetään tyypillisesti jyrsijöitä (pääasiassa hiiriä). Hengitystiealtistuksen systeemisen vaikutuksen tutkimiseen eläinmalli onkin ainoa saatavilla oleva kokeellinen tutkimusmenetelmä, joskin jyrsijöiden käyttöä on kritisoitu ihmiseen verrattuna mm. erilaisten ilmatiehyeiden ja hengitystavan vuoksi. *In vitro* – tutkimuksissa pääpaino on ollut hengitettävien yhdisteiden ensimmäisen kontaktikudoksen eli hengitysteiden epiteelin toiminnan tutkimisessa. Yleisesti käytössä olevia solumalleja ovat mm. keuhkoputkien tai keuhkorakkuloiden epiteelisolulinjat /5/. Solulinjojen avulla voidaan muodostaa myös keuhkokudosta jäljitteleviä eri solutyyppien yhteisviljelmiä, joiden avulla on jo tutkittu mm. maksan ja suoliston solujen käyttäytymistä mykotoksiinialtistuksessa /6/. Hengitysteiden solujen yhteiskasvatusmallia ei ole kuitenkaan vielä hyödynnetty mikrobitoksiinitutkimuksessa. Jatkuvien solulinjojen lisäksi kokeellisessa tutkimuksessa voidaan käyttää myös ihmisistä eristettyjä soluja tai kudoksia. Primäärisoluviljelmillä on tutkittu esimerkiksi aflatoksiinin ja sterigmatokystiinin vaikutuksia nenän ja keuhkon soluihin /7-8/. Hengitysteistä eristettyjä kudoksia altistamalla on puolestaan havaittu mm. okratoksiini A:n verisuonia supistava vaikutus /9/ ja sisäilman mikrobien aineenvaihduntatuotteiden kyky estää värekarvojen toimintaa /10/.

MIKROBIEN AINEENVAIHDUNTATUOTTEET SISÄYMPÄRISTÖISSÄ

Mikrobien aineenvaihduntatuotteita on löydetty niin yksityisten kuin julkisten rakennusten kosteusvaurioituneista sisäympäristöistä. Havaitut pitoisuudet ovat tyypillisesti alhaisia, eri yhdisteitä on lukuisia ja altisteyhdistelmien koostumus vaihtelee paljon /3, 11-16/. Laajimmin tutkittuja sisäilman toksiineja ovat aflatoksiinit /12/, okratoksiini A /17/ ja trikotekeenit (T2-toksiini, deoksinivalenoli, satratoksiinit, verrukariini) /18, 19/, joskin lukuisia muitakin toksiineja on epäilty yhteyksistä kosteusvaurioympäristöissä havaittuihin terveyshaittoihin /10, 20, 21/.

Mikrobitoksiinien terveyshaitat tunnetaan parhaiten työympäristöistä, joissa tyypillisesti altistutaan orgaanisille pölyille. Korkean tai jatkuvan altistuksen seurauksena on dokumentoitu keuhkotoksikooseja, kuten orgaanisten pölyjen aiheuttamaa toksista oireyhtymää /22, 23/. Kosteusvaurioituneissa sisäympäristöissä toksiinialtistuksen ja terveyshaitan syy-yhteyden todistaminen on kuitenkin osoittautunut vaikeaksi, sillä toksiinien pitoisuudet ovat alhaisempia ja vain harvoissa tutkimuksissa altistumisen määrä tai laatu on kuvattu kattavasti. Altistuksen arviointi perustuu usein muutaman mitatun toksiinin läsnäoloon pölynäytteissä tai altistuneiden ihmisten kudoksissa, eikä mikrobitoksiinien ilmapitoisuuksia laajemmin kartoittaneita tutkimuksia ole saatavilla. Koska toksiinien määrittäminen suoraan ilmanäytteestä on haastavaa, altistumista hengitysteitse arvioidaan usein epäsuorasti pölyn toksiinipitoisuuden avulla /24/. Vielä useammissa tutkimuksissa toksiinialtistusta ei ole edes mitattu tai karakterisoitu, vaan altistumisen on oletettu tapahtuneen raportoitujen havaintojen (esimerkiksi toksiineja tuottavan sienilajin tai homeen esiintyminen sisäympäristössä) perusteella /25, 26/.

