



ONLINE-ANTURITEKNOLOGIAN KEHITTÄMINEN SISÄILMASTON TERVEYDEN VARMISTAMISEEN

Tuija Ranta-Korhonen (toim.)



Kaakkois-Suomen
ammattikorkeakoulu

Tuija Ranta-Korhonen (toim.)

ONLINE-ANTURITEKNOLOGIAN KEHITTÄMINEN SISÄILMASTON TERVEYDEN VARMISTAMISEEN



Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus

Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

XAMK KEHITTÄÄ 77

KAAKKOIS-SUOMEN AMMATTIKORKEAKOULU
MIKKELI 2019

© Tekijät ja Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu

Kannen kuva: Manu Eloaho

Taitto ja paino: Grano Oy

ISBN 978-952-344-170-5 (nid.)

ISBN 978-952-344-171-2 (PDF)

ISSN 2489-2467

ISSN 2489-3102

julkaisut@xamk.fi

LUKIJALLE

Online-anturiteknologian kehittäminen sisäilmaston terveyden varmistamiseen – VOC-Online -hanketta on toteutettu 1.1.2017–31.5.2019 Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalalla. Hanketta ovat rahoittaneet Etelä-Savon ELY-keskus Euroopan unionin aluekehitysrahastosta (EAKR 2014–2020), Järvi-Saimaan Palvelut Oy, Etelä-Savon pelastuslaitos sekä Marjatta ja Eino Kollin säätiö. Hankkeen hankenumero on A72512.

Hankkeen projektipäällikkönä on työskennellyt FM, ins. (AMK) Tuija Ranta-Korhonen ja tutkimusinsinöörinä ins. (AMK) Salla Thil. Lisäksi hankkeessa ovat työskennelleet TKI-asiantuntijoina ins. (AMK) Esa Hannus sekä ins. (AMK) Petri Janhunen. VOC-Online-hankkeen vastuullisena johtajana on toiminut tutkimusjohtaja, FT Lasse Pulkkinen. Hankkeen yhteyshenkilönä on ollut tutkimuspäällikkö, TkT Hanne Soininen. Hankkeen toteutukseen on osallistunut myös hankesihteeri Hanna-Maija Penttinen.

Hanketyön etenemistä on ohjannut ja valvonut ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet toimitusjohtaja Jukka Partanen (1.1.2017–31.8.2018) ja toimitusjohtaja Riku Jalonen (1.9.2018–31.5.2019) Järvi-Saimaan Palvelut Oy:stä, toimitusjohtaja Hannu Salmi Benetech Finland Oy:stä, pelastuspäällikkö Jyri Silmäri Etelä-Savon pelastuslaitokselta, toimitusjohtaja Sauli Paloniitty Happo Solutions Oy:n edustajana sekä tutkimuspäällikkö Hanne Soininen Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulusta. Lisäksi hankkeen ohjausryhmän kokouksiin ovat osallistuneet rahoittajan edustajina rahoitusasiantuntija Esa Pekonen Etelä-Savon ELY-keskuksesta sekä rahoitusasiantuntija Jaana Tuhkalainen Itä-Suomen suuralueen ELY-keskuksesta. Ohjausryhmän kokoontumisten lisäksi hankkeessa on järjestetty erilaisten työryhmien kokouksia.

Tekijät kiittävät hankkeen rahoittajia tutkimus- ja kehittämistyön mahdollistamisesta sekä hankkeen ohjaus- ja työryhmien jäseniä ja muita hankkeeseen osallistuneita aktiivisesta osallistumisesta hanketyöhön.

Mikkelissä 31.5.2019

Tekijät

TEKIJÄT

ESA HANNUS, insinööri (AMK), TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Digitaalinen talous -vahvuusala

PETRI JANHUNEN, insinööri (AMK), It-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Digitaalinen talous -vahvuusala

TONI LEIKAS, upseerin tutkinto, Maavoimat, koulutuspäällikkö, CBRN-asiantuntija

Environics Oy

TUIJA RANTA-KORHONEN, FM, insinööri (AMK), TKI-asiantuntija

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

HANNU SALMI, DI, toimitusjohtaja

Benetech Finland Oy

JYRI SILMÄRI, pelastuspäällikkö

Etelä-Savon pelastuslaitos

HANNE SOININEN, TkT, tutkimuspäällikkö

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

SALLA THIL, insinööri (AMK), tutkimusinsinööri

Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulu, Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusala

SISÄLTÖ

LUKIJALLE.....	3
TEKIJÄT	4
ONLINE-ANTURITEKNOLOGIAN KEHITTÄMINEN SISÄILMASTON TERVEYDEN VARMISTAMISEEN -HANKKEELLA LISÄÄ SISÄILMATIETOA.....	6
Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil & Hanne Soinen	
VOC-YHDISTEET HANKKEEN ERI TUTKIMUSKOHTEISSA.....	9
Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil & Hannu Salmi	
VOC-ONLINE-HANKKEEN KOHTEISSA TEHDYT SISÄILMAN LAADUN MITTAUKSET	17
Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil	
SISÄILMATUTKIMUKSET HOMEKOIRAN AVULLA VOC-ONLINE-HANKKEESSA	23
Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen	
MATERIAALI- JA PÖLYNÄYTTEET VOC-ONLINE-HANKKEESSA.....	26
Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil	
VOC-ONLINE-HANKKEEN TIETOKANTA MITTAUSTULOSTEN DOKUMENTOINTIIN	31
Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil & Petri Janhunen	
PAIKKATIEDON JA DROONIKUVAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN VOC-ONLINE-HANKKEEN KOHTEIDEN DOKUMENTOINNISSA.....	35
Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil & Esa Hannus	
SISÄILMAN VOC-PITOISUUKSIEN MITTAUKSESSA KÄYTETTYJEN LAITTEIDEN VERTAILU.....	42
Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen	
VOC-ONLINE-HANKKEEN LABORATORIOKOKKEET - RAKENNUS- MATERIAALIEN JA MIKROBIEN EMITTOIMAT VOC-YHDISTEET	50
Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen	
VOC-ONLINE-HANKKEESSA JÄRJESTETYT PALOKOKEET	61
Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen & Jyri Silmäri	
PALOTILANTEISSA KÄYTETTÄVÄT SUORAAN OSOITTAVAT MITTALAITTEET	72
Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen & Toni Leikas	

ONLINE-ANTURITEKNOLOGIAN KEHITTÄMINEN SISÄILMASTON TERVEYDEN VARMISTAMISEEN -HANKKEELLA LISÄÄ SISÄILMA-TIETOA

Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil & Hanne Soininen

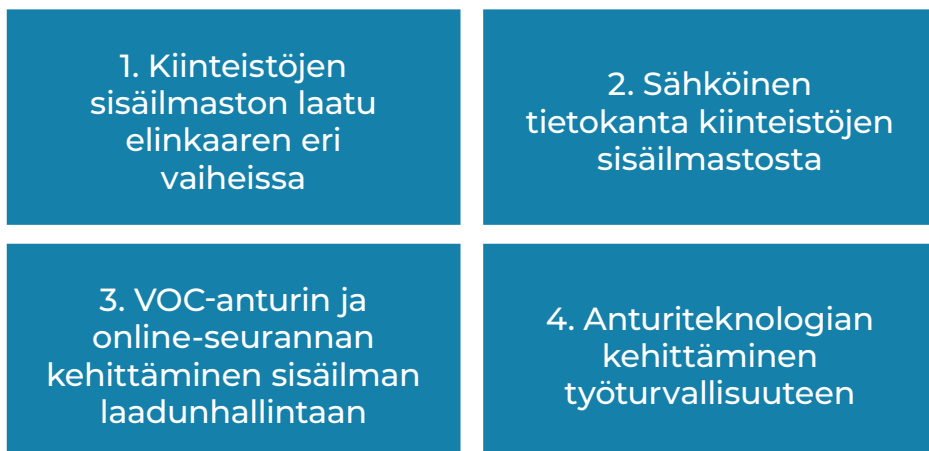
Online-anturitekniikan kehittäminen sisäilmaston terveyden varmistamisen – VOC-Online -hanke toteutettiin Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun Metsä, ympäristö ja energia -vahvuusalalla. Hankkeen toteuttamisessa oma merkittävä osuutensa oli myös Digitaalinen talous -vahvuusalan asiantuntijoilla.

TAVOITTEENA PAREMPI SISÄILMA

Sisäilmaongelmat ovat Suomessa valittavan yleisiä, ja niiden ennaltaehkäisy olisi huomattavan tärkeää sekä kansanterveyden kannalta että taloudellisesta näkökulmasta. Sisäilmaongelmia on monenlaisia, eivätkä kaikki suinkaan johdu kosteusvaurioista tai rakennuksessa tapahtuneista vesivahingoista. Pelkästään riittämätön ilmanvaihto suhteessa rakennuksessa tapahtuvaan toimintaan tai liian matala sisäilman suhteellinen kosteus tai liian korkea/matala lämpötila voivat aiheuttaa epäviihtyisyyttä ja erilaisia terveysongelmia. Tulevaisuudessa uusien rakennusten ilmanvaihto tulee entistä enemmän kehittymään yksilölliseen ja erilaiset käyttötilanteet huomioonottavaan suuntaan. Tällöin sisäilman laatua ja ilmanvaihtoa voidaan ohjata erilaisilla antureilla.

Yksi VOC-Online-hankkeen tavoitteista oli kehittää anturitekniikkaa sisäilman laadun seurantaan. Hankkeessa tutkittiin edellytyksiä ja etsittiin tietoa mittalaitteiden kehitystyötä varten. Merkittävässä osassa hanketta oli tutkimus, jossa monitoroitiin erilaisten kiinteistöjen sisäilmaa mittalaitteiden ja menetelmien avulla ja luotiin tutkimustulosten pohjalta sähköinen tietokanta. Hankkeessa vertailtiin erilaisia mittalaitteita ja kartoitettiin niiden mittaustulosten luotettavuutta ja käytettävyyttä eri mittaustilanteissa ja -kohteissa. Lisäksi hankkeessa tutkittiin pelastustoimen työturvallisuuden kehittämistä palo- ja jälkisammustilanteissa.

Hanke jakautui neljään eri toimenpiteeseen. Kuvassa 1 esitettyjen toimenpiteiden lisäksi merkittävä osa hanketyöskentelyä oli tulosten raportointi ja niistä tiedottaminen.



KUVA 1. VOC-Online-hankkeen toimenpiteet

HANKKEEN TOTEUTUS

Hankkeessa oli tutkimuskohteina 17 kiinteistöä Järvi-Saimaan Palvelut Oy:ltä ja yksityisiltä kiinteistönomistajilta. Tutkimuskohteet olivat hyvin erilaisia sekä rakennusajankohdaltaan, kooltaan, rakennusmateriaaleiltaan sekä käyttötarkoitukseltaan. Suuremmissa rakennuksissa oli useampi mittauspiste, joista otettiin sisäilmanäytteitä. Kohteiden sisäilmasta määritettiin VOC-yhdisteet, mikrobi- ja hiukkaspitoisuus sekä lämpötila ja suhteellinen kosteus. Lisäksi hankkeessa otettiin materiaali- ja pölynäytteitä. Näytteitä otettiin eri vuodenaikoina siten, että jokaisesta hankkeen tutkimuskohteesta otettiin hankkeen aikana vähintään kaksi näytettä. Osana sisäilmatutkimuksia parissa tutkimuskohteessa toteutettiin myös homekoirien avulla tehtävä kartoitus.

Hankkeen tutkimustulokset kerättiin VOC-Online-tietokantaan. Tietokantaan tallennettiin myös kohteiden perustietoja sekä lisättiin pohjakuvia sekä muuta aineistoa mahdollisuuksien mukaan. Hankkeessa tutkittiin myös uudenlaista dokumentointitapaa pienoiskopperi- eli droonikuvauksen sekä 3D-mallinnuksen avulla. Tietokantaa on mahdollista kehittää edelleen ja siihen voidaan liittää erilaisia toimintoja, esimerkiksi online-mittausantureiden mittaustietojen lukumahdollisuus.

Hankkeessa tutkittiin erilaisten mittalaitteiden ja anturien käytettävyyttä sisäilman VOC-yhdisteiden mittauksessa. Toimenpiteen toteuttamista varten vuokrattiin esimerkiksi GS-IMS-mittalaite laitteen valmistajalta G.A.S. Gesellschaft für analytische Sensorsysteme. Lisäksi kokeiltiin paikallisen talotekniikka-alan yrityksen kohteissaan käyttämää mittalaitetta. Toimenpiteessä hankittiin myös suomalaisen Envic Oy:n valmistamia Multisens-monitoimimittareita, joiden avulla voidaan tehdä pitkäaikaisia VOC- ja CO₂-pitoisuuksien sekä lämpötilan ja ilman suhteellisen kosteuden mittauksia.

Hankkeen työturvallisuuden kehittämiseen keskittyvässä toimenpiteessä järjestettiin kaksi palokoetta, joiden toteuttaminen ei olisi ollut mahdollista ilman Etelä-Savon pelastuslaitoksen panosta. Työturvallisuuteen liittyvän osion toteuttamiseen osallistui aktiivisesti myös Environics Oy. Toimenpiteessä tehdyt mittaukset suoritti Työterveyslaitos, ja lisäksi toisen palokokeen mittauksiin ja dokumentointiin droonin avulla osallistui Pelastusopiston edustajia.

Hankkeen tutkimustiedot ovat jatkossa hankkeeseen osallistuneiden organisaatioiden ja tahojen käytössä ja hyödynnettävissä. Hankkeessa saavutetut tulokset ovat myös laajemmalti käytössä, sillä ne mahdollistavat sisäilman mittausteknologiaan keskittyvän tutkimus- ja kehitystyön jatkamisen tutkimuslaitoksissa, eri organisaatioissa ja yrityksissä. Hankkeen toimenpiteistä ja niissä saavutetuista tuloksista kerrotaan tarkemmin tämän julkaisun artikkeleissa.

VOC-YHDISTEET HANKKEEN ERI TUTKIMUSKOHTEISSA

Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil & Hannu Salmi

VOC-Online-hankkeen toimenpiteessä nro 1 Kiinteistöjen sisäilmaston laatu elinkaaren eri vaiheissa tutkittiin rakennusten sisäilman laatua nykyisin käytössä olevilla mittausmenetelmillä. Päätaavoitteena oli kartoittaa kiinteistöjen sisäilman vallitsevat ja merkitsevät haihtuvat orgaaniset yhdisteet (Volatile Organic Compounds eli VOC-yhdisteet) VOC-anturiteknologian kehitystyön pohjaksi. Mittauskohteiksi valittiin eri-ikäisiä, eri materiaaleista rakennettuja ja eri käyttötarkoituksessa olevia kiinteistöjä. Mittauskohteissa tehtiin sisäilmamittauksia hankkeen aikana eri vuodenaikoina.

VOC-Online-hankkeessa tutkittiin myös mahdollisuuksia kartoittaa ja tunnistaa kosteusvauriomikrobien tuottamia MVOC-yhdisteitä (Microbial Volatile Organic Compounds). MVOC-yhdisteet ovat mikrobien aineenvaihduntatuotteita, joita mikrobikasvustot tuottavat. Tämän hetkisen tiedon perusteella MVOC-yhdisteitä ei voida yksiselitteisesti tunnistaa, sillä monet yhdisteistä ovat sellaisia, että niitä emittoituu kosteusvaurioituneista rakennusmateriaaleista, vaikka niillä ei kasvaisikaan mikrobeja. (Reiman ym. s.a.) Tutkimuskohteina olevissa rakennuksissa oli parissa mittauspisteessä todettu aiempi kosteusvaurio, ja aistinvaraisesti havainnoituna pisteissä oli havaittavissa selkeää homeen hajua.

Sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa 545/2015 (Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista) määritetään toimenpiderajat asuntojen sisäilman TVOC-pitoisuudelle ja myös yksittäisille yhdisteille. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tolueenivasteella lasketun kokonaispitoisuuden toimenpideraja huoneilmassa on $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja yksittäisen yhdisteen $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lisäksi neljälle yhdisteelle annetaan asetuksessa alemmat toimenpiderajat seuraavasti: 2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaalidioli di-isobutyraatti (TXIB) $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 2-etyyli-1-heksanoli (2EH) $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, naftaleeni (ei saa esiintyä hajua) $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja styreeni $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

HANKKEEN TUTKIMUSKOHTEET

Tutkimuskohteiksi valittiin viisi omakotitaloa ja kaksitoista julkista rakennusta. Julkisten rakennusten joukossa oli kouluja, kirjastoja, toimistotaloja sekä sosiaali- ja terveystalouden käytössä olevia rakennuksia. Kohteista muodostettiin vastinparit niiden käyttötarkoituksen ja päärakennusmateriaalin perusteella, jolloin tulosten tulkinnessa pystyttäisiin ha-

vaitsemaan mahdollisia yhdenmukaisuuksia VOC-emissioiden lähteissä tai pitoisuuksissa (taulukko 1). Valituissa kiinteistöissä VOC-näytteitä otettiin suurimmissa rakennuksissa useissa tiloissa, jolloin yhdessä rakennuksessa oli 1–4 näytepistettä. VOC-näytteitä otettiin standardin ISO-16000-6 mukaisesti yhteensä 84 kappaletta 29 eri näytepisteestä.

TAULUKKO 1. Hankkeen tutkimuskohteet ryhmiteltyinä käyttötarkoituksen ja rakennusmateriaalin mukaan

Käyttö-tarkoitus	Rakennus- vuosi (laajennus)	Rakennus- materiaali	Näyte- pisteiden lukumäärä	Näytteet kpl
Koulu 1	1960	Tiili	3	6
Koulu 2	1931	Kivi	2	2
Koulu 3	2012	Betoni	1	3
Koulu 4	2012	Betoni	1	3
Kirjasto 1	1997	Betoniharkko	1	7
Kirjasto 2	1968	Tiili	1	2
Palvelutalo 1	1996	Betoni	1	4
Palvelutalo 2	1992		1	3
Terveyskeskus	1971 (2002)	Tiili	2	7
Virastotalo 1	1973	Tiili	3	7
Virastotalo 2	1980	Tiili	4	12
Virastotalo 3	1964 (1990)	Tiili	4	11
Omakotitalo	2017	Metallikontit	1	5
Omakotitalo	2017	Kivitalo	1	3
Omakotitalo	1989	Tiili	1	2
Omakotitalo	2017	Hirsi	1	4
Omakotitalo	1907	Hirsi	1	3
Yhteensä	17 kohdekiinteistöä		29	84

Hankkeen tutkimuskohteiden sisäilman VOC-pitoisuutta tutkittiin pääasiassa standardin ISO 16000-6 mukaisesti. Käytetyssä menetelmässä sisäilmanäyte kerätään pumpulla Tenax TA -adsorbenttia sisältävään metalliputkeen (kuva 1) ja putken sisältö analysoidaan laboratoriossa kaasukromatografi-massaspektrometrilaitteistolla. Menetelmän avulla saadaan selville mittauspisteen sisäilman TVOC-pitoisuus sekä pystytään erottelemaan eri VOC-yhdisteet. Tulosten tulkinnassa on huomioitava se, että mittausten tulos kuvaa sisäil-

man VOC-pitoisuutta ainoastaan näytteenottohetkellä ja kyseisessä näytteenottopisteessä. Joidenkin tulosten kohdalla ongelmana saattaa myös olla tunnistamattomien yhdisteiden suuri määrä, mikä johtuu analysointitavasta.



KUVA 1. Näytteenotto pumpulla Tenax TA -adsorbenttiputkeen

Tutkimuskohteiden sisäilman TVOC-pitoisuutta pyrittiin hankkeessa mittaamaan myös erilaisilla käytössä olevilla suoraan osoittavilla mittalaitteilla. Käytössä oli TSI Airflow-monitoimimittari ja siihen liitettävä VOC-anturi, jonka toiminta perustuu PID-tekno-
logiaan (Photo-Ionization Detection), sekä Envic Oy:n valmistama GDU Multisens -anturi sisäilman VOC-pitoisuuden, lämpötilan, suhteellisen kosteuden ja hiilidioksidin monitoimintaan (kuva 2). Monitoimilaitteen VOC-anturin toiminta perustuu anturimateriaalin hapetusreaktioon.



