OTSONOINTI SISÄYMPÄRISTÖISSÄ – TIIVISTELMÄ KIRJALLISUUSKATSAUKSESTA

Hanna Leppänen, Matti Peltonen, Martin Täubel, Hannu Komulainen ja Anne Hyvärinen

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

TIIVISTELMÄ

Otsoni ja sen radikaalit hapettavat muun muassa ilmassa ja pinnoilla olevia mikrobiologisia, kemiallisia ja hiukkasmaisia epäpuhtauksia muuttaen niiden rakenteita ja ominaisuuksia. Otsonointi poistaa hajuja ja sen teho hajujen poistossa perustuukin kemiallisten epäpuhtauksien hajottamiseen. Reaktioissa voi kuitenkin syntyä uusia sekundääriepäpuhtauksia, jotka voivat reagoida uudestaan tuottaen lisää haitallisia sivutuotteita. Suuretkaan otsonipitoisuudet (100–1000 ppm) eivät pysty tuhoamaan kaikkia sieni- tai bakteeriorganismeja rakennusmateriaalien pinnalta tai sisältä. Tutkimusten mukaan otsoni vaikuttaa haitallisesti useisiin materiaaleihin. Otsoni on myös terveydelle haitallista, aiheuttaen akuutteja oireita sekä pitkäaikaisessa altistuksessa myös kroonisia oireita. Otsonointia ei tule käyttää mikrobikasvun poistamiseen. Mikäli otsonointia käytetään hajunpoistoon, otsonoitavan tilan on oltava tyhjä ja otsonin leviäminen tilasta muihin tiloihin tulee estää. Lisäksi on noudatettava riittävää varoaikaa (vähintään 24 h, mielellään 48 h) ennen tiloihin menemistä. Otsonoinnin jälkeen tilassa tulee tehostaa ilmanvaihtoa ja puhdistaa pinnat huolellisesti pyyhkimällä.

TAVOITTEET

Otsonointia markkinoidaan tehokkaana tapana poistaa asunnosta sisäilman epäpuhtauksia, mikrobeja ja hajuja. Tutkittua tietoa otsonoinnin vaikutuksista ja tehokkuudesta on kuitenkin vain vähän. Kirjallisuuskatsauksen tavoitteena oli selvittää, millainen on sisäympäristöissä käytettävien otsonointikäsittelyjen vaikutus ja teho mikrobikasvuun ja hajuihin, sekä mitkä ovat otsonin terveyshaitat ja otsonointiin liittyvät riskit. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, miten otsonointi vaikuttaa materiaaleihin.

OTSONOINNIN TEHO BAKTEEREIHIN JA SIENIIN

Otsoni vaikuttaa bakteereihin ja sieniin vaurioittaen niiden pintarakenteiden morfologiaa ja näin ollen tuhoten niitä /1,2/. Reaktio bakteerien ja sienien kanssa perustuu otsonin kykyyn hapettaa kuorikerroksen fosfolipidejä ja lipoproteiinejä.

Tutkimusten mukaan ihmiselle turvallisella otsonipitoisuudella (<0,05 ppm = < 106 μg/m^3) ei ole sieni- ja bakteeriorganismeja tuhoavaa vaikutusta. Se voi kuitenkin hidastaa joidenkin mikrobien kasvua /3-6/. Otsonipitoisuuden tulisi olla vähintään 5–10 kertaa ihmisille haitalliseksi todettua pitoisuutta suurempi, jotta sillä olisi selkeästi sienien ja bakteerien kasvua hidastavia ja tuhoavia vaikutuksia /4,6,7/. Laboratorio-olosuhteissa lasipintaisella kasvatusalustalla tehdyissä tutkimuksissa on pystytty osoittamaan otsonilla olevan sieni- ja bakteeriorganismien kasvua hidastava ja organismeja tuhoava vaikutus otsonipitoisuuden ollessa yli 10 ppm (= 21 100 μg/m^3). Rakennusmateriaalien pinnoilla kasvavilla sieni- ja bakteeriorganismeilla ei vastaavissa pitoisuuksissa ole havaittu kasvua tuhoavaa vaikutusta /4/. Tutkimukset osoittavat, että suuretkaan otsonipitoisuudet (100–1000 ppm) eivät pysty tuhoamaan kaikkia sieni- tai bakteeriorganismeja

rakennusmateriaalien pinnalta tai sisältä /10,11/. On myös huomattava, että tällaisten pitoisuuksien tavoittaminen kenttäolosuhteissa on lähes mahdotonta.