Mykotoksiinien biomonitorointitutkimuksissa erityisesti trikotekeenejä, aflatoksiineja ja okratoksiineja on määritetty toksiinia tuottaville homeille altistuneiden ihmisten kudoksesta ja biologisista nesteistä /27/. Korkean riskin altistusympäristöissä, kuten jätteenkäsittelyssä, siipikarjatiloilla ja teurastamoissa työskentelevien seerumin aflatoksiinitaso on liitetty toistuvasti ammattiperäiseen altistumiseen /28-32/. Vastaavasti trikotekeenien ja stachylysiinin seerumipitoisuudet on yhdistetty sisäilman homealtistukseen /33, 34/. Biomonitoroinnissa voidaan myös hyödyntää mykotoksiinien metaboliatuotteita tai proteiiniadduktia; esimerkiksi satratoksiinialtistusta on arvioitu

mittaamalla toksiinin muodostamaa adduktia seerumin albumiinin kanssa /35/. Biomarkkereita ja niiden mittausmenetelmiä on kuitenkin käytössä lähes yksinomaan maataloudessa tärkeille mykotoksiineille /36/.

RISKINARVIOINTI

Mikrobitoksiinien hengitystiealtistuksen riskinarviointi on erityisen vaativaa, koska vaikutusten arviointia varten tulisi määrittää altistumisen laatu ja määrä sekä altistusreitti ja imeytyminen elimistöön. Lisäksi herkkyys mikrobitoksiineille vaihtelee yksilöiden ja populaatioiden välillä /37/. Sisäympäristössä toksiineille altistutaan aina yhdessä mm. mikrobien, niiden itiöiden, komponenttien, muiden metaboliatuotteiden, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hiukkasten kanssa /38/. Kokeellisissa olosuhteissa yhteisaltistuksen on todettu lisäävän synergistisesti eri komponenttien vaikutusta /39-42/. Riskinarviointia varten olisi siis oleellista tietää eri altisteiden määrä ja mahdolliset yhteisvaikutukset mahdollisimman kattavasti. Raja-arvoja maataloudessa yleisimmille mykotoksiineille on määritetty mm. WHO:n toimesta, mutta ohjeistus koskee lähinnä ruuan kautta tapahtuvaa altistumista. Hengitysteitse altistumiselle on otettu käyttöön ohjeellinen turvaraja (threshold of toxicological concern, TTC), jonka mukaan ilmapitoisuuden 30 ng/m^3 ei oleteta uhkaavan terveyttä elinaikaisenkaan altistumisen seurauksena /43, 44/. Joissakin työympäristöissä tämä raja saattaa ylittyä, mutta pääosin sisäympäristöistä määritetyt toksiinipitoisuudet ovat selvästi tämän rajan alapuolella /45-48/. Mykotoksiinien esiintymistä esimerkiksi työpaikoilla käsiteltävissä materiaaleissa tai tuotteissa tulisi kuitenkin pitää mahdollisena terveysriskinä, vaikka altistumisen ja terveyshaitan välistä yhteyttä ei ole vielä todennettu /49/.