KUVA 2. TSI Airflow -monitoimimittari ja GDU Multisens -mittalaite

Näytteenotto ja monitorointi suoritettiin päiväsaikaan kiinteistön normaalitoiminnan aikana. Tilojen ilmanvaihto oli käytössä normaalisti. Näytteenoton aikana tutkittavat tilat olivat mahdollisuuksien mukaan tyhjillään, mutta esimerkiksi sosiaali- ja terveystuolien rakennuksissa toiminta jatkui näytteenoton ajan normaalisti.

TULOKSET

Hankkeessa mukana olleiden julkisten rakennusten sisäilman VOC-pitoisuudet olivat matalat. Esimerkiksi sosiaali- ja terveystuolien rakennuksissa sisäilman TVOC-pitoisuudet olivat alle 40 µg/m³ kaikkien mittausten aikana. Eri kohteissa suurimmat yhdisteryhmät olivat aldehydit/ketonit, alkoholit, terpeenit ja piiyhdisteet. Näiden yhdisteiden todennäköisenä lähteenä ovat erilaiset pesu- ja puhdistusaineet sekä kosmetiikka. Taulukossa 2 on nähtävillä eräässä sote-rakennuksessa tehdyn kolmen näytteenoton tulokset.

TAULUKKO 2. VOC-pitoisuudet sote-rakennuksessa eri mittauskertoina

	13.6.2017	7.2.2018	19.2.2018
VOC-yhdiste	µg/ m ³	µg/ m ³	µg/ m ³
Alifaattiset hiilivedyt	-	-	0,2
Aromaattiset hiilivedyt	0,2	1,8	0,7
Aldehydit/ ketonit	5,1	2,2	3,6
Alkoholit/ Glykolit/ Glykolieetterit/ Esterit	2,9	4,2	1,5
Piiyhdisteet	0,4	0,4	5,6
Terpeenit	1,6	1,2	1,3
Tunnistamattomat yhdisteet	3,6	2,9	4,2
Kokonais VOC-pitoisuus (TVOC)	14	14	18

Myöskään hankkeessa tutkimuskohteina olleiden toimistorakennusten sisäilmassa ei havaittu suuria määriä VOC-yhdisteitä. Kaikissa tutkimuksen kohteina olleiden toimistorakennusten sisäilman TVOC-pitoisuudet olivat alle 50 µg/m³. Suurimmat yhdisteryhmät olivat alifaattiset hiilivedyt, aldehydit/ketonit, alkoholit ja piiyhdisteet. Näiden yhdisteiden todennäköisiä lähteitä ovat esimerkiksi erilaiset puhdistusaineet, kosmetiikka sekä maalit ja muovit. Taulukossa 3 on nähtävillä eräissä toimistorakennuksissa tehdyn kolmen näytteenoton tulokset.

TAULUKKO 3. VOC-pitoisuudet toimistossa eri mittauskertoina

	19.6.2017	6.2.2018	20.2.2018
VOC-yhdiste	µg/ m ³	µg/ m ³	µg/ m ³
Alifaattiset hiilivedyt	1,8	2,6	2,1
Aromaattiset hiilivedyt	0,6	3,3	1,8
Aldehydit/ ketonit	10,7	10,3	6,3
Alkoholit/ Glykolit/ Glykolieetterit/ Esterit	3,8	1,5	2,2
Piiyhdisteet	9,5	2,3	4
Terpeenit	1,8	0,7	1,1
Tunnistamattomat yhdisteet	10,7	6,1	6,6
Kokonais VOC-pitoisuus (TVOC)	39	27	25

Yhteenvedon voidaan todeta, että hankkeessa mukana olevien julkisten rakennusten sisäilman VOC-pitoisuudet ovat matalia. Tämä onkin tyypillistä rakennuksissa, joissa on koneellinen ilmanvaihto. Työterveyslaitoksen tutkimuksen mukaan esimerkiksi toimistorakennuksissa sisäilman VOC-pitoisuudet ovat alle 19 µg/m³ noin 90 prosentissa sisäilmanäytteistä (Salonen ym. 2011, 23).

Kaikissa hankkeen tutkimuskohteina olevissa omakotitaloissa sisäilman VOC-pitoisuus oli huomattavasti suurempi kuin julkisen puolen rakennuksissa. Omakotitalojen kohdalla vaikutti rakennuksen pääasiallisella rakennusmateriaalilla olevan huomattava vaikutus sisäilmassa esiintyviin VOC-yhdisteryhmiin. Esimerkiksi hirsitaloissa vallitseva yhdisteryhmä on terpeenit, jotka ovat puumateriaalista emittoituvia puun luonnollisia yhdisteitä. Taulukossa 4 voidaan havaita uuden hirsitalon sisäilmassa esiintyvän runsaasti terpeenejä.

TAULUKKO 4. VOC-yhdisteet hirsitalossa eri mittauskerroilla

	19.6.2017	6.2.2018	20.2.2018
Sisäilman suhteellinen kohteus %RH	60,30	13,50	42,70
Sisäilman lämpötila °C	20,00	21,10	24,50
Yhdistelmäryhmä	µg/ m ³	µg/ m ³	µg/ m ³
Alifaattiset hiilivedyt	115	15	8
Aromaattiset hiilivedyt	4	24	10
Aldehydit/ ketonit	19	44	47
Alkoholit/ Glykolit/ Glykolieetterit/ Esterit	33	21	22
Piiyhdisteet	1	4	19
Terpeenit	143	399	502
Tunnistamattomat yhdisteet	34	86	87
Kokonais VOC-pitoisuus (TVOC)	350	600	700

Terpeenien ryhmässä eniten hirsitalon sisäilmasta löytyi α -pineeniä, jonka pitoisuus oli eri mittauskerroilla jatkuvasti yli asetuksessa 545/2015 määritellyn toimenpiderajan 50 µg/ m³. Terpeenit ovat kuitenkin tämän hetkisen tietämyksen valossa terveydelle vaarattomia, joten toimenpiderajaksi määritellyn pitoisuuden ylitys ei tässä tapauksessa anna aihetta toimenpiteisiin. Uudessa kivitalossa terpeenien määrä on selvästi pienempi, kuten voidaan nähdä taulukosta 5.

TAULUKKO 5. VOC-yhdisteet kivitalossa eri mittauskerroilla

	20.9.2017	11.4.2018	31.10.2018
Sisäilman suhteellinen kohteus %RH	47,30	23,10	30,10
Sisäilman lämpötila °C	21,80	24,60	22,10
Yhdistelmäryhmä	µg/ m ³	µg/ m ³	µg/ m ³
Alifaattiset hiilivedyt	25	26	37
Aromaattiset hiilivedyt	37	26	18
Aldehydit/ ketonit	74	55	35
Alkoholit/ Glykolit/ Glykolieetterit/ Esterit	146	25	5
Piiyhdisteet	39	32	11
Terpeenit	130	88	62
Tunnistamattomat yhdisteet	157	71	66
Kokonais VOC-pitoisuus (TVOC)	610	320	230

Kosteusvauriokohteista otetuista sisäilmanäytteistä ei analyysien tuloksena löytynyt MVOC-yhdisteiksi epäiltyjä 3-metyylifuraania, 3-metyyli-1-butanolia, dimetyylidisulfidia, 2-heptanonia, 1-okten-3-olia tai 3-oktanonia (Reiman ym. s.a). Kesällä 2018 tehdyssä mittauksessa erään kosteusvauriokohteen sisäilman TVOC-pitoisuus oli kuitenkin $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$, jota voidaan pitää melko suurena pitoisuutena tilassa, jossa on koneellinen ilmanvaihto. Lisäksi huomionarvoista on suuri tunnistamattomien yhdisteiden määrä, noin $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Onkin mahdollista, että tunnistamattomien yhdisteiden joukossa on kosteusvaurioita indikoivia yhdisteitä, mutta niiden pitoisuudet ovat niin matalat, ettei niitä ole mahdollista tunnistaa nykyisillä tutkimusmenetelmillä. Sisäilman VOC-yhdisteiden mittaaminen ei tämän hetkisen tietämyksen valossa sovellu mikrobikasvun toteamiseen (Reiman ym. s.a.).

YHTEENVETO

Hankkeessa tutkimuskohteina olevien julkisten rakennusten sisäilman VOC-pitoisuudet olivat matalat. Kaikki hankkeessa mukana olleet julkiset kohteet oli rakennettu melko kauan aikaa sitten, eikä niissä juurikaan ollut tehty korjauksia tai remonteja viime aikoina. VOC-yhdisteitä syntyy eniten uusista rakennusmateriaaleista, ja ensimmäisen puolen vuoden aikana rakennuksen valmistumisesta sisäilman VOC-pitoisuus voi olla melko korkea. Pitoisuuksien määrä laskee yleensä kuitenkin nopeasti, kuten voidaan havaita esimerkiksi taulukossa 5 esitettyjen mittaustulosten perusteella. Asunnoissa sisäilman VOC-yhdisteistä noin puolet on yleensä peräisin itse rakennuksesta ja toinen puolikas erilaisista sisustusmateriaaleista ja tiloissa tapahtuvista toiminnoista.

Sisäilman suhteellisella kosteudella ja lämpötilalla on suuri vaikutus eri materiaaleista emittoituvien VOC-yhdisteiden määrään. Esimerkiksi puu on hygroskooppinen materiaali, jonka sisältämän kosteuden pitoisuus vaihtelee 8–25 painoprosentin välillä ilman kosteudesta riippuen. Sisäilman kosteuspitoisuuden ollessa suuri imee puu ilmasta kosteutta, jonka se vapauttaa sisäilmaan, kun ilma on kuivempaa. Tavallisesti korkea sisäilman lämpötila ja kostea sisäilma lisäävät eri materiaaleista emittoituvien VOC-yhdisteiden määrää.

MVOC-yhdisteiden tunnistaminen ja käyttäminen mikrobikasvustojen havaitsemiseen kosteusvaurioituneissa rakennuksissa ei ainakaan tämän hetkisen tietämyksen perusteella ole toimiva menetelmä. Mielenkiintoista on se, että monella yhdisteellä on hyvin matala hajukynnys, eli yhdisteet havaitaan aistinvaraisesti esimerkiksi selvästi erottuvasta hajusta, mutta niitä ei pystytä mittaamaan käytettävissä olevalla tekniikalla.

LÄHTEET

Reiman, M., Hyvärinen, A. & Viitanen, H. s.a. MVOCIT eli mikrobien tuottamat haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Hometalkoot-hankkeen opetusmateriaalia.

Salonen, H., Lappalainen, S., Lahtinen, M., Holopainen, R., Palomäki, E., Koskela, H., Backlund, P., Niemelä, R., Pasanen, A.-L. & Reijula, K. 2011. Toimiston sisäilmaston tutkiminen. Työterveyslaitoksen julkaisuja 2011.

STM 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.

VOC-ONLINE-HANKKEEN KOHTEISSA TEHDYT SISÄILMAN LAADUN MITTAUKSET

Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil

VOC-Online-hankkeen toimenpiteessä nro 1 Kiinteistöjen sisäilmaston laatu elinkaaren eri vaiheissa tutkittiin tutkimuskohteiden sisäilman VOC-pitoisuuden lisäksi myös sisäilman hiukkasia ja mikrobipitoisuuksia sekä tehtiin pitkäkestoisia sisäilman CO₂-pitoisuuden ja suhteellisen kosteuden sekä lämpötilan mittauksia. Näiden mittausten tuloksia käydään läpi tässä artikkelissa. Toimenpiteessä tehdyistä sisäilman VOC-pitoisuuden mittauksista on kerrottu tämän julkaisun artikkelissa VOC-yhdisteet hankkeen eri tutkimuskohteissa.

SISÄILMAN LAATUA KOSKEVAT ASETUKSET JA LUOKITUKSET

Sisäilman laatua säädellään useiden asetusten ja luokitusten avulla. Vuoden 2017 lopussa tuli voimaan ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta (YMa 1009/2017). Asetusta sovelletaan myös vanhan rakennuksen kohdalla, mikäli sitä laajennetaan tai sen kerrosalaa lisätään. Asetuksessa todetaan seuraavaa: ”Sisäilmassa ei saa esiintyä terveydelle haitallisissa määrin hiukkasmaisia epäpuhtauksia, fysikaalisia, kemiallisia tai mikrobiologisia tekijöitä eikä viihtyisyyttä jatkuvasti heikentäviä hajuja.” (YMa 1009/2017, 5§.) Asetuksessa ei siis anneta numeerisia suunnittelu- tai tavoitearvoja.

Aiemmin rakentamisessa ja suunnittelussa noudatettiin sisäilman osalta muun muassa rakennusmääräyskokoelman osaa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto, jossa annettiin velvoittavia suunnittelun ohjearvoja esimerkiksi sisäilman hiukkaspitoisuudelle. D2:n mukaisesti PM₁₀-kokoluokan hiukkasten (hiukkasten läpimitta alle 10 µm) määrä sisäilmassa saa 24 tunnin mittausten perusteella olla enintään 50 µg/m³. (RakMK D2) Esimerkiksi tavallinen katupöly sijoittuu kooltaan PM₁₀-hiukkaskokoluokkaan. Rakentamismääräyskokoelmaa ei kuitenkaan enää noudateta uusien rakennusten kohdalla, vaan kokoelman osat on kumottu osana vuonna 2013 voimaan tulleen maankäyttö- ja rakennuslain (958/2012) muutosta.

Asumisterveysasetuksen (545/2015) mukaan asuntojen sisäilmassa pienhiukkasten eli kokoluokan PM_{2,5} (hiukkasten läpimitta alle 2,5 µm) keskimääräinen pitoisuus 24 tunnin mittausten perusteella saisi olla enintään 25 µg/m³ (STMa 545/2015.) Pienhiukkasia syntyy

esimerkiksi puun poltosta. Lisäksi toukokuussa 2018 voimaan tulleessa uudessa Sisäilmastoluokituksessa annetaan suunnittelu- ja tavoitearvoja pienhiukkasille ($PM_{2,5}$). Kahdessa parhaassa sisäilmastoluokassa eli luokissa S1 ja S2 pienhiukkasten määrän tulisi olla sisäilmassa alle $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kolmannen luokan eli luokan S3 suunnittelu- ja tavoitearvo on sama kuin asumisterveysasetuksen. (Sisäilmastoluokitus 2018.)

Mikrobeihin luetaan homeet, hiivat ja bakteerit. Sisäilmassa esiintyvät mikrobit voivat olla peräisin ulkoilmasta, tai niiden lähteenä voivat olla erilaiset rakennuksessa tapahtuvat toiminnot, kuten ruoanlaitto, tai tiloissa oleskelevat ihmiset tai kotieläimet. Sisäilmassa esiintyy aina erilaisia mikrobeja, eikä niiden esiintyminen sinällään ole merkki esimerkiksi sisäilmaongelmasta. Kuitenkin mikrobien hyvin runsas esiintyminen tai tavallisuudesta poikkeavat mikrobilajit voivat olla seurausta esimerkiksi rakennuksen kosteusvauriosta. Osa mikrobeista on luokiteltu niin sanotuiksi kosteusvaurioindikaattoreiksi. Kosteusvaurioindikaattorimikrobit eivät yleensä kasva terveissä, vaurioitumattomissa rakennuksissa, joten niiden löytyminen rakennuksen sisäilmasta otetusta näytteestä viittaa rakenteissa olevaan kosteusvaurioon. Mikrobimittausten tulokset ilmoitetaan yleensä yksikössä pmy/m^3 , joka tarkoittaa pesäkkeitä (kasvustoja) muodostavia yksiköitä ilmaquutiassa.

Asumisterveysasetuksen 545/2015 mukaan talvisaikaan sisäilmasta otetun näytteen mikrobipitoisuus $100\text{--}500 \text{pmy}/\text{m}^3$ saattaa viitata asunnossa olevaan epätyypilliseen mikrobilähteeseen, kuten kosteusvaurioon. Tulosten tulkinta edellyttää kuitenkin myös mikrobilajistojen tunnistamista. Mikäli näytteen mikrobipitoisuus on alle $100 \text{pmy}/\text{m}^3$, mutta lajitunnistuksessa havaitaan niin sanottuja kosteusvaurioindikaattorimikrobeja, voidaan epäillä, että asunnossa on mikrobikasvustoa. Myös yli $500 \text{pmy}/\text{m}^3$:n mikrobipitoisuus sisäilmanäytteessä indikoi epätyypillistä mikrobilähdettä.

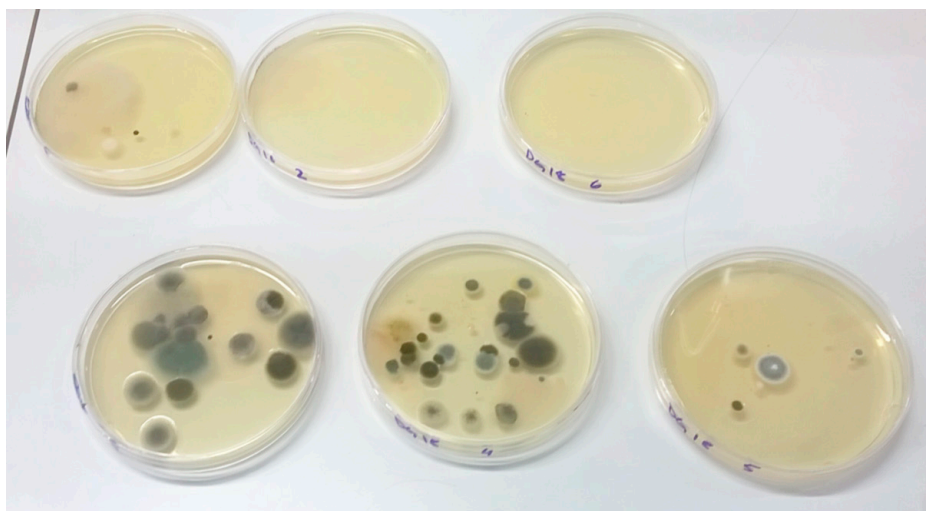
Toimistorakennusten mikrobitutkimusten tuloksia tulkitaan Työterveyslaitoksen asettamien viitearvojen mukaan. Toimistoympäristössä sisäilman mikrobipitoisuus on yleensä asuntojen mikrobipitoisuuksia pienempi. Talviaikaan otettujen toimiston sisäilman mikrobinäytteiden yli $50 \text{pmy}/\text{m}^3$:n sieni-itiöpitoisuus voi viitata epätavanomaiseen mikrobilähteeseen. Bakteerien osalta pitoisuuden ylittäessä viitearvon $600 \text{pmy}/\text{m}^3$ on syytä epäillä epätavanomaista lähdettä. Koska sisäilman bakteerien lähteenä ovat tavallisesti tiloissa oleskelevat ihmiset, on suuri bakteeripitoisuus ($>4500 \text{pmy}/\text{m}^3$) tyypillisesti merkki riittämättömästä ilmanvaihdesta tilojen käyttöön nähden. (Salonen ym. 2011.)

Ilmanvaihdon tulee olla rakennuksen käyttöön nähden riittävä. Hiilidioksidin (CO_2) osalta sisäilman toimenpideraja ylittyy, mikäli hiilidioksidipitoisuus on 1150ppm suurempi kuin ulkoilman hiilidioksidipitoisuus (noin 400ppm). Mittaustuloksen ollessa vähintään 1550ppm voidaan todeta ilmanvaihdon ja tuloilman määrän olevan riittämätön tilojen käyttöön verrattuna.

Asumisterveysohjeen mukaan sisäilman lämpötilan tulisi lämmityskaudella olla asunnoissa +18 °C...+26 °C ja lämmityskauden ulkopuolella +18 °C...+32 °C. Suomen rakennusmääräyskokoelman osan D2 mukaan toimistotilan oleskeluvyöhykkeen lämpötila lämmityskaudella tulisi olla +21 °C. Hyväksyttävä poikkeama on ±1 °C, ja perustellusta syystä huonelämpötila voidaan suunnitella myös ohjearvosta poikkeavaksi. Suositeltava sisäilman suhteellinen kosteus on 20–60 %. Mikäli huoneilma on hyvin kuivaa, voi se ärsyttää hengitysteitä ja silmiä sekä lisätä materiaalien pölyävyyttä ja pölyn kulkeutumista ilmassa. Liian korkea ilmankosteus puolestaan lisää kosteusvaurioiden riskiä ja voi edesauttaa mikrobikasvustojen muodostumista.