OTSONOINNIN TEHO HAJUIHIN SEKÄ VAIKUTUS KEMIALLISIIN EPÄPUHTAUKSIIN, HIUKKASIIN, RAKENNUS- JA SISUSTUSMATERIAALEIHIN

Otsonin tiedetään reagoivan rakennus- ja sisustusmateriaalien sekä niiden pinnoilla olevien kemiallisten epäpuhtauksien kanssa. Lisäksi otsoni reagoi sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien kanssa. Reaktiot otsonoinnissa perustuvat hapetusreaktioon, jossa otsonin muodostamat happiradikaalit reagoivat kemiallisten epäpuhtauksien kanssa, muodostaen sekundääriepäpuhtauksia ja radikaaleja /12-14/. Syntyneet sekundääriyhdisteet voivat reagoida kaasufaasissa uudestaan tuottaen lisää ärsyttäviä ja syövyttäviä sivutuotteita /15/. Sekundääriyhdisteet voivat myös adsorboitua rakennus- ja sisustusmateriaaleihin /16/.

Otsoni reagoi herkimmin hiili–hiili-sidoksista muodostuvien epäpuhtauksien kanssa /12,15,17,18/. Otsonointi ei kuitenkaan pysty hajottamaan kaikkia sisäilman kemiallisia epäpuhtauksia. Noguchi ym. /19/ totesivat tutkimuksessaan, että 1 ppm (= 2110 $\mu g/m^3$) otsonipitoisuudella saatiin tuhottua alifaattisia VOC -yhdisteitä, mutta aromaattiset yhdisteet eivät tässä pitoisuudessa hajonneet juuri lainkaan.

Otsonoinnin teho hajujen poistossa perustuu kemiallisten epäpuhtauksien hajottamiseen. Esimerkiksi tulipalokohteissa otsoni hapettaa aromaattisia hiilivety-yhdisteitä. Reaktiossa aromaattiset hiilivety-yhdisteet hajoavat ja hajoamistuotteina syntyy aldehydejä sekä ultrapieniä hiukkasia /20/. Morrison /21/ totesi tutkimuksessaan otsonin irrottaneen kokolattiamatoista useita hapettuneita yhdisteitä, kuten aldehydejä ja 2-nonanaalia. Ihmisen hajukynnys näille yhdisteille on hyvin matala (<10 ppt), lisäksi näiden yhdisteiden hajoaminen on hidasta. Poppendieck ym. /13/ mittasivat otsonoinnissa sivutuotteina syntyviä yhdisteitä ja totesivat niiden pysyvän sisäilmassa kuukausia, jopa pidempiä aikoja, pitoisuuksina, jotka ihminen voi haistaa. Tämä aika oli riippuvainen otsonoidusta materiaalista sekä sen pinta-alasta. Tutkituista materiaaleista MDF -levystä vapautuvat yhdisteet pysyivät ilmassa pisimpään. Tämä tutkimustieto on tärkeää arvioitaessa sitä, kuinka nopeasti asukkaat voivat turvallisesti palata tiloihin, joissa on käytetty otsonointia.

Materiaaleja, joihin otsoni voi vaikuttaa haitallisesti, ovat muun muassa betoni, kipsilevy, luonnonkumi, neopreeni, lateksimaali, linoleumi ja puulattiat, kokolattiamatot, vahat ja kiillotusaineet /22-25/. Materiaalien reagoidessa otsoniin syntyy uusia terveydelle haitallisia reaktiotuotteita (kuten VOC-yhdisteitä, aldehydejä ja ketoneita), jotka voivat adsorboitua muun muassa muihin sisustus- ja rakennusmateriaaleihin tai reagoida uudestaan /17,26/. Lisäksi otsonointi voi johtaa materiaalien vanhenemiseen sekä värien haalistumisen /27/.

Otsonoinnilla ei ole todettu olevan merkittävää vaikutusta sisäilmassa olevien hiukkasten poistoon /27/.