YHTEENVETO

Mikrobien aineenvaihduntatuotteita esiintyy erityisesti työympäristöissä, joissa käsitellään orgaanisia aineksia tai kosteusolosuhteet suosivat mikrobien kasvua. Mikrobien aineenvaihduntatuotteiden joukossa on useita yhdisteitä, joiden on todettu olevan myrkyllisiä nisäkkäille, mutta niiden pitoisuudet sisäilmassa ovat tyypillisesti alhaisia. Samoja yhdisteitä esiintyy myös ulkoilmassa ja mikrobiologisesti normaaleissa sisäympäristöissä, joten tällä hetkellä terveysriski voidaan osoittaa vain jos sisäilman tai altistuneiden ihmisten kudoksista määritetty toksiinipitoisuus ylittää toksikologiset viitearvot. Jatkossa olisi tärkeää tutkia eri altisteiden yhteisvaikutuksia sekä matalien annosten aiheuttamia haittoja pitkäkestoisissa altistuksissa. Epidemiologiset tutkimukset ovat tarpeen syy-seuraussuhteiden selvittämiseksi, mutta niissä tulisi mitata laajempi valikoima eri yhdisteitä. Puutetta on erityisesti kliinisistä tutkimuksista, joissa mitataan sekä altisteita että altistuneiden ihmisten terveyshaittoja. Kokeellisissa tutkimuksissa tulisi soveltaa edistyneitä hengitystiemalleja toksiinien vaikutusmekanismien selvittämiseksi.

LÄHDELUETTELO

1. Forgacs, J. (1962) Mycotoxicoses- the neglected disease. Feedstuffs 34:124-134.
2. Täubel, M., Hyvärinen, A. (2015) Occurrence of Mycotoxins in Indoor Environments. In: Viegas, Pinheiro, Sabino, Viegas, Brandão, Veríssimo (ed) Environmental Mycology in Public Health. Fungi and Mycotoxins Risk Assessment and Management., 1st Edition edn. Academic Press, pp 291.
3. Täubel, M., Sulyok, M., Vishwanath, V., Bloom, E., Turunen, M., Järvi, K., Kauhanen, E., Krska, R., Hyvärinen, A., Larsson, L., Nevalainen, A. (2011) Co-occurrence of toxic bacterial and fungal secondary metabolites in moisture-damaged indoor environments. Indoor Air 21: 368-375.

4. Brasel, T.L., Martin, J.M., Carriker, C.G., Wilson, S.C., Straus, D.C. (2005) Detection of airborne Stachybotrys chartarum macrocyclic trichothecene mycotoxins in the indoor environment. Appl Environ Microbiol 71: 7376-7388.
5. Prytherch, Z.C., BéruBé, K.A. (2014) A normal and biotransforming model of the human bronchial epithelium for the toxicity testing of aerosols and solubilised substances. Altern Lab Anim 42: 377-381.
6. González-Arias, C.A., Crespo-Sempere, A., Marin, S., Sanchis, V., Ramos, A.J. (2015) Modulation of the xenobiotic transformation system and inflammatory response by ochratoxin A exposure using a co-culture system of Caco-2 and HepG2 cells. Food Chem Toxicol 86: 245-252.
7. Lee, R.J., Workman, A.D., Carey, R.M., Chen, B., Rosen, P.L., Doghramji, L., Adappa, N.D., Palmer, J.N., Kennedy, D.W., Cohen, N.A. (2016) Fungal Aflatoxins Reduce Respiratory Mucosal Ciliary Function. Sci Rep 6: 33221.
8. Cabaret, O., Puel, O., Botterel, F., Pean, M., Khoufache, K., Costa, J.M., Delaforge, M., Bretagne, S. (2010) Metabolic detoxication pathways for sterigmatocystin in primary tracheal epithelial cells. Chem Res Toxicol 23: 1673-1681.
9. Chatopadhyay, P., Tariang, B., Agnihotri, A., Veer, V. (2014) Synergism of ochratoxin B and calcium-channel antagonist verapamil caused mitochondrial dysfunction. Toxicol Mech Methods 24: 428-432.
10. Piecková, E., Kunová, Z. (2002) Indoor fungi and their ciliostatic metabolites. Ann Agric Environ Med 9: 59-63.
11. Bloom, E., Nyman, E., Must, A., Pehrson, C., Larsson, L. (2009) Molds and mycotoxins in indoor environments--a survey in water-damaged buildings. J Occup Environ Hyg 6: 671-678.
12. Cai, G.H., Malarstig, B., Kumlin, A., Johansson, I., Janson, C., Norbäck, D. (2011) Fungal DNA and pet allergen levels in Swedish day care centers and associations with building characteristics. J Environ Monit 13: 2018-2024.
13. Kirjavainen, P.V., Täubel, M., Karvonen, A.M., Sulyok, M., Tiittanen, P., Krska, R., Hyvärinen, A., Pekkanen, J. (2015) Microbial Secondary Metabolites in Homes in Association with Moisture Damage and Asthma. Indoor Air 3: 448-456.
14. Peitzsch, M., Sulyok, M., Täubel, M., Vishwanath, V., Krop, E., Borras-Santos, A., Hyvärinen, A., Nevalainen, A., Krska, R., Larsson, L. (2012) Microbial secondary metabolites in school buildings inspected for moisture damage in Finland, The Netherlands and Spain. J Environ Monit 14: 2044-2053.
15. Polizzi, V., Delmulle, B., Adams, A., Moretti, A., Susca, A., Picco, A.M., Rosseel, Y., Kindt, R., Van Bocxlaer, J., De Kimpe, N., Van Peteghem, C., De Saeger, S. (2009) JEM Spotlight: Fungi, mycotoxins and microbial volatile organic compounds in mouldy interiors from water-damaged buildings. J Environ Monit 11: 1849-1858.
16. Tuomi, T., Reijula, K., Johnsson, T., Hemminki, K., Hintikka, E.L., Lindroos, O., Kalso, S., Koukila-Kahkola, P., Mussalo-Rauhamaa, H., Haahtela, T. (2000) Mycotoxins in crude building materials from water-damaged buildings. Appl Environ Microbiol 66: 1899-1904.
17. Hope, J.H., Hope, B.E. (2012) A review of the diagnosis and treatment of Ochratoxin A inhalational exposure associated with human illness and kidney disease including focal segmental glomerulosclerosis. J Environ Public Health 2012: 835059.