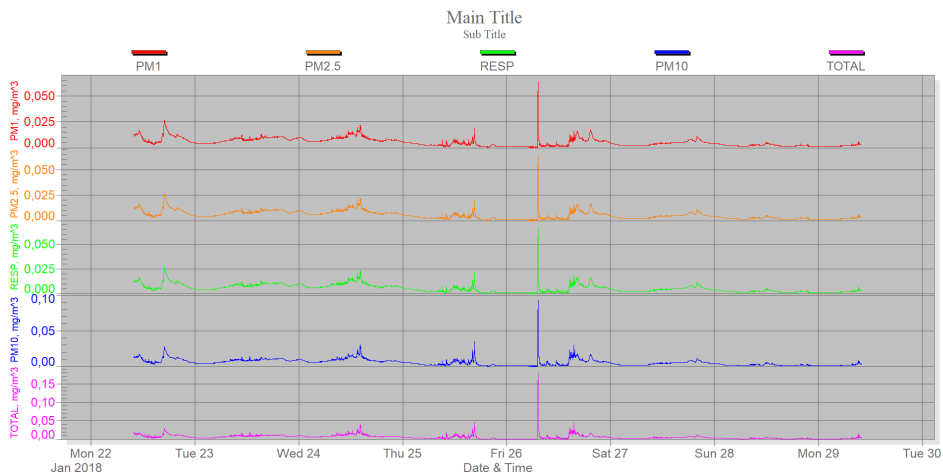
KÄYTETYT MITTAUSMENETELMÄT

Sisäilmasta otettavat mikrobinäytteet otettiin pumpun ja 6-vaiheimpaktorin (Andersenin keräin) avulla kolmelle eri kasvatusalustalle, joista Malt 2% on tarkoitettu kosteissa oloissa viihtyvälle sienille, DG18 kuivissa oloissa viihtyvälle sienille ja PCA bakteereille. Kun näytteenotto suoritettiin sulan maan aikana, otettiin näytteitä myös ulkoilmasta ja verrattiin sisä- ja ulkoilmänäytteiden tuloksia keskenään. Kuvassa 1 on nähtävillä esimerkki petrimaljaljele valetulla elatusaineella kasvavasta mikrobipesäkkeestä.



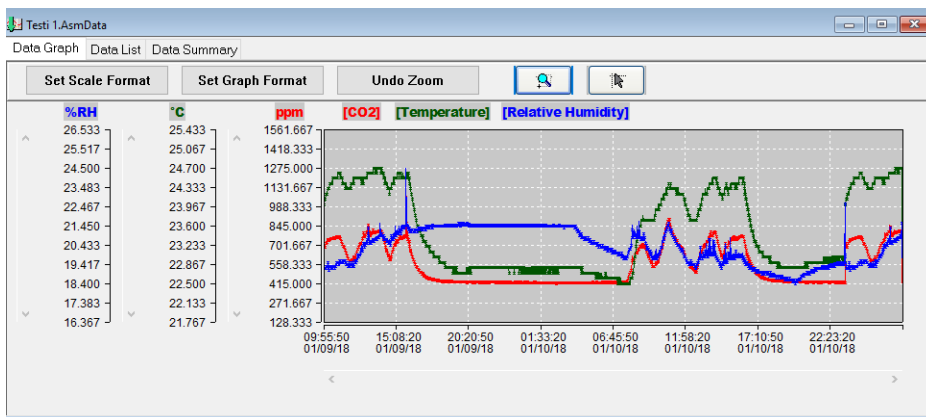
KUVA 1. Homepesäkkeitä DG18-elatusalustalla (kuva Tuija Ranta-Korhonen)

Sisäilman hiukkasnäytteenotossa käytettiin DustTrak-hiukkaslaskuria, jonka avulla voidaan mitata samanaikaisesti sekä hiukkasten massapitoisuutta että eritellä mitatut hiukkaset viiteen eri kokoluokkaan. Kokoluokkia ovat PM_1 , $PM_{2,5}$, PM_4 , PM_{10} (hengitettävät hiukkaset) sekä PM_{15} (kokonaispöly). Hiukkaslaskurin avulla voidaan tehdä sekä lyhytaikaisia että pitkäkestoisia mittauksia. Kuvassa 2 on nähtävillä esimerkki DustTrak-hiukkaslaskurilla tehdyn mittausjakson esityksestä kuvaajien avulla.



KUVA 2. DustTrak-hiukkasmittarin tulokset kuvaajan muodossa

Lisäksi hankkeessa mitattiin sisäilman CO₂-pitoisuutta, suhteellista kosteutta ja lämpötilaa Trotec BZ30 -monitoimimittarin avulla. Laitteella voidaan tallentaa sekä lyhyt- että pitkäkestoisia mittausjaksoja. Kuvassa 3 on nähtävillä esimerkki laitteen mittaamista tuloksista kuvaajan muodossa.



KUVA 3. Trotec BZ30 -mittalaitteen tuloksia kuvaajan muodossa

JOHTOPÄÄTÖKSET

Hankkeen tutkimuskohteina olevien rakennusten sisäilmasta ei mittauksissa löydetty määrittävissä määrin hiukkasia. Kohteissa, joissa tehtiin pitempiäaikaisia sisäilman hiukkasmittauksia, havaittiin, että hiukkaspitoisuuden nousu liittyi yleensä tilassa tapahtuvaan toimintaan. Esimerkiksi toimistotilassa hiukkaspitoisuudet nousivat työpäivän alkaessa ja laskivat työpäivän loputtua.

Mikrobinäytteenoton tuloksia ei tässä artikkelissa käydä tarkemmin läpi, sillä tulokset voisivat antaa aihetta virhetulkintoihin. Suoritettujen tutkimusten perusteella voidaan kuitenkin todeta, että nykyisin käytössä olevat, sisäilman laadun tutkimiseen soveltuviksi hyväksytyt menetelmät etenkin sisäilman mikrobipitoisuuden selvittämisen suhteen ovat hyvin epätarkkoja eivätkä vastaa todellista kuvaa rakennuksessa mahdollisesti vallitsevista sisäilmaa heikentävistä mikrobiologisista tekijöistä. Suurimmat haasteet sisäilman mikrobipitoisuuden analysoinnissa ovat tiloissa vallitsevat ilmavirrat ja tiloissa tapahtuva toiminta, ja ne vaikeuttavat tulosten tulkintaa ja mikrobilähteen paikantamista. Tämän vuoksi esimerkiksi Andersenin keräintä ei voida pitää luotettavana mittausmenetelmänä eikä sitä tulisikaan käyttää sisäilman mikrobien yksinomaisena tutkimuskeinona.

Mittauskohteiden sisäilman hiilidioksidipitoisuudet olivat kaikissa mittauksissa melko matalat, mitä voidaan pitää osoituksena siitä, että kohteiden ilmanvaihto toimii hyvin. Talviaikaan tehdyissä mittauksissa havaittiin, että monissa kohteissa sisäilman lämpötila oli melko korkea ja suhteellinen kosteus puolestaan erittäin matala, jopa alle 10 %RH. Näin matala ilmankosteus saattaa aiheuttaa tilankäyttäjille hengitysongelmia tai esimerkiksi silmien kuivumista.

LÄHTEET

RakMK D2. Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto. Rakennusmääräyskokoelma.

Salonen, H., Lappalainen, S., Lahtinen, M., Holopainen, R., Palomäki, E., Koskela, H., Backlund, P., Niemelä, R., Pasanen, A.-L. & Reijula, K. 2011. Toimiston sisäilmaston tutkiminen. Työterveyslaitoksen julkaisuja.

Sisäilmastoluokitus 2018. Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohjeet ja tuotevaatimukset.

YMa 1009/2017. Ympäristöministeriön asetus uuden rakennuksen sisäilmastosta ja ilmanvaihdosta.

STMa 545/2015. Sosiaali- ja terveysministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista.

SISÄILMATUTKIMUKSET HOMEKOIRAN AVULLA VOC-ONLINE-HANKKEESSA

Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen

VOC-Online-hankkeen toimenpiteessä nro 1 Kiinteistöjen sisäilmaston laatu elinkaaren eri vaiheissa käytettiin myös homekoiraa osana sisäilmatutkimuksia. Homekoirien käyttäminen sisäilmatutkimuksissa perustuu koirien erittäin herkkään hajuastiiniin ja siihen, että koira voidaan kouluttaa havaitsemaan erilaisia hajuja, kuten mikrobikasvustojen aineenvaihduntatuotteita ja kasvustojen tuottamaa pölyä. Mikrobit tuottavat erilaisia aineenvaihduntatuotteita elinkaarensa eri vaiheissa, ja lisäksi aineenvaihduntatuotteiden koostumukseen vaikuttavat materiaali, jolla mikrobit kasvavat, sekä materiaalilla mahdollisesti kasvavat muut mikrobit. Koirat koulutetaan lisäksi osoittamaan mahdollisen mikrobikasvuston sijainti. (Suomen homekoirayhdistys.)

Koiran antaman indikaation tulkinnassa on huomioitava se, ettei koiran merkkkaus välttämättä tarkoita kosteusvauriota, vaan koiran havaitsema haju saattaa olla peräisin esimerkiksi maaperästä ja tulla rakennukseen epätiivuista rakenteista aiheutuvien ilmapuotojen mukana. Lisäksi rakennuksen sisäiset virtaukset voivat sekoittaa koiraan niin, ettei se löydä varsinaista vauriokohtaa. Kuten sisäilmatutkimuksissa aina, myös homekoiran käyttö sisäilman laadun selvittämisessä on vain yksi osa monipuolista tutkimusta. Homekoiran tekemien merkkausten perusteella ei voida tehdä lopullisia johtopäätöksiä rakennuksen kosteusvaurioista ja mikrobikasvustoista tai niiden sijainnista. Homekoiran antama indikaatio on ainoastaan viitteellinen, ja tuloksen varmentamiseksi tarvitaan aina lisäksi muita tutkimuksia, kuten rakenteiden avauksia tai materiaalinäytteitä. VOC-Online-hankkeessa tehdyt homekoiratutkimukset järjestettiin kiinteistöjen ylläpidosta vastaavan tahon esittämässä kohteissa.

HOMEKOIRAKOKEIDEN TUTKIMUSKOHEET

Homekoiran avulla tehdyt tutkimukset järjestettiin kesäkuussa 2018 VOC-Online-hankkeessa mukana olleessa kahdessa tutkimuskohteessa, joissa molemmissa oli aiemmin todettu kosteusvaurio ja tehty kosteusvauriokorjauksia. Tutkimuskohteita ei tässä artikkelissa yksilöidä tarkemmin. Ensimmäinen kohteista on 1960-luvulla rakennettu koulurakennus, jonka pääasiallinen rakennusmateriaali on betoni. Toinen kohteista on 1990-luvulla rakennettu hoitolaitoskäytössä oleva rakennus, joka myös on betonirakenteinen.

Koulukohteessa oli keväällä 2017 todettu eräässä tilassa kosteusvaurio, jonka kuivatus- ja korjaustoimenpiteet toteutettiin kesän 2017 aikana. Tilasta otettiin talvella 2018 sisäilman mikrobinäytteitä, joista saatujen analyysitulosten perusteella oli syytä epäillä, että tilassa edelleen on poikkeava mikrobilähde. Hoitolaitoskäytössä olevassa rakennuksessa puolestaan oli aiemmin havaittu sisäilmaongelmaa, ja kohteeseen oli tehty sisäilmaan liittyviä korjauksia.

HOMEKOIRAKOKEIDEN JÄRJESTELYT

Tutkimukset kohteissa suoritti homekoiraohjaajakoulutuksen suorittanut yrittäjä. Homekoiraohjaajakoulutus sisältää rakennustekniikkaa, mikrobiologiaa sekä lainsäädäntöä. Käytetty yrittäjä oli suorittanut koiriensa kanssa Suomen Homekoirayrittäjät ry:n tasotarkastuksen hyväksytysti. Tutkimus suoritettiin käyttäen kahta koiraa, jotka oli koulutuksen aikana opetettu löytämään ja ilmaisemaan 20 yleisintä kosteusvauriorakennuksissa kasvavaa homeelajia ja bakteereista sädesienikasvustot. Koirat pystyvät haistamaan aktiivisten mikrobikasvustojen lisäksi vanhat, jo kuivuneet kasvustot. Käyttämällä vähintään kahta koiraa voidaan varmistua koirien merkkeiden luotettavuudesta.

Homekoiraohjaajalta saadun ohjeistuksen mukaan tutkittavissa tiloissa tuli tutkimushetkellä vallita tilan normaaliolot, mikä tarkoittaa sitä, että siivousta ja tuulettamista tuli välttää tarkastuspäivänä. Lisäksi tiloissa ei saanut käyttää myrkyllisiä aineita, kuten tuholaismyrkyjä. Tilojen seinien vierustat raivattiin vapaaksi, jolloin koirat pystyivät haistelemaan lattian ja seinien rajapinnat. Lisäksi varmistettiin, ettei koirien kulkureitille jäänyt niille vaaraa tai häiriötä aiheuttavia tekijöitä. Ennen koirien päästämistä tiloihin homekoiraohjaaja tutustui tutkittaviin tiloihin ja haastatteli tilojen käyttäjiä ja tilojen kunnossapidosta vastaavia henkilöitä lähtötietojen, kuten käytettyjen rakenteiden ja ilmanvaihtoratkaisujen, kartoittamiseksi.

KOKEIDEN TULOKSET

Tutkimuksissa käytetyillä koirilla on omat tapansa ilmaista mahdollinen mikrobikasvusto, joten homekoiraohjaaja ilmoitti molempien koirien kohdalla kyseiselle koiralle ominaisen ilmaisemistavan. Tällä tavoin tutkimusta seuraamassa olleet muut henkilöt pystyivät seuraamaan koiran työskentelyä ja mahdollisten löydösten sijaintia tiloissa. Tutkimuskohteena olevassa koulussa koira merkkasi useita kohtia. Merkatut kohdat sijaitsivat rakennuksessa sattuneen ja korjatun vesivauriokohdan läheisyydessä. Hoitolaitoskäytössä olevassa kohteessa koirat merkkasivat useita kohtia erityisesti lattian ja ulkoseinän rajapinnasta.

Homekoirayrittäjä kirjoitti tutkimusten pohjalta raportin, johon liitettiin pohjapiirroksiin ja kuviin merkittiin koirien merkkeamat kohdat, jolloin kiinteistöjen omistajille ja ylläpidosta vastaaville henkilöille jää tarkka dokumentaatio koirien avulla tehdystä tutkimuksesta. Tulosten perusteella tiloihin suositeltiin tekemään tarkempia jatkotutkimuksia mahdollisten vaurioiden selvittämiseksi.

Tuloksia tarkastellessa tulee ottaa huomioon rakennuksen sisäiset ilmavirtaukset ja rakenteiden läpäisevyys. Koiran paikallistama mikrobikasvusto ei välttämättä sijaitse koiran merkkäämissä kohdissa, vaan se voi sijaita myös muualla rakennuksessa. Koira voi paikallistaa hajun todellisesta lähteestä poiketen esimerkiksi saumakohtiin, joista ilmavirta pääsee muualta rakenteista huoneilmaan.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Homekoirilla suoritettut tutkimukset antoivat lisätietoa kohteiden sisäilman laadusta ja mahdollisista epäpuhtauksien lähteistä. Koulukohteessa homekoiratutkimuksen tulokset antoivat syyn epäillä kosteusvaurion kuivauksen ja korjauksen riittävyyttä. Hoitolaitoskohteessa homekoiratutkimusten tulosten pohjalta on mahdollista suunnata jatkotutkimuksia tiettyihin osiin rakenteita ja rakennusta. Homekoiratutkimuksen tulokset auttavat siis tarkemmin määrittelemään esimerkiksi kohdat, joista voisi olla tarpeen ottaa materiaalinäytteitä. Tällä tavoin saadaan kohdistettua resursseja todennäköiseen ongelmakohtaan.

VOC-Online-hankkeessa suoritettun homekoirakokeen perusteella voidaan sanoa tutkimuksen tuovan lisäarvoa osana sisäilman laadun tutkimista ja olevan arvokas apu pyrittäessä paikallistamaan epäpuhtauksien lähteitä. Koiran antama tulos on puolueeton ja lahjomaton. Tämän kaltaisen tutkimuksen tuloksia tulkittaessa on kuitenkin otettava huomioon tutkimuksen epävarmuustekijät. Vielä ei ole olemassa laitetta, joka tunnistaisi homeen tai osaisi paikantaa sen rakenteiden sisältä, joten koulutettun homekoiran käyttäminen osana tutkimuksia voi antaa arvokasta lisätietoa ratkottaessa sisäilmaongelmia ja etsittäessä ongelmien lähdettä rakennuksessa.

LÄHTEET

Kosteus- ja hometalkoot. 2013. Homekoiran käyttö kiinteistössä esiintyvien mikrobiperäisten hajujen tarkastuksessa – tilaajan ohje. Ympäristöministeriö. PDF-tiedosto.

Suomen homekoirayhdistys. [http://www.suomenhomekoirayhdistys.fi /mitakoiraista.html#](http://www.suomenhomekoirayhdistys.fi/mitakoiraista.html#).

MATERIAALI- JA PÖLYNÄYTTEET VOC-ONLINE-HANKKEESSA

Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil

VOC-Online-hankkeen toimenpiteessä nro 1 Kiinteistöjen sisäilmaston laatu elinkaaren eri vaiheissa tutkittiin kiinteistöjen kuntoa ja sisäilmaa myös ottamalla materiaali- ja pölynäytteitä. Myös näiden näytteiden analyysitulokset syötettiin hankkeessa luotuun VOC-Online-tietokantaan.

MATERIAALINÄYTTEET

Kiinteistöistä otettavien materiaalinäytteiden avulla voidaan esimerkiksi kartoittaa vahinkoalueen laajuutta kosteusvauriokohteissa tai etsiä sisäilmaongelmaisessa rakennuksessa ongelmien lähdettä. Asumisterveysoppaan mukaiset sisäilmaston mikrobimääritykset perustuvat viljelymenetelmiin, joissa mitataan elinkykyisten mikrobien määrää. Menetelmät ovat aikaa vieviä, sillä esimerkiksi aktinomykeettien määrittäminen ilmanäytteestä vaatii 14 vrk:n inkubaatioaikaa. Nopeammalle ja tehokkaammalle menetelmälle on siis tilausta. (Valkonen ym. 2014.) Yksi mahdollinen uusi menetelmä on kvantitatiivinen polymeeraasi- ketjureaktio (qPCR = Quantitative Polymerase Chain Reaction).

Kvantitatiiviseen polymeeraasiketjureaktioon perustuvassa menetelmässä mitataan tietyn ennalta määritetyn DNA-jakson esiintyvyyttä näytteessä. qPCR-menetelmällä voidaan DNA-esiintymisen lisäksi mitata määritetyn DNA-jakson määrää näytteessä. Näytteen DNA-pitoisuutta verrataan standardisuoran avulla mikrobisolujen määrään. Menetelmä kertoo tuloksen näytetyypistä riippuen soluekvivalenttia/g tai vaihtoehtoisesti m³ tai cm². Perinteisellä viljelymenetelmällä näytteestä voidaan määrittää ne mikrobit, jotka näytteenottohetkellä ovat elinkykyisiä ja kykenevät kasvamaan käytetyissä olosuhteissa. Tästä poiketen qPCR-menetelmä ei erottele sitä, onko DNA peräisin elävistä vai kuolleista mikrobeista. (Mikrobioni s.a.)