OTSONOINNIN VAIKUTUS TERVEYTEEN JA OTSONOINTIKÄSITTELYSTÄ AIHEUTUVAT RISKIT

Otsonin aiheuttamat terveysvaikutukset voidaan jakaa karkeasti akuutteihin (välittömiin) sekä kroonisiin vaikutuksiin. Akuutit vaikutukset liittyvät suuriin otsonipitoisuuksiin, krooniset vaikutukset toistuvaan/jatkuvaan altistumiseen koholla oleviin otsonipitoisuuksiin. Lyhytaikaisen otsonialtistuksen on havaittu heikentävän keuhkojen toimintaa ja aiheuttavan keuhkojen tulehdusta. Otsonin on havaittu vaikuttavan lyhytaikaisen altistuksen seurauksena haitallisesti myös sydän- ja verisuonitauteihin, mutta

tutkimustietoa tästä on rajoitetusti /28/. EPA:n (Environmental Protection Agency) raportin mukaan otsonin aiheuttamia akuutteja terveyshaittoja ovat rintakipu, yskä, hengitysvaikeudet ja kurkun ärsytys. Otsoni voi myös pahentaa astman oireita ja heikentää vastustuskykyä /29,30/.

Toistuvaan otsonialtistumiseen liittyviä kroonisia vaikutuksia ovat astman synty, ateroskleroosi sekä eliniän ennusteen lyheneminen /28/. Nämä vaikutukset koskevat ensisijaisesti otsonointia tekeviä työntekijöitä, jotka voivat altistua otsonille toistuvasti. Pitkäaikainen altistuminen otsonille suurina pitoisuuksina lisää myös iäkkäiden ihmisten hengitystieperäisiin sairauksiin liittyvää kuolleisuutta.

Otsonista aiheutuva terveydellinen haitta riippuu sen pitoisuudesta, altistuksen kestosta, fyysisen rasituksen voimakkuudesta altistuksen aikana ja altistuvan henkilön terveydentilasta sekä geneettisistä tekijöistä /31,32/. Haitallisena pidetään lyhytaikaisia suuria pitoisuuksia, kuten myös pitkään jatkuvaa altistusta normaalia korkeammille otsonipitoisuuksille.

Sosiaali- ja terveysministeriö on arvioinut otsonin voivan aiheuttaa haittaa työntekijöiden terveydelle 0,05 ppm pitoisuutta suuremmilla keskimääräisillä pitoisuuksilla (8 tunnin HTP-arvo 0,05ppm = 106 $\mu g/m^3$). Koska oireita saattaa ilmaantua myös hetkellisessä altistuksessa, on otsonille lisäksi asetettu 15 minuutin altistumisen HTP-arvoksi 0,2 ppm (423 $\mu g/m^3$) /33/. Kansainvälisen terveysjärjestö WHO:n antama vastaava ohjearvo otsonialtistukselle on 100 $\mu g/m^3$ /28/. Otsonointilaitteita käytettäessä akuutit terveysvaikutukset ovat todennäköisiä. Altistuminen otsonille on lyhytaikaista, mutta pitoisuudet ovat suuria. Jos työntekijät ja asukkaat ovat poissa riittävän pitkän varoajan, otsonin aiheuttamia kroonisia terveyshaittoja ei pääse syntymään. Otsonointikäsittelyn jälkeen tarvitaan aina riittävä varoaika (vähintään 24 h, mielellään 48 h), ilmanvaihdon tehostaminen ja tilojen puhdistus ennen tilojen käyttöönottoa.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Kirjallisuuden perusteella voidaan todeta:

- Suuretkaan, ihmiselle haitalliset pitoisuudet eivät tuhoa sieni- ja bakteerikasvua rakennusmateriaalien pinnalta ja sisältä.
- Otsonointia ei suositella bakteeri- ja sienikasvustojen "poistamiseen/tuhoamiseen"
- Otsonointi poistaa rakennuksista hajuja perustuen kemiallisten yhdisteiden hajottamiseen.
- Otsoni on itsessään haitallista, erityisesti lyhytaikaiset suuret pitoisuudet.
- Otsonoinnin sivutuotteina voi syntyä sisäilmaan terveydelle haitallisia pienhiukkasia tai yhdisteitä, jotka voivat myös adsorboitua pintoihin ja rakenteisiin.
- Otsonointi voi vaikuttaa haitallisesti pintoihin ja materiaaleihin (betoni, kipsilevy, luonnonkumi, neopreeni, lateksimaali, linoleumi ja puulattiat, kokolattiamatot) ja myös vanhentaa ja haalistaa materiaaleja.
- Ottaen huomioon otsonin haitallisuuden ja otsonoinnin johdosta mahdollisesti syntyvät haitalliset sivutuotteet ja niiden vaikutuksen materiaaleihin, otsonointi tulee tehdä niin, että otsonoitava tila on tyhjä ja otsonin leviäminen muihin tiloihin esimerkiksi ilmanvaihdon kautta on estetty. Lisäksi on noudatettava riittävää varoaikaa (vähintään 24 h, mielellään 48 h) ennen tiloihin menemistä/tilojen käyttöä. Otsonoinnin jälkeen tulee tilassa tehostaa ilmanvaihtoa ilmassa olevien