18. Pestka, J.J., Yike, I., Dearborn, D.G., Ward, M.D., Harkema, J.R. (2008) Stachybotrys chartarum, trichothecene mycotoxins, and damp building-related illness: new insights into a public health enigma. Toxicol Sci 104: 4-26.
19. Straus, D.C. (2009) Molds, mycotoxins, and sick building syndrome. Toxicol Ind Health 25: 617-635.
20. Rand, T.G., Giles, S., Flemming, J., Miller, J.D., Puniani, E. (2005) Inflammatory and cytotoxic responses in mouse lungs exposed to purified toxins from building isolated Penicillium brevicompactum Dierckx and P. chrysogenum. Thom. Toxicol Sci 87: 213-222.
21. Miller, J.D., Sun, M., Gilyan, A., Roy, J., Rand, T.G. (2010) Inflammation-associated gene transcription and expression in mouse lungs induced by low molecular weight compounds from fungi from the built environment. Chem Biol Interact 183: 113-124.
22. Seifert, S.A., Von Essen, S., Jacobitz, K., Crouch, R., Lintner, C.P. (2003) Organic dust toxic syndrome: a review. J Toxicol Clin Toxicol 41: 185-193.
23. Viegas, S., Faisca, V.M., Dias, H., Clérigo, A., Carolino, E., Viegas, C. (2013) Occupational exposure to poultry dust and effects on the respiratory system in workers. J Toxicol Environ Health A 76: 230-239.
24. Mayer, S., Engelhart, S., Kolk, A., Blome, H. (2008) The significance of mycotoxins in the framework of assessing workplace related risks. Mycotoxin Res 24: 151-164.
25. Hodgson, M.J., Morey, P., Leung, W.Y., Morrow, L., Miller, D., Jarvis, B.B., Robbins, H., Halsey, J.F., Storey, E. (1998) Building-associated pulmonary disease from exposure to Stachybotrys chartarum and Aspergillus versicolor. J Occup Environ Med 40: 241-249.
26. Kilburn, K.H., Thrasher, J.D., Immers, N.B. (2009) Do terbutaline- and mold-associated impairments of the brain and lung relate to autism?.Toxicol Ind Health 25: 703-710.
27. Hooper, D.G., Bolton, V.E., Guilford, F.T., Straus, D.C. (2009) Mycotoxin detection in human samples from patients exposed to environmental molds. Int J Mol Sci 10: 1465-1475.
28. Oluwafemi, F., Odebiyi, T., Kolapo, A. (2012) Occupational aflatoxin exposure among feed mill workers in Nigeria. World Mycotoxin Journal 5: 385-389.
29. Viegas, S., Veiga, L., Figueredo, P., Almeida, A., Carolino, E., Sabino, R., Verissimo, C., Viegas, C. (2013) Occupational exposure to aflatoxin B1 in swine production and possible contamination sources. J Toxicol Environ Health A 76: 944-951.
30. Viegas, S., Veiga, L., Figueredo, P., Almeida, A., Carolino, E., Sabino, R., Verissimo, C., Viegas, C. (2013) Occupational exposure of aflatoxin B1: the case of poultry and swine production. World Mycotoxin Journal 6: 309-315.
31. Viegas, S., Veiga, L., Figueiredo, P., Almeida, A., Carolino, E., Viegas, C. (2015) Assessment of workers' exposure to aflatoxin B1 in a Portuguese waste industry. Ann Occup Hyg 59: 173-181.
32. Viegas, S., Veiga, L., Almeida, A., dos Santos, M., Carolino, E., Viegas, C. (2016) Occupational Exposure to Aflatoxin B1 in a Portuguese Poultry Slaughterhouse. Ann Occup Hyg 60: 176-183.
33. Brasel, T.L., Campbell, A.W., Demers, R.E., Ferguson, B.S., Fink, J., Vojdani, A., Wilson, S.C., Straus, D.C. (2004) Detection of trichothecene mycotoxins in sera from individuals exposed to Stachybotrys chartarum in indoor environments. Arch Environ Health 59: 317-323.