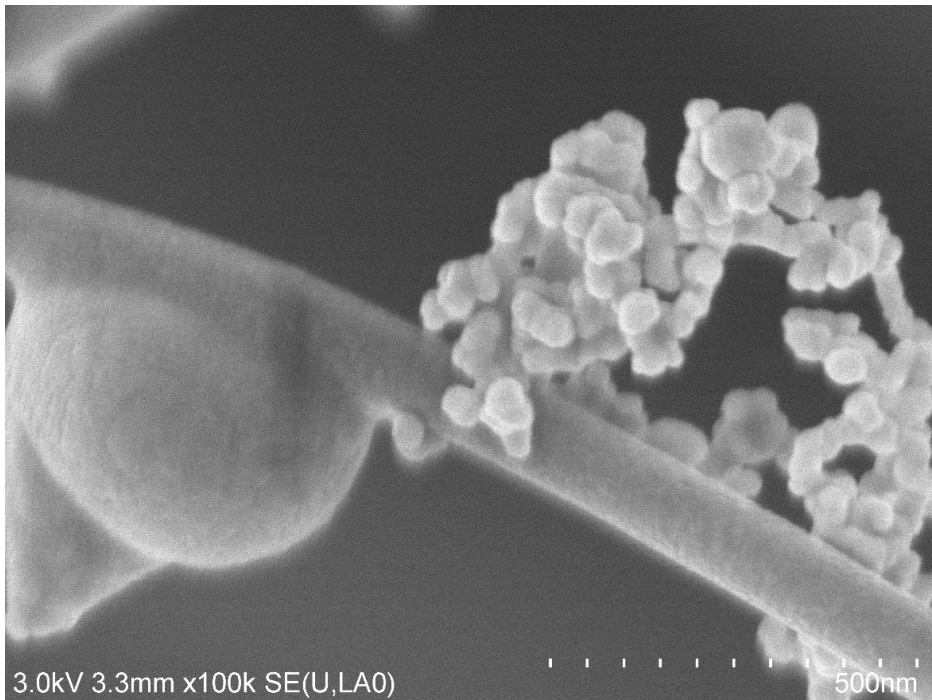
Analysoitaessa näytteitä qPCR-menetelmällä tuloksissa huomioidaan rakennusmateriaaleissa yleisimmin kasvavat mikrobilajit sekä tärkeimmät home- ja kosteusvaurioindikaattorimikrobit. VOC-Online-hankkeessa näytteet analysoidaan laboratorion mukaan qPCR-menetelmän tulos vastaa Asumisterveysasetuksen soveltamisohjeen laimennossarjaviljelyn tulostulkinnan ohjearvoja siten, että qPCR-tulos viittaa homeiden ja hiivojen osalta mikrobikasvuun, jos kaikkien homeiden ja hiivojen pitoisuus ylittää 100 000 CE/g (CE = Cell Equivalent) tai Penicillium/Aspergillus/P.variotii-ryhmän pitoisuus ylittää 60 000 CE/g.

Tulkintana on epäily mikrobikasvusta silloin, kun homeiden ja hiivojen pitoisuus on 10 000–100 000 CE/g tai *Penicillium/Aspergillus/P.variotii*-ryhmän pitoisuus on 10 000–60 000 CE/g. Sädesienille ei ole tällä hetkellä käytössä koko ryhmän kattavaa qPCR-menetelmää. *Streptomyces sp.* on yksi yleisimmistä rakennuksissa esiintyvistä sädesienistä, ja sen esiintyminen yli 6 000 CE/g:n pitoisuuksina viittaa sädesienikasvuun materiaalissa. Pitoisuudet 3 000–6 000 CE/g tulkitaan epäilyksi.

PÖLYANALYYSI

Pölynäytteitä käytetään tyypillisesti yritettäessä selvittää sisäilmaongelmien syitä, esimerkiksi etsittäessä tilankäyttäjien oireilun syitä. Pölynäytteenottoa voidaan käyttää myös arvioitaessa sisäilmakohteissa tehtyjen korjausten onnistumista. Pyyhkäisy-pölynäytteitä voidaan myös tutkia osana työhygieenistä selvitystä tai näytteitä voidaan ottaa etsittäessä häiritsevän pölyn lähdettä. (Työterveyslaitos s.a.)

Pölyanalyysia varten tutkittavista tiloista otettiin pyyhkäisy-pölynäytteet tuloilmakanavasta sekä joltain vaakasuoralta tasolta (tällä tavoin menetellään myös tehtäessä tutkimuksia sisäilmaongelmaisissa kiinteistöissä). Näytteet otettiin minigrip-pussiin pyyhkäisemällä näytteenottokohtaa pussilla. Pussit sisältöineen lähetettiin analysoitaviksi ulkopuoliseen laboratorioon. Pölyanalyysin tuloksena saadaan käsitys pölyn sisältämistä eri hiukkasista ja kuiduista sekä niiden lähteistä. Pölyssä esiintyvien hiukkasien ja kuitujen määrät ilmoitetaan asteikolla (+) vähäinen määrä, (++) kohtalainen määrä sekä (+++) runsas määrä. Eriteltäviä pölylaatuja ovat muun muassa karkea ulkoilmapöly, orgaaninen pöly, homeitiöt, teolliset mineraalikuidut sekä metalli- ja metallioksidipöly. Näytteet analysoidaan pyyhkäisy-elektro-nimikroskoopilla (SEM). Kuvassa 1 on esimerkki SEMin avulla kuvatusta hiukkasmittarilla suodattimelle otetusta pölynäytteestä.



KUVA 1. Kuva pölyhiukkasista pyyhkäisyelektronimikroskoopilla (kuva Laura Lukkarinen)

NÄYTTEENOTON TULOKSET

VOC-Online-hankkeessa materiaalinäytteitä otettiin eräässä kiinteistössä tilasta, jossa oli keväällä 2017 havaittu vesivahinko. Vesivahinkokohta oli kuivattu ja saneerattu kesän 2017 aikana. Saneerauksen jälkeen talvella 2018 tilasta otettiin sisäilmanäytteitä 6-vaihe-impaktorilla (Andersenin keräin). Ilmanäytteiden laboratorioanalyysien perusteella saatiin tietää, että kohteen sisäilmasta löytyi kosteusvaurioindikaattorimikrobeja. Analyysitulosten perusteella heräsi siis epäily epätyypillisestä mikrobilähteestä rakennuksessa. Tilassa tehtiin myös homekoiraturkimuksia, joissa koira merkitsi useita kohtia tilassa, jossa kosteusvaurio oli ollut. Materiaalinäytteitä otettiin tilasta useasta eri materiaalista. Myös materiaalinäytteet ja niistä qPCR-menetelmällä tehtyjen analyysien tulokset indikoivat tilassa mahdollisesti edelleen olevaa kosteusvauriota. Otetut näytteet ja niiden analyysitulokset on esitetty taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Materiaalinäytteet ja näytteiden analyysitulokset (qPCR)

Nro	Näyte	Tulosyhteenveto	Johtopäätös
1	kipsilevy, ulkoseinä	home- ja sädesienipitoisuudet alle määrittysrajan	ei mikrobikasvua materiaalissa
2	puu, lattialista, väliseinä	suuri homepitoisuus, sädesienipitoisuus alle määrittysrajan	selvä mikrobikasvu materiaalissa
3	polyuretaani, aulan vastainen väliseinä	pieni homepitoisuus, kuitenkin yli 10 000 CE/g, sädesienipitoisuus alle määrittysrajan	epäily mikrobikasvusta materiaalissa
4	muovimatto, kaapelikouru, väliseinä	pieni homepitoisuus, kuitenkin yli 10 000 CE/g, pieni sädesienipitoisuus	epäily mikrobikasvusta materiaalissa
5	betoni, väliseinä	pieni homepitoisuus, sädesienipitoisuus alle määrittysrajan	ei mikrobikasvua materiaalissa
6	tiivistemassa, aulan vastainen väliseinä	suuret home- ja sädesienipitoisuudet	selvä mikrobikasvu materiaalissa

Taulukossa 2 on nähtävillä eräästä kohteesta tuloilmaventtiilistä ja tasolta otettujen pyyhkäisy-pölynäytteiden tulokset. Taulukon avulla voidaan päätellä, että esimerkiksi karkea ulkoilmapöly sekä orgaaninen pöly kulkeutuvat luultavasti tiloihin ilmanvaihdon kautta. Tämä saattaa olla merkki siitä, että tuloilmasuodattimet pitäisi vaihtaa. Tuloilmaventtiilistä otetussa pölynäytteessä havaittiin myös teollisia mineraalivillakuituja, jotka saattavat olla peräisin suodattimesta tai äänenvaimennusmateriaalista. Mielenkiintoista oli myös homeitiöiden löytyminen tuloilmaventtiilistä otetusta näytteestä. Toisaalta huonetilasta tasolta olevasta näytteestä ei homeitiöitä löytynyt.

TAULUKKO 2. Erään mittauspisteen pyyhkäisy-pölynäytteiden tulokset

NÄYTE	NÄYTTEEN KUVAUS/TULOS
Tuloilmaventtiili	<ul style="list-style-type: none"> - Karkea ulkoilmapöly; +++ (runsaasti), pääasiassa kiviaines-, siite- ja hiekkapölyä - Orgaaninen pöly; +++ (runsaasti), tunnistamaton orgaaninen pöly - Homeitiöt; + (vähäisiä määriä) - Teolliset mineraalikulut; 1 - 5 p.-% vuorivillaa ja lasivillaa - Metall- ja metallioksidipöly; + (vähäisiä määriä), sinkki- ja rautapohjainen
Kaapin päältä	<ul style="list-style-type: none"> - Karkea ulkoilmapöly; +++ (runsaasti), pääasiassa kiviaines-, siite- ja hiekkapölyä - Orgaaninen pöly; ++ (kohtalaisesti), pölyn muoto viittaa kuivuneeseen nestemäiseen aerosoliin, esim. rasva-, hiuslakka- tms. pölyä - Tavanomainen huonepöly; +++ (runsaasti), pääasiassa tekstiili-, hilse- ja paperikuitupölyä - Rakennusmateriaalipöly; + (vähäisiä määriä), kalkkipohjainen

YHTEENVETO

Pyyhkäisy-pölynäytteet sekä materiaalinäytteiden qPCR-analyysi tarjoavat uudenlaisia mahdollisuuksia tutkia sisäilmaa sekä kartoittaa sisäilmaongelmaisten rakennusten ongelmien syytä ja sisäilman epäpuhtauksien lähdettä. Sekä pyyhkäisy-pölynäytteiden että qPCR-menetelmällä tehtävää analyysia varten otettavien materiaalinäytteiden näytteenotto on melko yksinkertaista ja toteutettavissa nopeasti. Näytteenotto vaatii huolellisuutta sekä perustietoja aseptisestä työskentelystä, mutta on helppo toteuttaa ohjeiden mukaan.

LÄHTEET

Mikrobioni s.a. qPCR-menetelmä. <https://mikrobioni.fi/qpcr-menetelma/>.

Työterveyslaitos s.a. Pölynäytteen ottaminen pyyhintämenetelmällä. <https://www.ttl.fi/service-document/polynaytteen-ottaminen-pyyhintamenetelmalla/>

Valkonen, M., Jalkanen, K., Täubel, M. & Hyvärinen, A. 2014. Kvantitatiivisen PCR:n käyttö mikrobivaurion toteamisessa. Esitelmä Sisäilmastoseminaarissa.

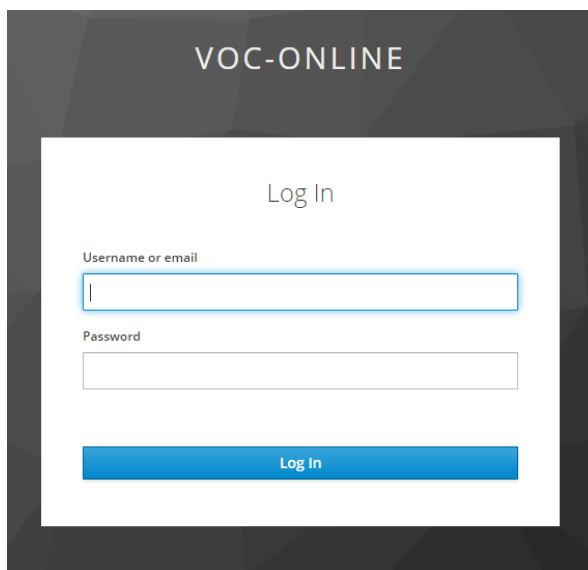
VOC-ONLINE-HANKKEEN TIETOKANTA MITTAUSTULOSTEN DOKUMENTOINTIIN

Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil & Petri Janhunen

Hankkeen toimenpiteessä nro 2 Sähköinen tietokanta kiinteistöjen sisäilmastosta kehitettiin uusia tapoja tallentaa ja esittää hankkeessa mukana olevien tutkimuskohteiden tietoja ja mittaustuloksia sähköisessä muodossa. Hankkeessa kehitettiin nykyaikainen Internet-se-laimella käytettävä rakennustietokanta. Tietokannalla voidaan hallita rakennuskohtaisesti sisäilmatietoa siten, että rakennukset ja niiden ominaiset tiedot ja mittaukset näkyvät vain luvan ja pääsyoikeuden saaneille kohderyhmille ja käyttäjille. On tarkoitus, että tietokanta on hankkeen päättyessä mahdollisuuksien mukaan yritysten sekä kiinteistönomistajien käytössä. Tällä hetkellä tietokanta sijaitsee Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoulun eli Xamkin omalla palvelimella, ja Xamk hallinnoi sitä. Xamk myös hallinnoi tällä hetkellä keskitetysti tietokannan käyttäjienhallinnan.

TIETOKANTAAN KIRJAUTUMINEN

Tietokantaa ei ole tarkoitettu hankkeen tulosten raportointiin yleisölle, vaan tietokantaan kirjaututaan käyttäjätunnuksen ja salasanan avulla (kuva 1).



KUVA 1. VOC-Online-tietokannan kirjautumisnäkymä

Tietokannan käyttäjienhallinta on toteutettu Keycloak-käyttäjienhallintajärjestelmällä. Järjestelmällä pystytään hallinnoimaan tietokannan sisällön näkyvyyttä ja muokattavuutta eri käyttäjille; näin sisällöt näkyvät vain käyttäjille, joilla on niihin katseluoikeus, ja samoin tietojen lisäys- ja muokkausoikeus voidaan rajata vain valtuutetuille henkilöille. Näin tietokantaan voidaan tallentaa hyvinkin sensitiivistä tietoa rakennuksista, sillä rakennusten tietojen näkyvyysasetukset voidaan helposti määrittää siten, kuka saa nähdä ja kuka hallita mitään tietokannassa esiintyvää tietoa.

Tietokannan käyttäjälle voidaan asettaa sekä ryhmiä että rooleja. Käyttäjiryhmät ovat ryhmiä, jotka määntyvät kiinteistön omistajatahojen tai muun hallinnoivan yksikön perusteella. Kun käyttäjä kuuluu tiettyyn ryhmään, näkee hän kyseiseen ryhmään kuuluvat kohteet VOC-Online-tietokannassa. Toisin sanoen rakennusten näkyvyys tietokannassa määrittyy ryhmäasetuksen perusteella. Käyttäjärooleilla puolestaan voidaan asettaa käyttäjiryhmän sisällä ja eri käyttäjille voidaan määrittää eri rooleja eli erilaisia oikeuksia hallita tietokannan sisältöä. Rooli voi olla esimerkiksi ”editor” tai ”admin”. Editor-rooli antaa käyttäjälle muokkausoikeuden kaikkiin kohteisiin, joiden omistajatahona on ryhmä, johon kyseinen käyttäjä kuuluu.

Keycloakin keskitetystä käyttäjienhallinnasta vastaa tällä hetkellä Xamk, ja Xamkin asiantuntijoiden kautta uusien käyttäjien lisäys, hallinta ja luvitus (ryhmät ja roolit) tulevat asetetuiksi.

TIETOKANNAN RAKENNE

Tietokannan tiedot jakautuvat kolmeen päähierarkiaan. Tietokannassa voidaan hallita rakennusdataa eli tietokantaan voi viedä rakennusten tietoja. Eri rakennuksille voidaan syöttää rakennuksen mittauspaikkatietoja ja rakennuksille määritetyille mittauspaikoille voidaan viedä mittauksia. Tietokantaan on tässä vaiheessa syötetty ainoastaan hankkeessa mitatut julkisten rakennusten sisäilmatulokset, mutta sitä on mahdollista laajentaa eli tietokantaan voidaan lisätä käyttäjiryhmiä, ryhmälle kuuluvia kiinteistöjä sekä mittauksia ja muuta aineistoa.

Tietokantaan tallennettiin hankkeen toimenpiteessä nro 1 Kiinteistöjen sisäilmaston laatu elinkaaren eri vaiheissa tutkimuskohteina olleiden julkisessa käytössä olevien rakennusten perustiedot. Rakennusten perustietoja ovat muun muassa rakennuksen käyttötarkoitus, osoite, rakennuksen omistaja sekä ylläpitäjä, rakennusvuosi, runkorakenteen pääasiallinen materiaali, alapohja- ja kattorakenteen tyyppi sekä lämmitysmuoto.

Hankkeessa tutkimuskohteina olevat kiinteistöt olivat erikokoisia, ja suuremmissa kiinteistöissä oli useampi mittauspiste. Monikerroksisissa rakennuksissa jokaisessa kerroksessa oli ainakin yksi mittauspiste. Tietokantaan on mahdollista syöttää myös mittauspisteistä perustietoja, esimerkiksi tilan nimi/numero, kerros, käytetyt lattia-, katto- ja seinämateriaalit sekä ilmanvaihdon tyyppi (kuva 2). Tietokannassa osa tietojen syötöstä tapahtuu alavetovalikoiden avulla, sillä tietokantaan on jo valmiiksi syötetty valittavat vaihtoehdot. Osa kentistä puolestaan mahdollistaa tekstin lisäämisen vapaasti.

Rakennuksen mittauspaikat:

Lisää uusi mittauspaikka: 

Tilan nimi / numero	Kerros	Lattiamateriaali	Kattomateriaali	Seinäateriaali	Ilmanvaihto	Lisätiedot	Mittaustulokset	Muokkaa mittauspaikkaa	Poista mittauspaikka
Kellarin harrastetilla	0	Muovimatto	Betoni	Betoni	Painovoimainen		Avaa		
Toimistuhuone 167	1	Linoleum	Muu	Betoni	Koneellinen tulo ja poisto		Avaa		
Toimistuhuone 271	2	Linoleum	Muu	Betoni	Koneellinen tulo ja poisto		Avaa		
Toimistuhuone 206	2	Linoleum	Muu	Betoni	Koneellinen tulo ja poisto		Avaa		

KUVA 2. Näkymä rakennuksen mittauspistevalikosta

















Tietokantaan on rakennettu hakutoiminto, joka mahdollistaa kohteen etsimisen esimerkiksi käyttötarkoituksen, sijainnin tai rakennusajankohdan perusteella. Tietokannan pääasiallinen tehtävä on palvella dokumenttiarkistona, eli tietokantaan on syötetty hankkeen toimenpiteessä nro 1 tehtyjen sisäilmamittausten tulokset sekä kohteen dokumentoinnissa käytetyt valokuvat ja ilmakehuvausaineistot (dronikuvaus). Tietokantaan syötetyt rakennukset sekä mittaustulokset sisältävät tiedostonhallinnan, jolloin esimerkiksi rakennuksen kuvat, pohjapiirustukset ja mittaustulokset voidaan viedä jossain ulkoisessa formaatissa (esimerkiksi pdf-, jpeg- tai png-tiedostona) järjestelmään, jolloin ne linkittyvät osaksi resurssia, johon ne vietiin.

Mittauspaikan tulososiossa on mahdollista määrittää mittauspaikan nimi, mittauksen ajankohta ja säätila (kesäkausi/talvikausi) sekä mitattava suure. Lisäksi kohdassa Käytetty mittalaite voidaan ilmoittaa mittauksissa käytetty tekniikka sekä joissain tapauksissa sovellettu standardi (kuva 3).