epäpuhtauksien poistamiseksi ja puhdistaa pyyhkimällä pinnat pinnoille mahdollisesti päätyneiden epäpuhtauksien poistamiseksi.

LÄHDELUETTELO

1. Komanapalli, I.R. & Lau, B.H.S. (1998) Inactivation of bacteriophage k, Escherichia coli, and Candida albicans by ozone, Applied Microbiology and Biotechnology, vol. 49, no. 6, pp. 766-769.
2. Thanomsub, B., Anupunpisit, V., Chanphetch, S., Watcharachaipong, T., Poonkhum, R. & Srisukonth, C. (2002) Effects of ozone treatment on cell growth and ultrastructural changes in bacteria, The Journal of general and applied microbiology, vol. 48, no. 4, pp. 193-199.
3. Dyas, A., Boughton, B.J. & Das, B.C. (1983) Ozone killing action against bacterial and fungal species; microbiological testing of a domestic ozone generator, Journal of clinical pathology, vol. 36, no. 10, pp. 1102-1104.
4. Foarde, K.K., Vanosdell, D.W. & Steiber, R.S. (1997) Investigation of Gas-Phase Ozone as a Potential Biocide, Applied Occupational and Environmental Hygiene, vol. 12, no. 8, pp. 535-542.
5. Bertol, C.D., Vieira, K.P., Rossato, L.G. & D'Avila, J.V. (2012) Microbiological Environmental Monitoring After the Use of Air Purifier Ozone Generator, Ozone: Science & Engineering, vol. 34, no. 3, pp. 225-230.
6. Peitzsch, M., Bloom, E., Haase, R., Must, A. & Larsson, L. (2012) Remediation of mould damaged building materials-efficiency of a broad spectrum of treatments, Journal of Environmental Monitoring, vol. 14, no. 3, pp. 908-915.
7. Khurana, A. (2003) Ozone treatment for prevention of microbial growth in air conditioning systems, University of Florida.
8. Korzun, W., Hall, J. & Sauer, R. (2008) The effect of ozone on common environmental fungi, Clinical laboratory science : journal of the American Society for Medical Technology, vol. 21, no. 2, pp. 107-111.
9. Sharma, M. & Hudson, J.B. (2008) Ozone gas is an effective and practical antibacterial agent, American Journal of Infection Control, vol. 36, no. 8, pp. 559-563.
10. Kowalski, W., Bahnfleth, W. & Whittam, T. (1998) Bactericidal effects of high airborne ozone concentrations on Escherichia coli and Staphylococcus aureus, Ozone-Science & Engineering, vol. 20, no. 3, pp. 205-221.
11. Menetrez, M.Y., Foarde, K.K., Schwartz, T.D., Dean, T.R. & Betancourt, D.A. (2009) An Evaluation of the Antimicrobial Effects of Gas-Phase Ozone, Ozone: Science & Engineering, vol. 31, no. 4, pp. 316-325.
12. Destaillats, H., Lunden, M.M., Singer, B.C., Coleman, B.K., Hodgson, A.T., Weschler, C.J. & Nazaroff, W.W. (2006) Indoor Secondary Pollutants from Household Product Emissions in the Presence of Ozone: A Bench-Scale Chamber Study, Environmental science & technology, vol. 40, no. 14, pp. 4421-4428.
13. Poppendieck, D.G., Hubbard, H.F., Weschler, C.J. & Corsi, R.L. (2007) Formation and emissions of carbonyls during and following gas-phase ozonation of indoor materials, Atmospheric Environment, vol. 41, no. 35, pp. 7614-7626.