34. Van Emon, J.M., Reed, A.W., Yike, I., Vesper, S.J. (2003) ELISA measurement of stachylysin in serum to quantify human exposures to the indoor mold Stachybotrys chartarum. J Occup Environ Med 45: 582-591.
35. Yike, I., Distler, A.M., Ziady, A.G., Dearborn, D.G. (2006) Mycotoxin adducts on human serum albumin: biomarkers of exposure to Stachybotrys chartarum. Environ Health Perspect 114: 1221-1226.
36. Lee, H.J., Ryu, D. (2015) Advances in Mycotoxin Research: Public Health Perspectives. J Food Sci 80: T2970-83.
37. Fromme, H., Gareis, M., Völkel, W., Gottschalk, C. (2016) Overall internal exposure to mycotoxins and their occurrence in occupational and residential settings - An overview. Int J Hyg Environ Health 219: 143-165.
38. Nevalainen, A., Täubel, M., Hyvärinen, A. (2015) Indoor fungi: companions and contaminants. Indoor Air 25:125-156.
39. Huttunen, K., Pelkonen, J., Nielsen, K.F., **NUUTINEN, U., JUSSILA, J.**, Hirvonen, M.R. (2004) Synergistic interaction in simultaneous exposure to Streptomyces californicus and Stachybotrys chartarum. Environ Health Perspect 112: 659-665.
40. Islam, Z., Amuzie, C.J., Harkema, J.R., Pestka, J.J. (2007) Neurotoxicity and inflammation in the nasal airways of mice exposed to the macrocyclic trichothecene mycotoxin roridin a: kinetics and potentiation by bacterial lipopolysaccharide coexposure. Toxicol Sci 98: 526-541.
41. Korkalainen, M., Täubel, M., Naarala, J., Kirjavainen, P., Koistinen, A., Hyvärinen, A., Komulainen, H., Viluksela, M. (2017) Synergistic proinflammatory interactions of microbial toxins and structural components characteristic to moisture-damaged buildings. Indoor Air 1: 13-23.
42. Capasso, L., Longhin, E., Caloni, F., Camatini, M., Gualtieri, M. (2015) Synergistic inflammatory effect of PM10 with mycotoxin deoxynivalenol on human lung epithelial cells. Toxicon 104: 65-72.
43. Drew, R., Frangos, J. (2007) The concentration of no toxicological concern (CoNTC): a risk assessment screening tool for air toxics. J Toxicol Environ Health A 70: 1584-1593.
44. Munro, I.C., Renwick, A.G., Danielewska-Nikiel, B. (2008) The Threshold of Toxicological Concern (TTC) in risk assessment. Toxicol Lett 180: 151-156.
45. Hardin, B.D., Kelman, B.J., Saxon, A. (2003) Adverse human health effects associated with molds in the indoor environment. J Occup Environ Med 45: 470-478.
46. Hardin, B.D., Robbins, C.A., Fallah, P., Kelman, B.J. (2009) The concentration of no toxicologic concern (CoNTC) and airborne mycotoxins. J Toxicol Environ Health A 72: 585-598.
47. Robbins, C.A., Swenson, L.J., Nealley, M.L., Gots, R.E., Kelman, B.J. (2000) Health effects of mycotoxins in indoor air: a critical review. Appl Occup Environ Hyg 15: 773-784.
48. Korpi, A., Järnberg, J., Pasanen, A.L. (2009) Microbial volatile organic compounds. Crit Rev Toxicol 39: 139-193.
49. Degen, G. (2011) Tools for investigating workplace-related risks from mycotoxin exposure. World Mycotoxin Journal 4: 315-327.