[Takaisin rakennuksen tietoihin](#)

Mittauspaikan **Pääaula** tulokset:

[+Lisää uusi mittaustulos](#)

Mittauksen ajankohta	Sää	Tulokset	Käytetty mittalaite	Lisätiedot	Muokkaa	Poista kohde	Tiedostot
15.6.2018		TVOC	Standardi ISO 16000-6 (VOC-analyysi)				+ Lisää tiedosto VOC-tulokset, S  
19.2.2018	Talvikausi	TVOC	Standardi ISO 16000-6 (VOC-analyysi)				+ Lisää tiedosto VOC-tulokset, S  
7.2.2018	Talvikausi	TVOC	Standardi ISO 16000-6 (VOC-analyysi)				+ Lisää tiedosto VOC-tulokset, S  
7.2.2018	Talvikausi	Mikrobit	Andersen				+ Lisää tiedosto Mikrobitulokset,
13.6.2017		TVOC	Standardi ISO 16000-6 (VOC-analyysi)				+ Lisää tiedosto VOC-tulokset, S

KUVA 3. Mittauspaikan tulospöytä

MITTAUSTULOKSET TIETOKANNASSA

Hankkeessa tutkittiin tutkimuskohteina olevien kiinteistöjen sisäilmaa monipuolisesti. Tutkimuskohteissa mitattiin muun muassa sisäilman mikrobi-, VOC- sekä hiukkaspitoisuutta, lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Lisäksi hankkeessa otettiin materiaali- ja pyyhkäisy-pölynäytteitä. Kaikki nämä tutkimustulokset voidaan syöttää tietokantaan.

Sähköisen tietokannan toimiminen arkistona mahdollistaa tulosten säilymisen ja takaa niiden saavutettavuuden. Tietokannan avulla on mahdollista koota kohteen tiedot ja mitaustulokset yhteen paikkaan, mikä auttaa paremmin hahmottamaan rakennuksessa tehdyt mittaukset ja tutkimukset sekä keräämään historiatietoa rakennuksessa sen elinkaaren aikana tapahtuneista muutoksista.

TIETOKANNAN JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET

Tietokannan avulla voidaan koota yhteen kaikki kiinteistöä koskevat tiedot, mikä mahdollistaa niiden käyttämisen työkaluna esimerkiksi suunniteltaessa mahdollisia saneerauksia tai sisäilmaan liittyviä korjauksia. Suoraan syötettävien tietojen lisäksi tietokantaan voidaan lisätä rakennukseen ja mittauksiin liittyviä, ulkoisessa formaatissa olevia tiedostoja. Näin ollen rakennuksen pohjapiirustuksilla, valo- ja ilmakuville, pöytäkirjoilla ja muulla mittausdatalla voidaan lisätä tietokannan käytettävyyttä kokonaisvaltaisen sisäilmatiedon varastona.

Tietokantaa on mahdollista jatkokehittää helposti vastaamaan laajemmin käyttäjien tarpeita. Tietokanta on kehitetty nk. MERN-stackilla eli MongoDB-, ExpressJS-, ReactJS (Redux)- ja NodeJS-teknologioilla. Käytetyt teknologiat mahdollistavat tietokannan jatkokehittämisen myös tukemaan esimerkiksi erilaisilla online-antureilla mitattavien tietojen vastaanottamista. Tällöin ajantasainen tieto kiinteistön sisäilman laadusta olisi saatavilla yhdestä paikasta.

PAIKKATIEDON JA DROONIKUVAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN VOC-ONLINE-HANKKEEN KOHTEIDEN DOKUMENTOINNISSA

Tuija Ranta-Korhonen & Salla Thil & Esa Hannus

Hankkeen toimenpiteessä nro 2 Sähköinen tietokanta kiinteistöjen sisäilmastosta tutkittiin paikkatiedon sekä pienoiskopterin eli droonin avulla toteutettujen kuvausten ja kuvausmateriaalin hyödyntämistä osana tutkimustietojen tallentamista ja kohteen dokumentoimista. Hankkeessa tutkimuskohteina olevista julkisen puolen rakennuksista kuvattiin droonin avulla seitsemän kohdetta.

PAIKKATIETO- JA KARTTA-AINEISTON HYÖDYNTÄMINEN

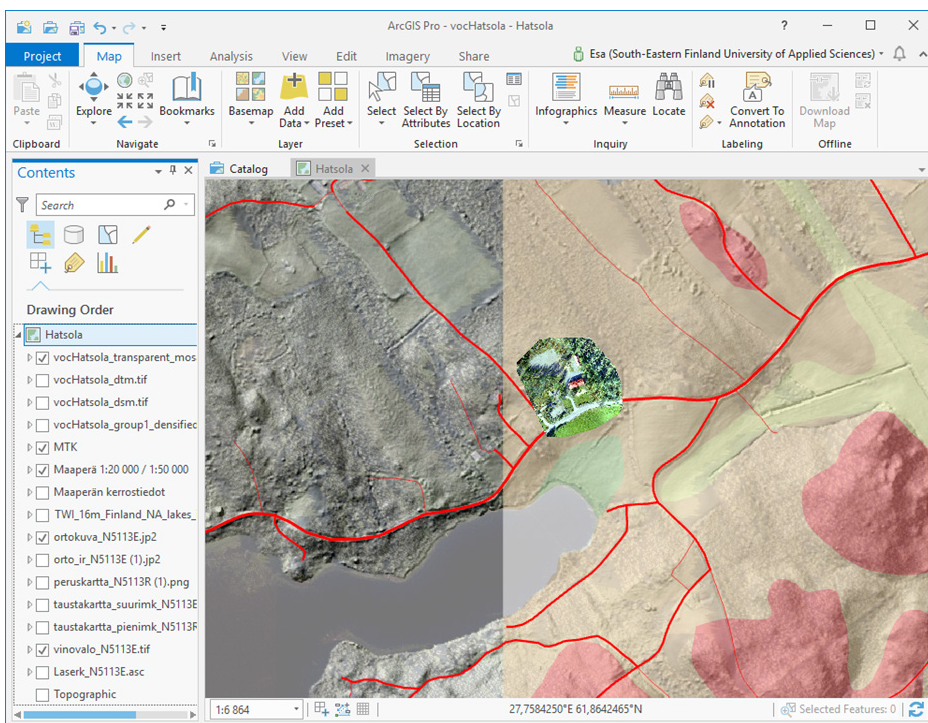
Rakennuksen sijaintipaikan ympäristö ja olosuhteet vaikuttavat rakennuksen ulkovaippaan ja alapohjaan/perustuksiin. Rakennukseen kohdistuu ulkopuolelta muun muassa kosteus-, tuuli- ja lämpötilarastitusta. Nämä tekijät eivät rasita rakennusta tasaisesti, vaan esimerkiksi eri ilmansuuntiin olevat julkisivun osat altistuvat epätasaisesti tuulelle, kosteudelle tai auringonsäteilyn aiheuttamalle lämpökuormalle. Esimerkiksi seinärakenteen suunnittelussa on otettava huomioon niin kutsuttu viistosade, joka syntyy voimakkaan tuulen ja sateen yhdistelmästä. Viistosade tulee yleisimmin lounaan suunnasta. Auringonsäteily puolestaan aiheuttaa eniten kuormitusta kaakon, etelän ja lounaan suuntaisissa julkisivun osissa. (Siikanen 2012.)

Rakennusten kosteusvaurioista suuri osa aiheutuu maakosteuden kerääntymisestä maanvastaisiin rakenteisiin sekä kosteuden kapillaarisesta noususta rakenteissa. Maakosteus on ongelmana etenkin silloin, kun rakennuksen salaojat on rakennettu puutteellisesti, kapillaarikatko on riittämätön tai vahingoittunut ja rakennus sijaitsee paikalla, jonka vallitseva maaperä pidättää kosteutta tehokkaasti (esimerkiksi savi tai muut hienorakeiset maalajit).

Rakennuksessa vallitsevat painesuhteet ja paine-erot tiloissa ja tilojen välillä vaikuttavat kosteuden liikkumiseen rakennuksen rakenteissa. Paine-erot saattavat aiheuttaa myös mahdollisten epäpuhtauksien, kuten hiukkasten tai mikrobien, siirtymistä rakennuksen sisällä. (Tanninen & Viittanen 2017.) Paine-erot rakennuksessa syntyvät osittain myös rakennusten ulkoisten ilmavirtausten vaikutuksesta. Esimerkiksi tuulisella säällä tuulen puoleinen

pinta on ylipaineinen ja suojan puoleinen puolestaan alipaineinen. Jos taas rakennuksen tuulenpuoleinen julkisivu on epätiivis tai epätiivimpi kuin muut julkisivut, aiheuttaa tuuli rakennuksen sisälle ylipaineen. (Sisäilmayhdistys 2008.)

Edellä mainittujen seikkojen vuoksi rakennuksen sijainnilla ja esimerkiksi sen julkisivujen suuntautumisella ilmansuuntiin nähden on suuri merkitys rakennuksen sisäilman laadulle. Kartta- ja paikkatietoaineistoa hyödyntämällä olisi mahdollista tuoda myös rakennuksen ympäristötekijät tarkastelun alaisiksi osana rakennuksen elinkaaren dokumentointia. Kartta-aineiston avulla voidaan selvittää esimerkiksi rakennusta ympäröivän maaperän laatu, pohjaveden tyypillinen pinnankorkeus sekä maaston korkeusvaihtelut. Esimerkki paikkatiedon hyödyntämisestä on nähtävillä kuvassa 1, jossa yleispiirteisempään aineistoon (ortoilmakuva, korkeusmalli ja maaperäkartta) on yhdistetty dronikuvauksella tuotettua tarkempaa kohdekohtaista aineistoa.



KUVA 1. Kuvakaappaus ArcGIS Pro -ohjelman karttanäkymästä

DROONIKUVAUKSEN KUVAMATERIAALIN HYÖDYNTÄMINEN

Droonin avulla tehtävä rakennusten kuvaus ja kuvausmateriaalin pohjalta tehtävä 3D-mallinnus tarjoavat aivan uudenlaisia työkaluja rakennusten dokumentointiin. Droonin avulla päästään kuvaamaan ja tarkastelemaan paikkoja, jotka ovat hankalasti saavutettavissa. Droonikuvaus tarjoaa esimerkiksi mahdollisuuden rakennuksen katon kunnan säännölliseen tarkasteluun ja dokumentointiin. Kuvamateriaalia voidaan hyödyntää myös rakennuksen ennakoivassa kunnossapidossa. Esimerkiksi kuvassa 2 on nähtävissä kuvatun rakennuksen yhden kattokaivon ympärillä selvästi suurempi märkä alue muihin kattokaivoihin verrattuna, mikä saattaa merkitä esimerkiksi kattokaivon tukkeutumista tai muuta ongelmaa kattorakenteessa.

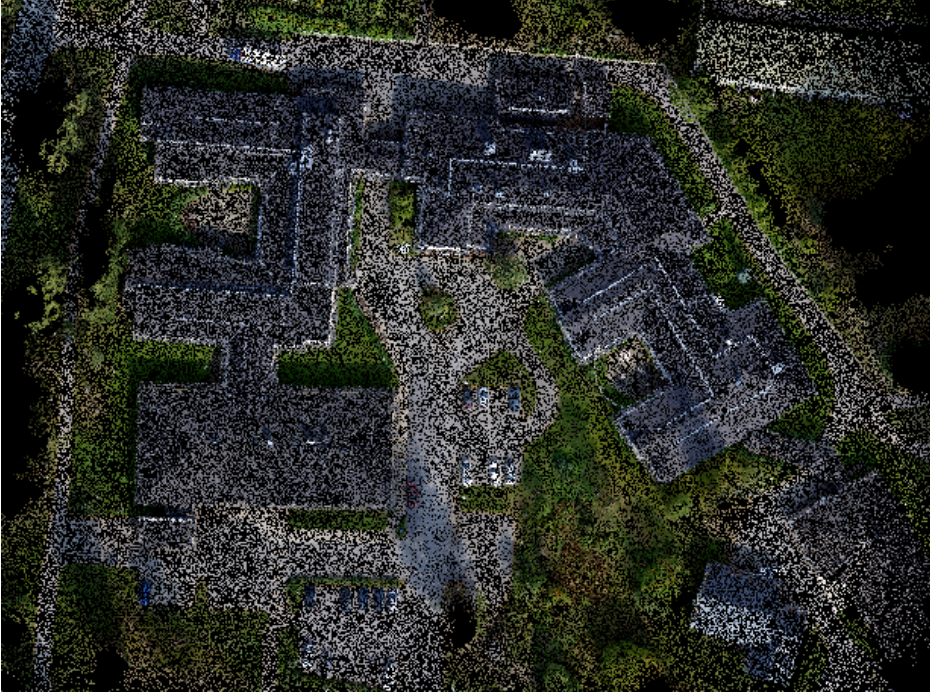


KUVA 2. Esimerkki katon kuvauksesta (kuva Esa Hannus)

Kuvauksen avulla voidaan tutkia ja kartoittaa myös kasvillisuuden sijaintia suhteessa rakennuksiin. Esimerkiksi rakennusta ympäröivillä korkeilla puilla tai lähellä rakennusta sijaitsevalla kasvillisuudella saattaa olla merkitystä rakennusta ympäröivälle mikroilmastolle. Myös ympäröivillä rakennuksilla on oma vaikutuksensa rakennuksen sijaintiympäristössä, sillä ne voivat vaikuttaa muun muassa rakennukseen kohdistuvan tuulen tai auringonvalon voimakkuuteen.

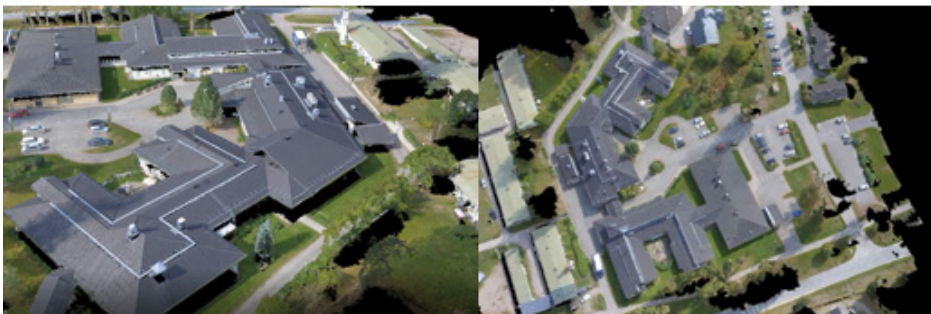
3D-MALLINNUS KUVAMATERIAALIN AVULLA

Tavallisen kuvamateriaalin lisäksi dronikuvauksen tuloksia voidaan hyödyntää myös erilaisten ohjelmistojen avulla tehtävässä kohteiden tarkemmassa dokumentoinnissa. VOC-Online-hankkeessa hyödynnettiin Pix4Dmapper-kuvamallinnusohjelmaa, jonka avulla valokuvista voidaan tuottaa esimerkiksi 3D-pistepilvi, 3D-malli ja kartan tapaan käytettävissä oleva mittatarkka ilmakuva (ortokuva). Kuvassa 3 on esimerkki kuvankäsittelyohjelman tuottamasta pistepilvestä.



KUVA 3. Esimerkki kuvankäsittelyohjelman tuottamasta pistepilvestä (kuva Esa Hannus)

Tuotettu 3D-malli on uskollinen alkuperäiselle kohteelle siten, että siitä voidaan selvittää esimerkiksi kohteen etäisyyksiä, pinta-aloja tai tilavuuksia. 3D-mallin avulla kohdetta ja sen yksityiskohtia voidaan tarkastella vapaasti ja myös todellisuudessa saavuttamattomissa olevista kuvakulmista ja paikoista. Ohjelman tuottaman aineiston avulla voidaan myös tehdä ja tallentaa videona toistettavia kohde-esittelyjä. Kuvassa 4 on esimerkki Pix4Dmapperin avulla tuotetusta 3D-mallista. Kuvat on otettu kuvakaappauksina kuvausten pohjalta tehdystä lentovideosta.



KUVA 4. Kohteen dokumentointia 3D-mallin avulla (kuvat Esa Hannus)

DROONIKUVAUKSEN JA 3D-MALLINNUKSEN JATKOKEHITYSMAHDOLLISUUDET

Rakennuksen sijainti ja sitä ympäröivä kasvillisuus sekä muut rakennukset vaikuttavat tarkasteltavaan rakennukseen kohdistuvaan tuulen, veden ja auringon aiheuttamaan ympäristörasitukseen. Kohteen lähiympäristön maanpinnan muodot ja maanpeite vaikuttavat esimerkiksi sadeveden kulkeutumiseen. Edellä mainittuja eri osatekijöitä ja niiden vaikutuksia voidaan tarkastella ja hahmottaa sekä ymmärtää paremmin, kun niitä koskevat tiedot kootaan yhtenäiseksi kartta- ja paikkatietoaineistoksi ja visualisoidaan eri tavoin. Lisäksi aineistoon voitaisiin yhdistää tiedot kohteen tontin vesi-, viemäri- ja hulevesijärjestelmästä, jolloin niiden sijainti sekä mahdolliset vaikutukset ongelmalähteestä tulisivat havainnolliseksi ja huomioiduiksi. Myös kaikki rakennustekniset piirustukset voi halutessaan liittää paikkatietoaineistoon, mikä mahdollistaisi rakennuksen kokonaisvaltaisen tarkastelun osana ympäristöään.

Uutta, ajantasaista ja tarkkaresoluutioista kartta- ja paikkatietoa kohteesta ja lähiympäristöstä voidaan tuottaa droonikuvauksella. Tuotettu aineisto voi olla kaksi- ja kolmiulotteista. Tarkkojen 3D-pinnanmuotojen ja maanpeitetietojen perusteella voitaisiin laskea, mallintaa ja havainnollistaa sadevesien valumista ja kerääntymistä tontilla ja näin saada lisätietoa kohteen kosteudenhallintaan. Edellä mainittu on mahdollista myös kohteen kattomuotojen ja sadevesijärjestelmän osalta. Lisäksi kohteen ja sen ympäristön 3D-malli antaa mahdollisuuden tarkastella ja mallintaa valon, varjon ja tuulen vaikutuksia.

Droonikuvaus ja sen avulla tehtävä dokumentointi ja 3D-mallinnus tarjoavat uudenlaisia työkaluja myös kiinteistöjen kuntokartoitukseen ja kunnossapitoon. Mikäli droonikuvauksessa otetaan kuvia erilaisilla spektrikameroilla, joilla kuvataan näkyvän valon ulkopuolisilla aallonpituuksilla, voitaisiin esimerkiksi helpommin paikallistaa rakenteiden pinnoille kerääntynyttä kasvillisuutta tai kosteutta. Käyttämällä droonissa lämpökameraa voitaisiin muun muassa paikallistaa lämpövuotoja. Droonikuvaukseen yhdistetty konenäkö ja koneoppiminen sekä tekoälyn hyödyntäminen voisivat auttaa ennakoimaan ja suunnittelemaan esimerkiksi rakennuksen kattorakenteiden tai muiden vaikeammin saavutettavien osien huoltotoimenpiteitä.

LÄHTEET

Siikanen, U. 2012. Rakennusten lämpö- ja kosteusfysikaalisia näkökulmia. Rakentajan kalenteri 2012.

Sisäilmayhdistys 2008. Ilmavirtaukset rakennuksessa. <https://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Kosteusvauriot/Kosteustekninen-toiminta/Ilmavirtaukset-rakennuksessa>.

Tanninen, J. & Viittanen, A. 2017. Paine-eron vaikutus sisäilmassa olevien hiukkasten ja mikrobien määrään. Opinnäytetyö. Koulutus- ja kehittämispalvelu Aducate, Itä-Suomen yliopisto.