14. Zeng, G., Holladay, S., Langlois, D., Zhang, Y. & Liu, Y. (2013) Kinetics of heterogeneous reaction of ozone with linoleic acid and its dependence on temperature, physical state, RH, and ozone concentration, The Journal of Physical Chemistry A, vol. 117, no. 9, pp. 1963-1974.

15. Weschler, C.J. & Shields, H.C. (1997) Potential reactions among indoor pollutants, Atmospheric Environment, vol. 31, no. 21, pp. 3487-3495.

16. Petrick, L.M., Sleiman, M., Dubowski, Y., Gundel, L.A. & Destaillats, H. (2011) Tobacco smoke aging in the presence of ozone: A room-sized chamber study, Atmospheric Environment, vol. 45, no. 28, pp. 4959-4965.

17. Aoki, T. & Tanabe, S. (2007) Generation of sub-micron particles and secondary pollutants from building materials by ozone reaction, Atmospheric Environment, vol. 41, no. 15, pp. 3139-3150.

18. Waring, M.S. & Siegel, J.A. (2013) Indoor secondary organic aerosol formation initiated from reactions between ozone and surface-sorbed d-limonene, Environmental science & technology, vol. 47, no. 12, pp. 6341-6348.

19. Noguchi, M., Mizukoshi, A. & Yanagisawa, Y. (2009) Decreasing method of VOCs emission from building materials using ozonolysis, 9th International Healthy Buildings Conference and Exhibition, HB 2009, 13 September 2009 through 17 September 2009.

20. Dunston, N. & Spivak, S. (1996) A Preliminary Investigation of the Effects of Ozone on Post-Fire Volatile Organic Compounds, Journal of Applied Fire Science, vol. 6, no. 3, pp. 231-242.

21. Morrison, G.C. (1999) Ozone-surface interactions: investigations of mechanisms, kinetics, mass transport, and implications for indoor air quality.

22. Weschler, C.J., Hodgson, A.T. & Wooley, J.D. (1992) Indoor chemistry: ozone, volatile organic compounds, and carpets, Environmental science & technology, vol. 26, no. 12, pp. 2371-2377.

23. Reiss, R., Ryan, P.B., Koutrakis, P. & Tibbetts, S.J. (1995) Ozone reactive chemistry on interior latex paint, Environmental science & technology, vol. 29, no. 8, pp. 1906-1912

24. Klenø, J.G., Clausen, P.A., Weschler, C.J. & Wolkoff, P. (2001) Determination of ozone removal rates by selected building products using the FLEC emission cell, Environmental science & technology, vol. 35, no. 12, pp. 2548-2553.

25. Morrison G.C. (2002) Ozone Interactions with Carpet: Secondary Emissions of Aldehydes, Environ. Sci. Technol., 2002, 36 (10), pp 2185–2192 edn, American Chemical Society, Environmental Engineering Program, Department of Civil and Environmental Engineering, 633 Davis Hall, University of California, Berkeley, California 94720-1710.

26. Wolkoff, P., Clausen, P.A., Wilkins, C.K. & Nielsen, G.D. (2000) Formation of Strong Airway Irritants in Terpene/Ozone Mixtures, Indoor air, vol. 10, no. 2, pp. 82-91.

27. Weschler, C.J. (2000) Ozone in Indoor Environments: Concentration and Chemistry, Indoor air, vol. 10, no. 4, pp. 269-288.

28. World Health Organization (WHO). (2005) Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, Air Quality Quidelines, Global Update 2005.

29. Environmental Protection Agency (EPA). (2013) Ozone Generators that are Sold as Air Cleaners: An Assessment of Effectiveness and Health Consequences, Internet julkaisu. http://www.epa.gov/iaq/pubs/ozonegen.html.

30. Sheffield, P.E., Zhou, J., Shmool, J.L. & Clougherty, J.E. (2015) Ambient ozone exposure and children's acute asthma in New York City: a case-crossover analysis, Environmental Health, vol. 18, no. 14.