Sisäilmayhdistys ry

Puheenjohtaja prof. Risto Kosonen
Toiminnanjohtaja dipl.ins. Jorma Säteri

Sisäilmastoseminaarin ohjausryhmä 2017:
Heidi Salonen, puheenjohtaja
Anne Hyvärinen
Helena Järnström
Paavo Kero
Risto Kosonen
Marjaana Lahtinen
Sami Niemi
Pertti Pasanen
Juha Pekkanen
Anna-Mari Pessi
Jorma Säteri
Marianna Tuomainen
Mika Vuolle

Sisäilmayhdistys raportti 35

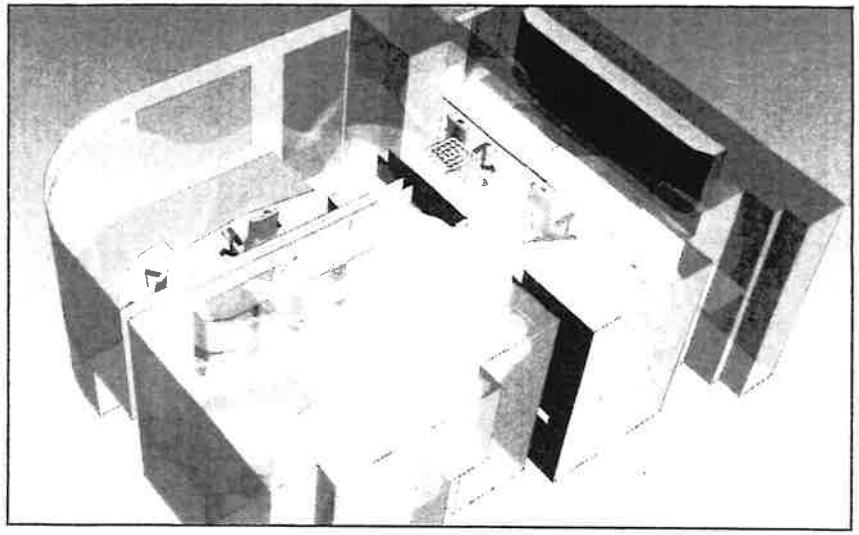
SISÄILMASTOSEMINAARI 2017
Jorma Säteri ja Mervi Ahola (Toim.)

Kannen kuva Pekka Saarinen

SIY Sisäilmatieto Oy
ISSN 1237-1866
ISBN 978-952-5236-45-3
Painopaikka Bookwell Oy, Juva 2017

SISÄILMASTOSEMINAARI 2017

Messukeskus, Helsinki
15.3.2017



Sisäilmayhdistys ry
Aalto-yliopisto, Energiatekniikan laitos

SIY Raportti 35