SISÄILMAN VOC-PITOISUUKSIEN MITTAUKSESSA KÄYTETTYJEN LAITTEIDEN VERTAILU

Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen

VOC-online-hankkeen toimenpiteessä nro 3 VOC-anturin ja online-seurannan kehittämisen sisäilman laadunhallintaan etsittiin sopivia teknologioita VOC-yhdisteiden mittaamiseen ja online-seurantaan. Hankkeella oli kokeiltavana eri tekniikoihin perustuvia mittalaitteita, joiden antamia mittaustuloksia vertailtiin keskenään ja pyrittiin hahmottamaan niiden käyttökelpoisuutta sisäilman VOC-yhdisteiden mittaamisessa.

Toimenpiteessä 3 suoritettiin vertaileva tutkimus eri teknologioita käyttävien VOC- ja TVOC-analyysilaitteiden ja -menetelmien välillä mittaamalla sisäilman VOC-yhdisteitä samanaikaisesti samasta näytepisteestä kaikilla valituilla menetelmillä. Tutkimuskohteena oli vuonna 2017 rakennettu talo, jonka runkorakenne muodostuu neljästä toisiinsa liitetystä metallirunkoisesta kontista. Konttirunkoon oli rakennettu eristys, ulko- ja sisäverhoilu sekä luonnollisesti tarvittavat talotekniset laitteistot. Rakennuksessa on olohuone-keittiö-tila, makuuhuone sekä kodinhoituhuone, pesuhuone, sauna, wc ja tekninen tila. Rakennuksen huoneistoala on 56 m². Tutkimushetkellä rakennus oli asumaton, mutta tilojen ilmanvaihto oli toiminnassa. Myös rakennuksen olohuone-keittiö-tilan ilmalämpöpumppu oli käynnissä tehtyjen mittausten aikana. Mittaukset tehtiin rakennuksen olohuone-keittiö-tilassa.

KÄYTETYT MITTALAITTEET

Vertailevassa mittauksessa käytettiin kannettavaa GC-IMS-tekniikkaan perustuva analysaattoria, TSI Airflow 465P -mittaria ja siihen liitettyä VOC-anturia, eräältä talotekniikka-alan yritykseltä käyttöön saatua TVOC-anturia ja Envic Oy:n valmistamaa GDU Multisens -anturia. Lisäksi samanaikaisesti muiden mittausten kanssa otettiin tutkittavan tilan sisäilmasta TVOC-näyte standardin ISO 16000-6 mukaisesti Tenax TA -putkeen, jotka analysoitiin ulkopuolisessa laboratoriossa.

TSI Airflow 465P -mittaria ja siihen liitettyä TVOC-anturia sekä GDU Multisens antureita käytettiin koko hankkeen ajan myös toimenpiteessä nro 1 Kiinteistöjen sisäilmaston laatu elinkaaren eri vaiheissa tehdyissä sisäilmatutkimuksissa. Toimenpiteessä nro 3 järjestetty vertaileva tutkimus tehtiin kesäkuussa 2018. Tutkimuksessa analysaattorit asetettiin mittaamaan sisäilman TVOC-pitoisuutta keittiön työtasolle vierekkäin ja Tenax TA -putkeen

otettava näyte otettiin analysaattoreiden välittömästä läheisyydestä. Mittaustilanne ja käytetyt laitteet ovat nähtävissä kuvissa 1 ja 2.

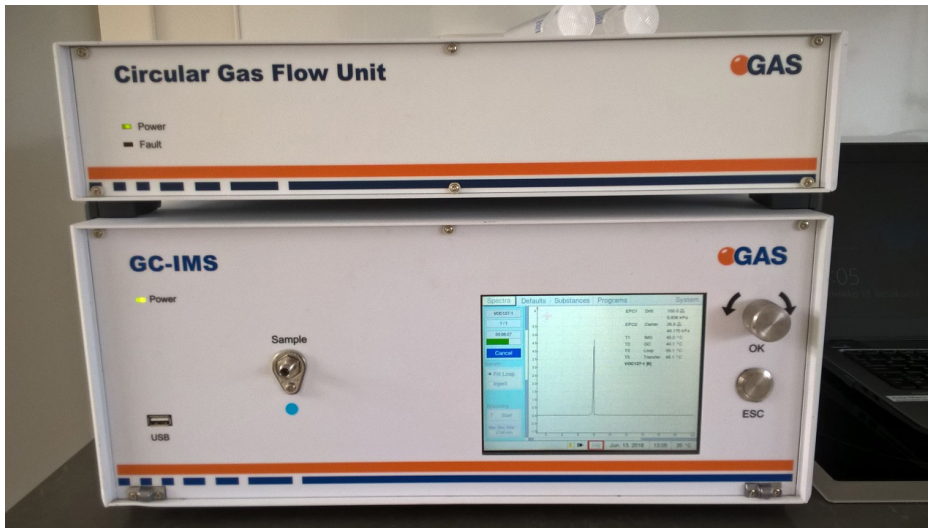


KUVA 1. Mittaustilanne ja -laitteet (kuva Salla Thil)



KUVA 2. Mittaustilanne TVOC-mittareilla (kuva Salla Thil)

Kannettava GC-IMS-analysaattori on kaasukromatografiaa ja ioniliikkukuvaspektrometria yhdistävä laite esimerkiksi VOC-yhdisteiden analysointiin (kuva 3). Toimenpiteessä 3 suoritettussa tutkimuksessa sisäilmanäyte kerättiin suoraan laitteen pumpulla huoneilmasta kymmenen sekunnin ajan analysaattoriin. Lisäksi näytteitä otettiin lattian, sohvan ja keittiötason pinnoista steriiliin ruiskuun, josta näyteilma siirrettiin analysaattoriin. Näytteiden analysointi suoritettiin myöhemmän ajankohtana analysaattorin oman ohjelmiston ja yhdistekirjaston avulla.



KUVA 3. Kannettava GC-IMS (kuva Salla Thil)

TSI Airflow TA465-P ja siihen liitettävä TVOC-anturi mittaa TVOC-pitoisuuden lisäksi ilman lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja hiilidioksidipitoisuutta. TVOC-yhdisteiden mittausta perustuu PID-teknologiaan (fotoionisaatiotunnistus). TSI Airflow -mittarilla analysoitiin ilman VOC-pitoisuutta antamalla anturin lukemien tasaantua ja kirjaamalla lukemat muistiin.

Talotekniikka-alan yritykseltä koekäyttöön saadun anturin havaitsemisraja alkaa noin 400 ppm:stä, ja tulos luetaan anturiin liitettävän jännitemittarin kautta. Jännitemittarilla mitattu jännite muutetaan sisäilman TVOC-pitoisuudeksi taulukon avulla siten, että tietty jännite vastaa tiettyä TVOC-pitoisuutta.

Envic Oy:n GDU Multisens -mittari monitoroi ilman TVOC-pitoisuutta, lämpötilaa, suhteellista kosteutta ja CO₂-pitoisuutta. Mittarin avulla on hankkeessa suoritettu sisäilmatutkimuksia asettamalla anturi loggaamaan 15 minuutin välein yhden viikon ajaksi, jolloin on saatu kokonaiskuva VOC-pitoisuuden vaihtelusta eri vuorokaudenaikoina ja viikonpäivinä. Toimenpiteessä 3 suoritettussa vertailevassa tutkimuksessa loggausvälinä käytettiin yhtä minuuttia ja mittari asetettiin mittaamaan tunnin pituisen mittausjakson ajan. GDU Multisens -mittarin TVOC-anturi vaatii säännöllisen puhdistuksen/kalibroinnin puhtaassa ilmassa. Hankkeessa sopivaksi puhdistusväliksi todettiin yhden viikon välein tapahtuva puhdistus, jolloin loggauksella saadun tuloksen arvioitiin vielä pysyvän luotettavana.

Asumisterveysoppaan (2009) mukaan sisäilman haihtuvat orgaaniset yhdisteet tulee määrittää standardin ISO 16000-6 mukaisesti. Standardin mukaan sisäilmanäyte kerätään pumpulla adsorbenttia sisältävään Tenax TA -metalliputkeen hiljaisella virtauksella siten,

että näytteen kokonaistilavuus on 9–15 litraa. Hankkeessa suoritetuissa näytteenotoissa ilmanäytteen keräysaikana käytettiin 45 minuuttia ja pumpun virtaama säädettiin noin 0,2 litraan minuutissa.

Näyte lähetettiin ulkopuoliseen laboratorioon analysoitavaksi, jossa näyte käsiteltiin termodesorptiolla ja analysoitiin kaasukromatografi-massaspektrometrialitteistolla. Yhdisteet tunnistettiin retentioajan sekä kirjastohaun perusteella (kirjasto NIST11) ja niiden pitoisuudet laskettiin tolueniekvivalenttina. (Mikrobioni 2018.)

Hankkeessa tehtiin myös yhteistyötä Environics Oy:n kanssa. Osana vertailevaa tutkimusta Environics Oy:n edustaja kävi tekemässä mittauksia Chempro 100i -kemikaali-ilmaisimella hankkeen tutkimuskohteessa. Mittauksen tarkoituksena oli selvittää, antaako ilmaisin vastetta tilan sisäilmassa esiintyvillä VOC-yhdisteille. Samaan aikaan Chempro 100i:llä tehtyjen mittausten kanssa tutkittavasta tilasta otettiin myös sisäilmanäyte pumpulla Tenax TA -adsorbenttiputkeen. Laboratorioanalyysien mukaan mittauskohteen sisäilman TVOC-pitoisuus oli mittaushetkellä 130 µg/m³, ja tunnistamattomia yhdisteitä oli 37 µg/m³ (29 % yhdisteistä). Suurin yhdisteryhmä oli terpeenien ryhmä.

Chempro 100i ei laitevalmistajan mukaan varsinaisesti analysoi näyteilmaa, vaan laite on tehty ilmaisemaan ja luokittelemaan ilmassa olevat kemikaalit. Ilmaisimessa vertaillaan saatuja mitaustuloksia laitteen omaan kaasukirjastoon, ja jos kirjastossa määritellyt hälytysalgoritmit ylittyvät, ilmaisimessa hälyttää. Tulokset Chempro100i ilmaisimessa suhteellisin arvoina, eikä ilmaisimen antama indikaatio viittaa suoraan esimerkiksi jonkin tietyn VOC-yhdisteen esiintymiseen tai yhdisteen korkeaan pitoisuuteen. Tutkimuskohteena olleen konttitalon sisäilmasta Chempro 100i ei antanut vastetta, tai vaste oli merkityksettömän pientä. Tenax TA -putkeen otetun näytteen analyysitulokset ja Chempro 100i -laitteen vaste ei siis ollut vertailtavissa. (Saarinen 2019.)

TULOKSET

Toimenpiteessä 3 suoritetussa vertailututkimuksessa TSI Airflow -anturin ilmoittama TVOC-pitoisuus vaihteli mittausajanjaksolla 50–80 µg/m³. Talotekniikka-alan yritykseltä käyttöön saatu TVOC-mittari pysytteli havaitsemisrajansa pitoisuudessa: TVOC noin 430 µg/m³. GDU Multisens -mittarin TVOC-pitoisuus vaihteli mittausajanjaksolla 170–466 µg/m³ keskiarvolla 252 µg/m³. Standardin ISO 16000-6 mukaisesti kerätyn ilmanäytteen TVOC-pitoisuus oli 200 µg/m³.

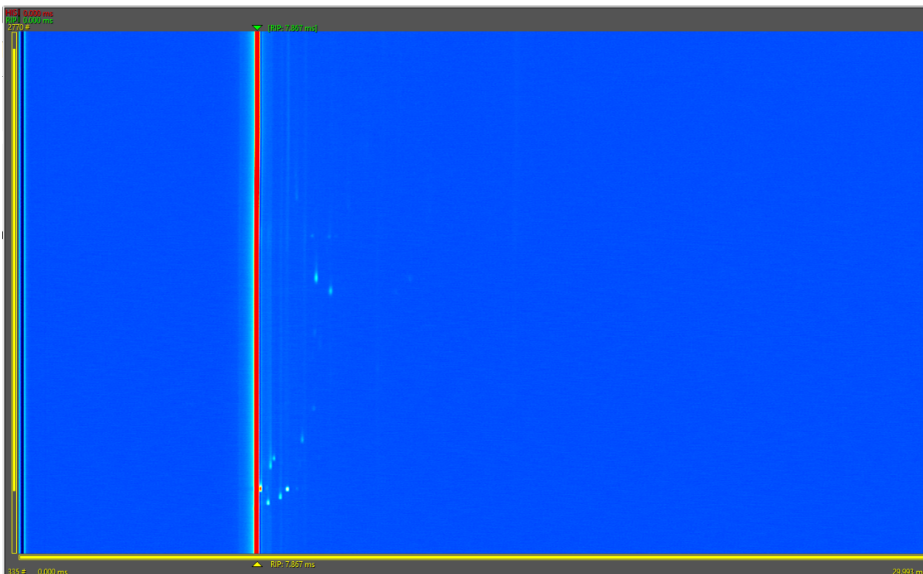
Taulukossa 1 on esitetty TSI Airflow'n, talotekniikka-alan yritykseltä käyttöön saadun ja GDU Multisens -mittareiden ilmoittamat lukemat ja pitoisuudet samanaikaisesti mitattuna. Lisäksi taulukossa on GDU Multisens -mittarin lukemat keskiarvona yhden tunnin mittausajanjaksolta sekä standardin ISO 16000-6 mukaisesti määritetty TVOC-pitoisuus.

TAULUKKO 1. Vertailumittauksen tulokset

Mittari Suure	TSI Airflow	Talotekniikka-alan yrityksen mittari	GDU Multisens	GDU Multisens (1 h ka)	Tenax TA -menetelmä
TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	50	<430	243	252	200
Lämpötila ($^{\circ}\text{C}$)	25,5	-	25,1	24,6	-
Suhteellinen kosteus (% RH)	21,9	-	23,2	23,8	-
CO_2 (ppm)	515	-	547	520	-

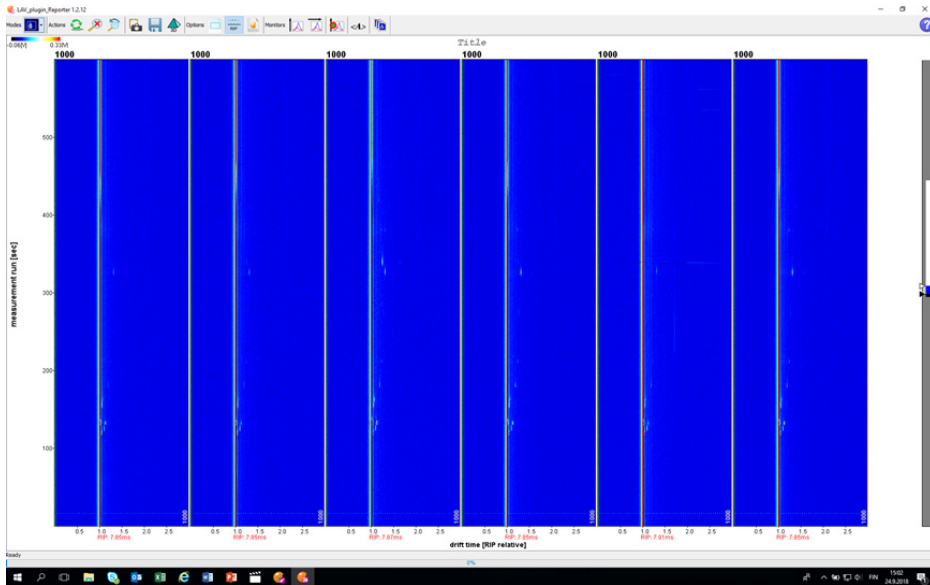
GC-IMS-laitteella otettujen näytteiden analysointiin käytettiin analysaattorille kehitettyä ohjelmaa. Ohjelma analysoi yhdisteet niiden retentioaikojen perusteella ja esittää signaalit kuvan 4 osoittamalla tavalla. Kuvassa vaaleat pisteet punaisen viivan oikealla puolella kuvaavat löydettyjä yhdisteitä. Mitä voimakkaampi ja laajempi väri signaalilla on, sitä suurempi on yhdisteen pitoisuus näytteessä.

Ohjelman esittämien signaalien perusteella ei voida vielä päätellä näytteiden sisältämien yhdisteiden laatua tai määrää, vaan tulosten tarkastelu vaatii jokaisen signaalin tarkastelun yksilöittäin. Signaalit tulee merkitä, jolloin niitä pystytään etsimään kirjastoista ja näin tunnistamaan yhdisteitä. VOC-online-hankkeessa tutustuttiin laadulliseen tunnistamiseen, mutta määrällistä laskentaa ei analysoinnissa käytetty.



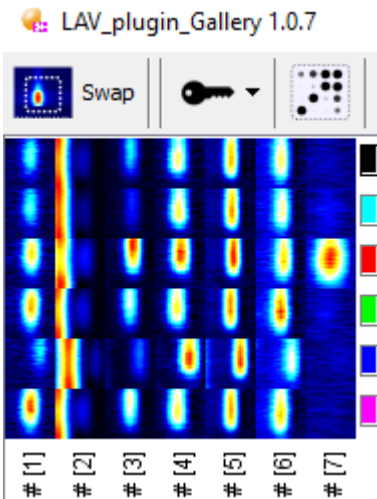
KUVA 4. Lattian pinnasta otetun näytteen antamat signaalit

GC-IMS-laitteella otettujen näytteiden perusteella voidaan tehdä suuntaa antavia johtopäätöksiä VOC-päästöjen lähteestä. Vertailtavia näytteitä voidaan kerätä vierekkäin kuvan 5 osoittamalla tavalla, jolloin voidaan havaita näytteiden sisältämien VOC-pitoisuuksien erot. Kun tilasta otettujen näytteiden antamat signaalit kerätään yhteen kuvan 6 osoittamalla tavalla, voidaan vertailla eri näytteiden signaalien voimakkuuksia tarkemmin. Kustakin näytteestä merkitään löydetyt signaalit, jolloin ohjelma automaattisesti etsii valituista näytteistä vastaavat pisteet ja kokoaa ne taulukkoon.



KUVA 5. GC-IMS-tulosten vertailu

Kuvassa 6 jokainen vaakarivi kuvaa yhtä näytettä ja jokainen pystyrivi, kuvassa numerot 1–7, kuvaa eri yhdisteitä. Signaalien esiintyvyyttä ja voimakkuutta havainnoimalla voidaan jäljittää VOC-emissioiden päästölähdettä. Mitä voimakkaampi ja laajempi väri signaalilla on, sitä suurempi pitoisuus yhdistettä on näytteessä. Vastaavasti punaisen ja keltaisen värin puuttuessa yhdistettä ei näytteessä ole lainkaan.



KUVA 6. GC-IMS-laitteen antamien signaalien vertailu

Tässä kokeessa otettujen kuuden näytteen perusteella voidaan signaaleja vertaamalla esimerkiksi havaita kuvassa 6 kolmannella rivillä olevan näytteen sisältävän yhdistettä (nro 7), jota muissa näytteissä ei ollut. Myös usean muun yhdisteen signaali on kolmantena olevassa näytteessä voimakkaampi kuin muissa näytteissä. Kyseinen näyte on otettu lattian pinnasta, joten analyysin perusteella VOC-emissioiden jatkotutkimuksia voidaan kohdistaa lattiaan. Kyseisen analyysin perusteella ei kuitenkaan voida vielä tehdä laadullista analyysiä. Näytteiden sisältämien yhdisteiden tunnistaminen vaatii oikean kirjaston käyttämistä ja huolellista tutkimustyötä, jossa jokainen signaali tulee kokeilemalla etsiä kirjaston tietokannasta.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Suoraan luettavien, kannettavien TVOC-mittareiden ilmoittamat VOC-pitoisuudet ovat lähinnä suuntaa antavia. Koska hankkeessa suoritettussa vertailututkimuksessa käytettyjen antureiden ja menetelmien antamat tulokset perustuvat eri teknologioihin ja menetelmiin, eivät tulokset ole täysin vertailukelpoisia.