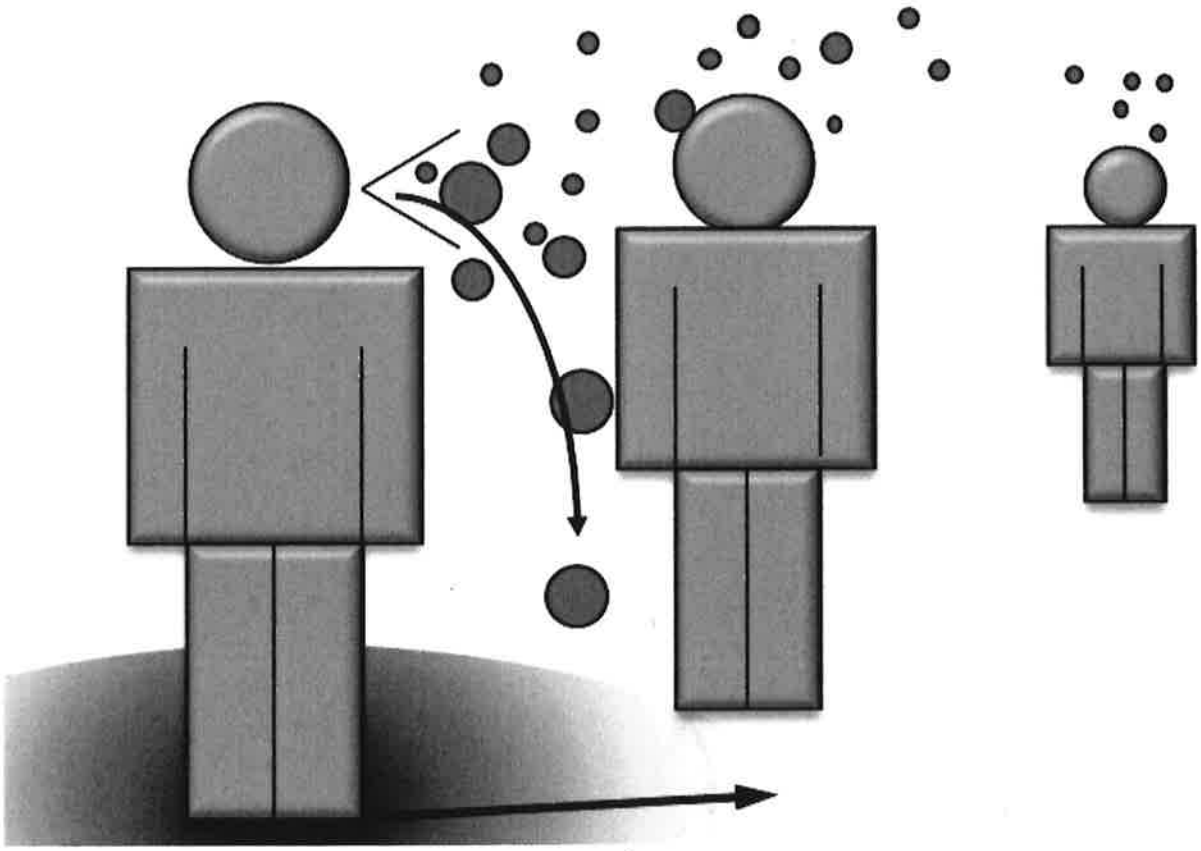
31. McClellan, R.O., Frampton, M.W., Koutrakis, P., McDonnell, W.F., Moolgavkar, S., North, D.W., Smith, A.E., Smith, R.L. & Utell, M.J. (2009) Critical considerations in evaluating scientific evidence of health effects of ambient ozone: a conference report, Inhalation toxicology, vol. 21, pp. 1-36.

32. Environmental Protection Agency (EPA). (2015) Health Effects of Ozone in the General Population, Internet julkaisu. http://www3.epa.gov/apti/ozonehealth/population.html

33. Sosiaali- ja terveysministeriö. 2014, HTP-arvot. (2014) Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Helsinki, Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 2014:2.

SISÄILMASTOSEMINAARI 2016

Messukeskus, Helsinki
16.3.2016



Sisäilmayhdistys ry
Aalto-yliopisto, Energiatekniikan laitos

SIY Raportti 34

Sisäilmayhdistys ry

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

Sisäilmastoseminaarin ohjausryhmä 2016:
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 34

SISÄILMASTOSEMINAARI 2016
Jorma Säteri ja Mervi Ahola (Toim.)

SIY Sisäilmatieto Oy
ISSN 1237-1866
ISBN 978-952-5236-44-6
Painopaikka Bookwell Oy, Juva 2016