TSI Airflow -mittari ilmoitti TVOC-pitoisuudeksi mittaushetkellä muita antureita huomattavasti pienemmän pitoisuuden. Verrattuna GDU Multisens -anturin TVOC-lukemaan ja Tenax TA -putkeen otettuun näytteeseen TSI Airflow'n ilmoittama TVOC-pitoisuus ei vaikuttanut vastaavan sisäilman todellista pitoisuutta eikä anturi vaikuttaisi soveltuvan sisäilman TVOC-pitoisuuden mittaamiseen. Tätä tulosta tukee myös pitkin hanketta suoritettujen sisäilmamittaukset, joissa TSI:n anturia käytettiin TVOC-pitoisuuden määrittämiseen. Pitoisuus oli anturilla mitattuna hyvin poikkeava samaan aikaan samassa tilassa standardin ISO 16000-6 mukaan otettujen näytteiden tulosten kanssa.

Talotekniikka-alan yritykseltä käyttöön saatu TVOC-anturi sopii ilmaisemaan vain korkeita lukemia, eli jos TVOC-pitoisuudet ovat yli $430 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Asuintiloissa kyseinen anturi käytännössä ilmaisee vain asumisterveysasetuksessa ilmoitetun TVOC-raja-arvon $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ylittymisen. Anturia voidaan käyttää sisäilmatutkimuksissa sisäilman laadun selvittämisessä, mutta tarkemman TVOC-pitoisuuden ja mahdollisten yksittäisten yhdisteiden raja-arvojen ylittämisen selvittämiseksi tulee käyttää muita teknologioita tai menetelmiä.

Envic Oy:n GDU Multisens -mittarin ilmoittama TVOC-pitoisuus oli hyvin lähellä Tenax-putkeen otetun näytteen TVOC-pitoisuutta. Tuloksen perusteella GDU Multisens -mittari ilmaisee luotettavasti suuntaa antavan TVOC-pitoisuuden ja reagoi pitoisuuden vaihteluun herkästi. Käytetyistä menetelmistä GDU Multisens -anturi soveltuu parhaiten sisäilman laadun seurantaan.

TSI Airflow -mittarin ja GDU Multisens -mittarin ilmaisemat lämpötilat, suhteelliset ilmankosteudet ja hiilidioksidi-pitoisuudet vastasivat melko hyvin toisiaan. Näiden suureiden osalta molemmat mittarit soveltuvat sisäilman laadun monitorointiin.

GC-IMS-analysaattori sopii sisäilmatutkimuksien osalta parhaiten tilanteeseen, jossa halutaan selvittää jonkin tietyn yksittäisen yhdisteen tai yhdisteiden mahdollinen esiintyvyys sisäilmassa. Sen sijaan näytteen sisältämien kaikkien yhdisteiden tunnistaminen ja pitoisuuksien määrittäminen on esimerkiksi standardin ISO 16000-6 menetelmään verrattuna vielä työläs ja vaatii vahvaa kemian tietämystä.

LÄHTEET

Asumisterveysopas, Sosiaali- ja terveysministeriön Asumisterveysohjeen (STM:n oppaita 2003:1) soveltamisopas. Ympäristö ja Terveys -lehti 2009. Vaasa 2009.

Mikrobioni 2018. Laboratorioanalyysien tulosraportit.

Saarinen, M. 2019. VOC-Online-hankkeen käyttöön luovutettu Environics Oy:n tutkimusraportti.

VOC-ONLINE-HANKKEEN LABORATORIOKOKKEET – RAKENNUSMATERIAALIEN JA MIKROBIEN EMITTOIMAT VOC-YHDISTEET

Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen

VOC-Online-hankkeen toimenpiteessä nro 3 VOC-anturin ja online-seurannan kehittäminen sisäilman laadunhallintaan järjestettiin kolme erillistä laboratoriokoetta, joiden tarkoituksena oli tutkia, minkälaisia VOC-yhdisteitä kosteuden vaurioittamista rakennusmateriaaleista ja niillä kasvavien mikrobin aineenvaihdunnasta emittoituu. Tiettyjen VOC-yhdisteiden on ajateltu olevan niin sanottuja MVOC-yhdisteitä (Microbial Volatile Organic Compounds), ja niitä pitäisi siten löytyä erityisen paljon kosteusvaurioituneiden rakennusten sisäilmasta. Eri lähteissä MVOC-yhdisteinä on pidetty esimerkiksi 3-metyylifuraania, 3-metyyli-1-butanolia, dimetyylidisulfidia, 2-heptanonia, 1-okten-3-olia ja 3-oktanonia. Jos olisi mahdollista osoittaa tiettyjen MVOC-yhdisteiden aina esiintyvän nimenomaan kosteusvaurioituneissa tiloissa, voitaisiin kehittää anturi nimenomaan kyseisten yhdisteiden havaitsemiseen. Tämä tarkoittaisi sitä, että kosteusvauriot olisi mahdollista havaita mittausten avulla jo hyvin varhaisessa vaiheessa.

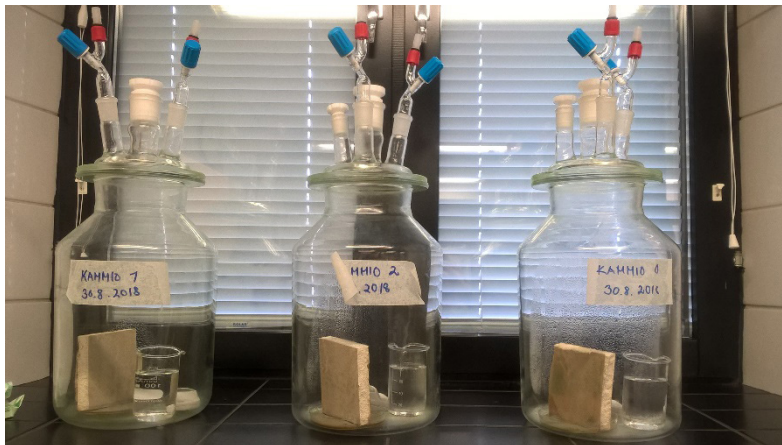
MENETELMÄT

Hankkeen aikana tehtiin kolme eri kammiokoetta, joissa käytettiin eri rakennusmateriaaleja, mikrobeja ja kasvatusaikoja. Ensimmäisessä ja toisessa kokeessa tutkittavana rakennusmateriaalina oli kipsilevy, jolle istutettiin *Penicillium expansum*- ja *Aspergillus westerdijkiae*-mikrobeja. Kolmannessa kokeessa tutkittavana rakennusmateriaalina käytettiin höylättyä mäntyä ja mikrobina oli *Serpula lacrymans* -sieni (lattiasieni). Kolmannessa kokeessa mikrobin kasvatusalustalle lisättiin varsinaisen tutkittavan materiaalin lisäksi kalkkia ja pala mineraalivillaa, koska tutkimusten mukaan *Serpula lacrymans* -sieni viihtyy olosuhteissa, joissa on puun lisäksi saatavilla kyseisiä materiaaleja. Kokeet pyrittiin suorittamaan lämpö- ja kosteusolosuhteissa, jotka ovat otollisia kyseisen sienen kasvuille. Tutkimukset suoritettiin lasikkamioissa (tilavuus 5 litraa), jotka oli mahdollista sulkea tiiviisti lasikannella. Kammioiden kannessa oli läpivientejä, jotka kokeen ajaksi suljettiin tiiviillä, lasista ja teflonista valmistetuilla hioskorkeilla.

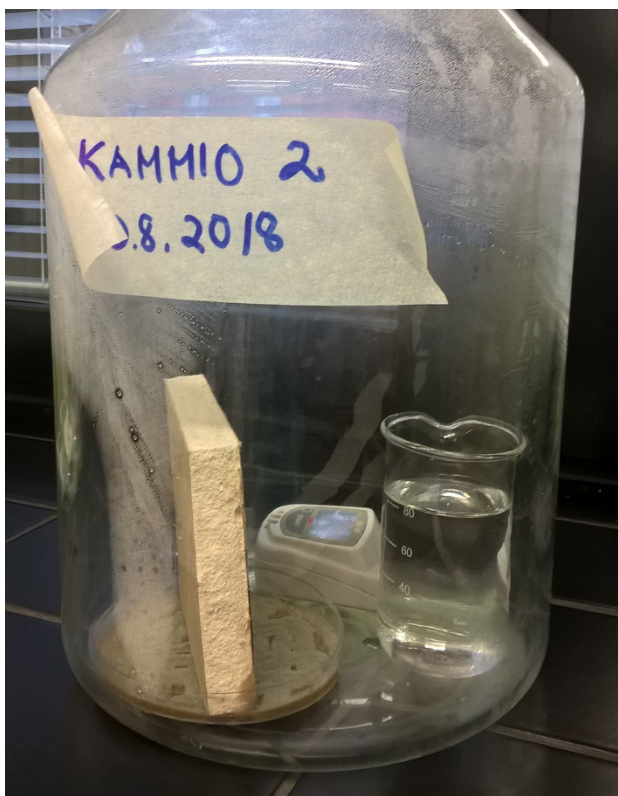
Ennen kokeiden aloitusta kaikki kokeissa käytettävät tarvikkeet ja materiaalit steriloidtiin autoklaavissa ja kammioiden kokoaminen suoritettiin aseptisesti. Jokaisessa kokeessa valmistettiin rinnakkaiset kammiot (1 ja 2) ja vertailuksi vastaava puhdas kammioiden. Kammioiden 1 ja 2 asetettiin petrimaljat, joille oli valettu M2%-agar ja kasvatettu kokeeseen valittuja mikrobeja. Vertailunäytteenä toimivaan 0-kammioon asetettiin petrimalja, jolle oli valettu M2%-agar mutta ei siirrostettu mikrobeja.

Kammioiden asetettiin dekanterilasit, joissa oli 80 ml steriiliä vettä kosteuden ylläpitämiseksi, sekä Ebro EBI-20 TH-1 -kosteus- ja lämpötila-anturit olosuhteiden seuraamiseksi. Poikkeuksellisesti kokeessa kolme vettä käytettiin 30 ml. Suhteellinen kosteus oli kokeiden 1 ja 2 ajan kammioiden 95–100 % ja lämpötila noin 21–25 °C. Kokeessa 3 kasvatuslämpötila oli 4 °C ja suhteellinen kosteus 99,9 %.

Kaikki kokeessa käytettävä materiaali petrimaljoja ja mikrobeja lukuun ottamatta steriloidtiin 15 minuutin ajan autoklaavissa. Kolmannessa kokeessa käytettyjä mäntypalikoita liuotettiin vedessä viisi vuorokautta kosteuden imeytymiseksi, minkä jälkeen palat käsiteltiin autoklaavissa kaksi kertaa 20 minuutin ajan. Tällä tavalla pyrittiin varmistamaan, että materiaali olisi kontaminoitunut ainoastaan halutulla mikrobilla. Koejärjestelyt on esitetty kuvissa 1 ja 2 sekä taulukossa 1.



KUVA 1. Koejärjestely 2 (kuva Salla Thil)



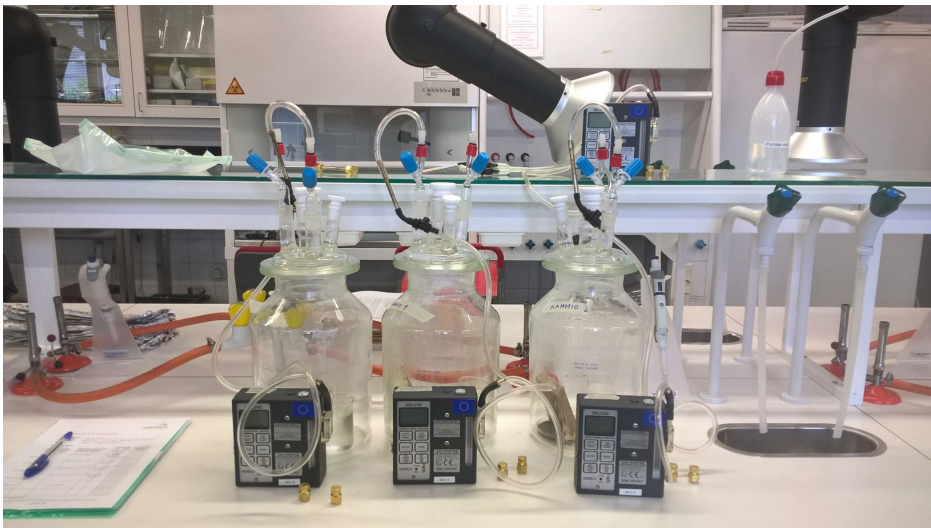
KUVA 2. Koejärjestely 2, kammio 2 (kuva Tuija Ranta-Korhonen)

TAULUKKO 1. Koejärjestely

Koe	Altistus-/kasvatusaika	Käytetty rakennusmateriaali	Käytetyt mikrobit	Analysit
1	30.5.-28.6.2018	kipsilevy	Penicillium expansum, Aspergillus westerdijkiae	VOC, bulk-VOC, lämpötila, suhteellinen ilman- kosteus
2	30.8.-11.10.2018	kipsilevy	Penicillium expansum, Aspergillus westerdijkiae	VOC, bulk-VOC, lämpötila, suhteellinen ilman- kosteus
3	15.11.2018-11.2.2019	höylätty mänty	Serpula lacrymans (lattiasieni)	VOC, bulk-VOC, lämpötila, suhteellinen ilman- kosteus

Mikrobien annettiin kasvaa rakennusmateriaaleilla 4–12,5 viikon ajan. Kokeen lopussa kammioiden ilmasta otettiin kannen läpivientien kautta pumppujen avulla VOC-näytteet Tenax TA -putkiin (kuva 3), jotka lähetettiin analysoitaviksi Mikrobioni Oy:n laboratorioon. Lisäksi kokeissa käytetyt rakennusmateriaalit (kipsilevy, höylätty mänty) lähetettiin Mikrobionille bulk-VOC-analyysia varten.

Kokeessa 1 kammioiden sisäilmasta otettiin Tenax TA -putkeen näytettä viisi litraa eli käytännössä koekammion koko tilavuus. Koska kammioiden sisäilmassa VOC-yhdisteitä oli paljon ja eri yhdisteiden pitoisuudet olivat hyvin suuret, osoittautui näin suuri näytetilavuus analytiikan kannalta hankalaksi. Tämän vuoksi kokeessa 2 kammioiden sisäilmasta kerättiin näytettä ainoastaan kaksi litraa. Kokeessa 3 kammioiden sisäilmasta otettiin sekä 0,5:n että 1 litran näytteet. Lisäksi jokaisen kokeen näytteenoton yhteydessä otettiin tulosten tulkinnan tueksi VOC-näytteet myös ympäristölaboratorion sisäilmasta standardin ISO 16000-6 mukaisesti. Ilma- ja materiaalinäytteistä analysoitiin laboratoriossa TVOC-pitoisuudet ja yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet.



KUVA 3. VOC-näytteenotto Tenax TA -putkiin (kuva Salla Thil)

Kokeiden tuloksissa tulee ottaa huomioon, että mikrobien aineenvaihduntatuotteina emittoituvien VOC-yhdisteiden (MVOC) muodostuminen on riippuvainen mikrobin elinkaaren vaiheesta, kasvualustasta, itämisajasta, ravintoaineista, lämpötilasta ja suhteellisesta kosteudesta (Salo 2014). Näin ollen kokeiden tulokset ovat verrattavissa vain tässä kokeessa käytettyjen menetelmien mukaisiin tuloksiin. Lisäksi tulosten tarkastelussa on huomioitava vaurioitumattomista rakennusmateriaaleista itsestään emittoituvat VOC-päästöt. Kipsilevyn ja käsittelemättömän männyn tunnistettuja emissioyhdisteitä on lueteltu taulukossa 2.

Taulukko 2. Kipsilevystä ja höylätystä männystä emittoituvia VOC-yhdisteitä (Aikivuori 2001, Lämpöpuuyhdistys ry 2003)

Rakennusmateriaali	Emittoituvat VOC-yhdisteet
Kipsilevy	1-butanoli, dekaani, 2-etyyli-1-heksanoli, 2-fenoksietanoli
Höylätty mänty	alfapineeni, kamfeeni, limoleeni, heksanaali, furfuraali, etikkahappo

TULOKSET

Ensimmäisten kammiokokeiden 0-kammion materiaalinäyte oli kontaminoitunut, jolloin materiaalin pinnalle ja alustalle alkoi noin kahden viikon vaikutusajan jälkeen kasvaa määrittelemätöntä mikrobikasvustoa. Näin ollen kokeessa ei saatu puhdasta näytettä vertailuaineistoa varten. 0-kammion materiaalinäytteen TVOC-pitoisuus oli 32 µg/m³, josta 9 µg/m³ oli tunnistamattomia yhdisteitä. Kammion ilmanäytteen TVOC-pitoisuus oli >1600 µg/m³, joista tunnistamattomien yhdisteiden osuus oli >430 µg/m³.

Kammion 2 materiaalinäytteen TVOC-pitoisuus oli 130 µg/m³, josta tunnistamattomia yhdisteitä oli 120 µg/m³ ja ilmanäytteen TVOC-pitoisuus oli >1600 µg/m³, josta tunnistamattomien yhdisteiden pitoisuus oli >1300 µg/m³.

Kammion 3 materiaalinäytteen TVOC-pitoisuus oli 46 µg/m³ (tunnistamattomia yhdisteitä 35 µg/m³) ja ilmanäytteen TVOC-pitoisuus >1100 µg/m³ (tunnistamattomia yhdisteitä >930 µg/m³).

Näytteissä oli yksittäisiä tunnistamattomia yhdisteitä, jotka ylittivät analyysimenetelmän mittausalueen, joten tulosten TVOC-pitoisuudet ovat vain viitteellisiä todellisten pitoisuuksien ollessa ilmoitettua korkeampia (Mikrobioni 2018). Taulukossa 3 on esitettynä kokeen 1 materiaalinäytteiden VOC-tulokset yhdisteryhmittäin ja taulukossa 4 kokeen 1 ilmanäytteiden VOC-tulokset yhdisteryhmittäin.

TAULUKKO 3. Kokeen 1 materiaalinäytteiden tulokset (Mikrobioni 2018)

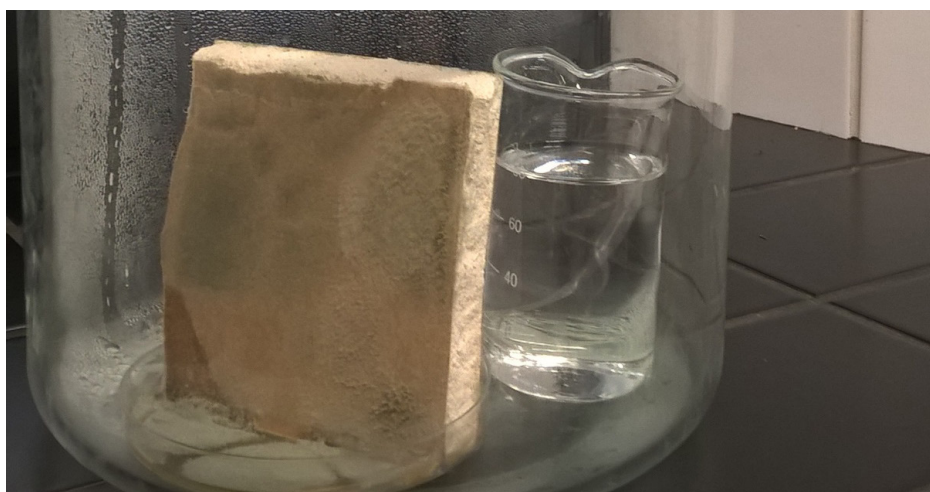
	kammio 1	kammio 2	0-näyte
	Pitoisuus µg/m ³	Pitoisuus µg/m ³	Pitoisuus µg/m ³
TVOC	130	46	32
aldehydit/ketonit	-	-	2,2
alkoholit/glykolit/glykolieetterit/esterit	8,2	9,1	15,6
tunnistamattomat yhdisteet	120	35	9

TAULUKKO 4. Kokeen 1 ilmanäytteiden VOC-tulokset (Mikrobioni 2018)

	kammio 1	kammio 2	0-näyte
	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$
TVOC	>2200	>1100	>1600
alifaattiset hiilivedyt	438,2	386,2	1,3
aromaattiset hiilivedyt	125,6	124,2	136,6
aldehydit/ketonit	12	27,8	594,9
alkoholit/glykolit/glykolieetterit/esterit	63,7	45,7	149,3
piiyhdisteet	188,5	336,4	336,1
terpeenit	3,5	5,7	-
tunnistamattomat yhdisteet	>1300	>930	>430

Kuten ensimmäisessä koejärjestelyssä, myös toisessa kokeessa vertailunäytteenä käytetty 0-näyte kontaminoitui. Ensimmäinen, tunnistamattomaksi jäänyt mikrobikasvusto havaittiin puhtaassa näytteessä (0-näyte) kipsilevyn pinnalla, josta kasvusto levisi myös agar-alustalle (kuva 4). Kontaminoitumisesta johtuen kokeessa ei saatu vertailtavaksi ilmanäytettä puhtaasta kipsilevystä.

Molempien kipsilevyillä tehtyjen kokeiden 0-näytteiden kontaminoituminen saattaa johtua siitä, että kipsilevyn paperipäällys tehdään kierrätetystä paperista, joka saattaa jo valmiiksi sisältää erilaisia mikrobeja. Vaikka kipsilevyt steriloidiin autoklaavilla ennen kokeen aloittamista, on mahdollista, että levyille jäi autoklaavikäsittelyn kestäviä mikrobin säilymis-
muotoja, kuten itiöitä.



KUVA 4. Kontaminoitunut 0-näyte (kuva Salla Thil)

Taulukossa 5 on listattuna kokeen 2 materiaalinäytteiden TVOC-tulokset yhdisteryhmittäin, ja taulukossa 6 on kokeen 2 ilmanäytteistä tunnistetut VOC-yhdisteet yhdisteryhmittäin. Ilmanäytteet sisälsivät erittäin suuria pitoisuuksia yksittäisiä, hiilivedyksi luokiteltavia yhdisteitä, joiden pitoisuus ylitti analyysimenetelmän mittausalueen. Mitatut TVOC-pitoisuudet ovat näin ollen vain viitteellisiä, ja todellinen TVOC-pitoisuus on ilmoitettua suurempi.

TAULUKKO 5. Kokeen 2 materiaalinäytteiden VOC-pitoisuudet

	kammio 1	kammio 2	O-näyte
	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$
TVOC	53	96	140
alifaattiset hiilivedyt	10	15	19
yksiarvoiset alkoholit	-	-	8,3
moniarvoiset alkoholit	-	-	1
tunnistamattomat yhdisteet	42	78	100

TAULUKKO 6. Kokeen 2 ilmanäytteiden VOC-pitoisuudet

	kammio 1	kammio 2	O-näyte
	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Pitoisuus $\mu\text{g}/\text{m}^3$
TVOC	5200	4900	>6100
alifaattiset hiilivedyt	1900	3430	>4150
aromaattiset hiilivedyt	329,2	396	275,2
yksiarvoiset alkoholit	45,9	53,7	52,8
aldehydit	6,3	1,8	-
typpiyhdisteet	15	11	-
piiyhdisteet	48,2	30,8	55,1
muut yhdisteet	40	6,7	18
tunnistamattomat yhdisteet	1000	1000	1400

Koejärjestelyssä 3 käytetty lattiasieni oli kasvultaan hitaampi kuin aiemmissa kokeissa käytetyt mikrobit. Kahden viikon jälkeen kokeiden aloittamisesta lattiasieni oli levinnyt petrimaljalle valetulla Malt2%-agarilla, muttei vielä tarttunut rakennusmateriaaliin (kuvat 5 ja 6). Kokeen kestänyt 32 päivää voitiin todeta lattiasienen aistinvaraisesti havainnoituna levinneen myös tutkittavaan puukappaleeseen. Lisäksi sieni oli lähtenyt kasvamaan myös koekammioon sijoitetun lasivillapalan pinnassa.

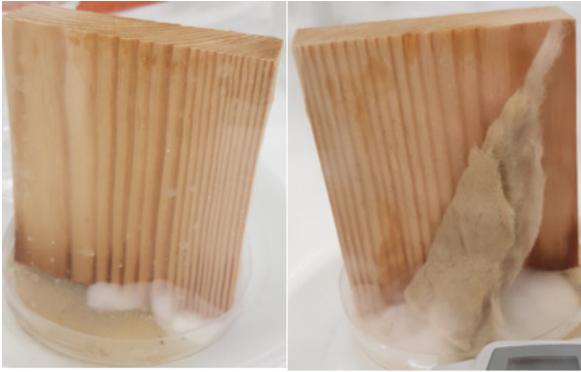


KUVAT 5 ja 6. Koe 3, kammiot 1 ja 2 kahden viikon kuluttua kokeen aloituksesta (kuvat Salla Thil)

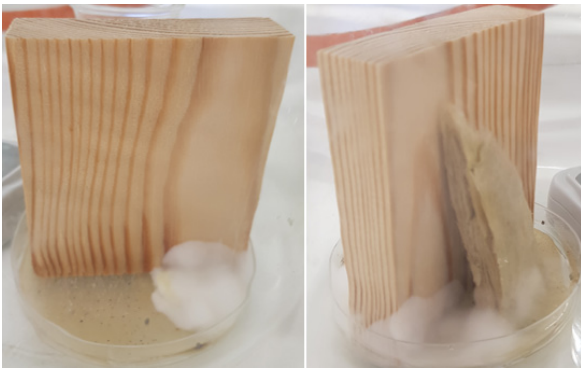
Kolmannet kammiokokeet purettiin 12,5 viikon altistusajan jälkeen 11.2.2019 (kuva 7). Lattiasieni oli kuroutunut puunäytteen alareunaan kiinni ja levittäytynyt agarille osittain. Kuvissa 8–11 on nähtävissä kammioiden 1 ja 2 kasvustot ja niiden levinneisyys ennen kokeiden purkamista. 0-näytteessä ei ollut aistinvaraisesti havaittavissa kontaminaation viittaavaa mikrobikasvustoa (kuva 12).



KUVA 7. Kammiot 12,5 viikon altistusajan jälkeen (kuva Salla Thil)



KUVAT 8 JA 9. Kokeen 3 kammion 1 kasvusto 11.2.2019 (kuvat Salla Thil)



KUVAT 10 JA 11. Kokeen 3 kammion 2 kasvusto 11.2.2019 (kuvat Salla Thil)



KUVA 12. Kokeen 3 O-näyte 11.2.2019 (kuva Salla Thil)

Taulukossa 7 on esitettyä kokeen 3 materiaalinäytteiden tunnistetut VOC-yhdisteet yhdisteryhmittäin ja niiden pitoisuudet ja taulukossa 8 vastaavat tiedot ilmanäytteen osalta.

TAULUKKO 7. Kokeen 3 materiaalinäytteistä tunnistettujen yhdisteryhmien pitoisuudet

	Kammio 1	Kammio 2	O-näyte
	VOC-pitoisuus (µg/m ³)	VOC-pitoisuus (µg/m ³)	VOC-pitoisuus (µg/m ³)
TVOC	1700	4000	2800
alifaattiset hiilivedyt	-	9	4,9
aromaattiset hiilivedyt	9,1	280,7	22,1
terpeenit	936,2	1875	1505,7
yksiarvoiset alkoholit	125	133,5	84,6
alkoholi- ja fenolieetterit	-	31,6	15,6
aldehydit	23,3	55,9	48,5
ketonit	4,5	988,8	685,4
hapot	2,3	12,3	8,1
esterit ja laktonit	33	1,3	-
halogeeniyhdisteet	-	4,4	-
pii yhdisteet	1,9	5,4	1,2
tunnistamattomat yhdisteet	540	550	430

TAULUKKO 8. Ilmanäytteiden VOC-pitoisuudet yhdisteryhmittäin

	Näytetilavuus 0,5 l			Näytetilavuus 1,0 l		
	Kammio 1	Kammio 2	O-näyte	Kammio 1	Kammio 2	O-näyte
	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³
TVOC	15000	20000	11000	14000	14000	8700
alifaattiset hiilivedyt	354,8	395,9	311,5	320	260	200
aromaattiset hiilivedyt	300	377,5	234,6	622,4	467,5	330,2
terpeenit	12550	17007	9859	11810	11461	7314
yksiarvoiset alkoholit	-	-	6,7	-	-	15
aldehydit	13,9	14,2	36,2	-	7,7	40,4
ketonit	0,7	4,8	-	-	450	-
esterit ja laktonit	-	9,3	6,9	-	-	-
halogeeniyhdisteet	39	46	60	45	51	-
pii yhdisteet	47,8	15	25	17	13	19
tunnistamattomat yhdisteet	1600	1800	690	1400	990	810

JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulosten tulkintaan ei ole olemassa virallisia ohjeita. Vaikka kokeet 1 ja 2 toteutettiin samoilla materiaaleilla ja mikrobeilla, niiden VOC-tulokset erosivat toisistaan sekä TVOC-pitoisuuksien että yhdisteryhmien osalta. Tämä saattaa johtua osaltaan siitä, että mikrobit ovat eläviä organismeja ja ne tuottavat kasvunsa eri vaiheessa todennäköisesti eri yhdisteitä.

Ilmanäytteiden suurimmat yksittäiset tunnistetut pitoisuudet koostuivat styreenistä ja hiilivety-yhdisteistä. Vaikka tunnistetut yhdisteet olivat pääasiassa samoja kaikissa näytteissä, niiden pitoisuudet vaihtelivat eikä nollanäytteiden ja tarkoituksella saastutettujen näytteiden välillä ollut havaittavissa selvää eroa. Tätä voi osaltaan selittää se, että kosteusvaurioituneista materiaaleista emittoituu VOC-yhdisteitä, vaikka niillä ei olisikaan löydettävissä mikrobikasvustoa. Ilmanäytteiden TVOC-pitoisuuksista noin 20 % oli tunnistamattomia yhdisteitä, ja toisaalta hiilivetyjen osuus kokonaispitoisuudesta oli huomattava.

Myös materiaalinäytteiden tulokset erosivat toisistaan suuresti. Lisäksi materiaalinäytteiden TVOC-pitoisuudesta noin 70–80 % oli tunnistamattomia yhdisteitä, jolloin kokeen perusteella ei voida tehdä johtopäätöksiä kosteusvaurioituneen rakennusmateriaalin VOC-emissiopäästöistä.

LÄHTEET

Aikivuori, Anne. 2001. Terveen rakennuksen evoluutio. Tutkimusraportti. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka. Espoo. https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2001/terveen_rakennuksen_evoluutio.pdf

Lämpöpuuyhdistys ry. ThermoWood käsikirja. 2003. https://asiakas.kotisivukone.com/files/thermowood.palvelee.fi/tiedostot/914711200401161255_twkaskirja.pdf

Mikrobioni 2018 ja 2019. Tulosraportit MV2018-064, VC2018-123, MV2018-098, VC2018-158, MV2019-021, VC2019-029.

Salo, Johanna. 2014. Rakennuksen homeiden aineenvaihduntatuotteiden mittaamiseen perustuvan analytiikan kehittäminen. Diplomityö. PDF-tiedosto. Espoo.

VOC-ONLINE-HANKKEESSA JÄRJESTETYT PALOKOKEET

Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen & Jyri Silmäri

VOC-Online-hankkeen toimenpiteessä nro 4 Anturitekнологian kehittäminen työturvallisuuteen kehitettiin sammutustyön jälkiseurannan työturvallisuutta mittaamalla savukaasujen sisältämiä yhdisteitä ja niiden pitoisuuksia. Lisäksi mitattiin palon sammutuksen jälkeen ilmassa olevia yhdisteitä.

Toimenpiteessä järjestettiin kahdet erilliset palokokeet huhtikuussa 2018. Ensimmäiset palokokeet järjestettiin Joroisissa Etelä-Savon pelastuslaitoksen harjoitusalueella, jossa polttopaikkana toimi sammutusharjoituksissa käytettävä kontti (kuva 1). Toinen palokoe järjestettiin Juvalla, jossa polttokohteena oli purkukuntoinen kesämökki irtaimistoinen (kuva 2). Palokokeissa näytteitä otettiin ennen paloa, palon aikana sekä sammutuksen ja savutuuletuksen jälkeen.



KUVA 1. Palokontti Joroisten harjoitusalueella (kuva Eloaho 2018)



KUVA 2. Poltettava mökki (kuva Salla Thil)

Palojen sytyttämisestä ja sammutustöistä palokokeissa sekä paloturvallisuuteen vaikuttavista tekijöistä vastasi Joroisten palokokeissa Etelä-Savon pelastuslaitoksen henkilökunta ja Juvan palokokeissa Mikkelin vapaapalokunta. Näytteenoton tutkimuskohteiden sisäilmasta ja näytteiden analysoinnin tekivät Työterveyslaitos ja Environics Oy. Lisäksi Juvan polttokoikeita toteuttamassa oli henkilökuntaa Kuopion Pelastusopistolta.

KOEJÄRJESTELYT

Joroisissa toteutettu palokoe koostui kahdesta kokeellisesta osiosta. Ensimmäisessä kokeessa simuloitiin hellalle jääneen teflonpinnoitetun keittoastian ylikuumenemista ja mitattiin teflonin hajotessa ilmaan vapautuvan fluorivetyhapon määrää. Kokeessa teflonpannua kuumennettiin kaasupolttimella viiden minuutin ajan, kunnes pannun lämpötila oli 550 °C. Tällöin keittoastian teflonpinta alkoi hajota. Fluorivetypitoisuuksia mitattiin simulaation aikana kolmesti eli kuumennuksen aikana, kuumennuksen jälkeen ja tuuletuksen jälkeen. Koe järjestettiin palokontin sisällä.

Kokeen toisessa osassa simuloitiin huoneistopaloa. Tämän vuoksi konttiin kalustettiin ”olohuone” eli sinne tuotiin muun muassa sohva, lastulevyhylly sekä kodin elektroniikkaa. Palossa vapautuvia epäpuhtauspitoisuuksia monitoroitiin palon aikana, palon sammuttua heti savutuuletuksen jälkeen sekä noin kolmen tunnin kuluttua tuuletuksen alkamisesta. Tarkoituksena oli arvioida palossa syntyviä merkittävimpiä epäpuhtauspitoisuuksia ja savutuuletuksen vaikuttavuutta pitoisuuksiin mittaamalla sisäilman VOC-yhdisteitä, aldehydejä, PAH-yhdisteitä ja syaanivedyn pitoisuutta (kuva 3).



KUVA 3. Konttipalon savukaasujen näytekeraäys (kuva Eloaho 2018)

Juvalla toteutetussa toisessa palokokeessa tutkimuskohteena oli lautarakenteinen mökki. Koe toteutettiin kahdessa vaiheessa. Palokoe aloitettiin mittaamalla mökin tuvan sisäilman taustapitoisuudet (VOC). Palokokeen ensimmäisessä vaiheessa palotilanteena simuloitiin huoneistopaloa ilman sähköjohtoja ja muovimattoa. Palo sammutettiin ennen sen leviämistä tuvasta muualle rakennukseen ja sen jälkeen tiloissa tehtiin savutuuletus. Palosta aiheutuvista savukaasuista analysoitiin VOC-pitoisuuksia, PAH-yhdisteitä, aldehydejä sekä syaanivedyn pitoisuutta palon aikana, heti sammutuksen jälkeen ja 30 minuutin savutuuletuksen jälkeen. Palokokeen toisessa vaiheessa palokuormaan lisättiin sähkölaitteita ja muovimattoa todellisen palotilanteen simuloimiseksi (kuva 4). Myös toinen palo sammutettiin savutuuletuksen vaikutusten arvioimiseksi. Toisessa kokeessa sisäilmasta analysoitiin ensimmäisessä kokeessa kerättyjen näytteiden lisäksi myös kloorivetyhapon pitoisuutta.



KUVA 4. Palokokeen suorituspaikka (kuva Salla Thil)

Savukaasujen lämpötilan sekä CO-, CO₂- ja O₂-pitoisuuksien mittausta varten mökin seinään porattiin hengityskorkeudelle aukkoja, joiden läpi savukaasu- ja lämpötilamittareiden anturit pystytettiin viemään palotilaan (kuva 5).



KUVA 5. Polttovaiheen valmistelua (kuva Salla Thil)

Pelastusopiston henkilöstö kuvasi palotilannetta kahden kuvauskopterin eli droomin avulla, joista toinen oli varustettu tavallisella videokameralla ja toinen lämpökameralla. Kuvaukset eivät varsinaisesti olleet osa VOC-Online-hankkeen toteutusta, vaan Pelastusopisto kuvasi materiaalin omiin opetustarkoituksiinsa.



KUVA 6. Lämpökamerakuvaa tulipalosta kuvauskopterilla kuvattuna (kuva Salla Thil)

Palokokeen mittausten jälkeen mökki sytytettiin jälleen palamaan ja sen annettiin palaa loppuun asti (kuvat 7 ja 8).



KUVAT 7 ja 8. Mökin lopullinen poltto (kuvat Salla Thil)

TULOKSET

Palokokeiden eri vaiheissa mitatut TVOC-pitoisuudet vaihtelivat huomattavasti. Tulosten mukaan palokuormassa olevat elektroniikka ja muovit nostavat tilan TVOC-pitoisuutta merkittävästi. Mittrausten mukaan TVOC-pitoisuus lähti uudelleen nousuun siirryttäessä aktiivisesta savutuuleuksesta painovoimaiseen ilmanvaihtoon (taulukko 1). (Laitinen 2018.)

TAULUKKO 1. TVOC-pitoisuudet palokokeiden eri vaiheissa

	Palokontti	Mökki, 1. koe	Mökki, 2. koe
	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
taustapitoisuus	400	3 400	900
palon aikana	3 100	12 000	34 000
palon jälkeen	320	1 300	720
savutuuleituksen jälkeen	570	900	1 400

Joroisten palokokeiden ensimmäisessä osassa, teflonpannun polttamisessa, ei Työterveyslaitoksen analysoimien kontin sisäilmanäytteiden mukaan havaittu merkittäviä määriä fluorivetyhappoa kuumentamisen aikana eikä sen jälkeen.

Joroisten palokontissa järjestetyn huoneistopalosimulaatiossa mitattujen savukaasujen pitoisuuksiltaan merkittävimmät yhdisteet on esitetty taulukossa 2. Osa yhdisteistä on peräisin palon sytyttämisessä käytetyistä sytytysnesteistä.

TAULUKKO 2. Joroisten palokokeessa mitatut merkittävimmät VOC-yhdisteet huoneistopaloo simuloitaessa

Yhdiste	Taustamittaus	Palon aikana	Sammutuksen jälkeen	3 tunnin savutuuleituksen jälkeen
etanoli	x	x	x	x
hiilivetyseos	x			
etylibentseeni	x	x		x
ksyleenit	x			
2-metyylipentaani	x			
asetoni	x			X
etikahappo		x	x	x
bentseeni		x	x	x
tolueeni		x		
2-butanoni		x		
2,5-difenyyl-1,4-bentsokinoni			x	
2-propanoli			x	x
TVOC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		3 100	320	570

Palotilanteen aikainen aldehydien mittaus epäonnistui. Heti sammutuksen ja savutuuletuksen jälkeen merkittävin aldehydi oli formaldehydi. PAH-yhdisteistä merkittävimmät yhdisteet palon aikana olivat bentso(a)pyreeni ja naftaleeni. Syaanivedyn pitoisuus oli palon aikana korkea, mutta laski nopeasti savutuuletuksen myötä. (Laitinen 2018.)

Mitattujen pitoisuuksien vaikutusta palomiesten ja jälkiraivaustyöntekijöiden työturvallisuuteen voidaan arvioida vertaamalla analysoituja pitoisuuksia niille määritettyihin HTP-arvoihin eli haitallisiksi tunnettuihin pitoisuuksiin. HTP-arvot ovat sosiaali- ja terveysministeriön asetuksessa haitallisiksi tunnetuista pitoisuuksista (538/2018) määritettyjä arvoja työntekijöiden hengitysilman epäpuhtauksien pienimmistä pitoisuuksista, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijöiden turvallisuudelle ja terveydelle. (Sosiaali- ja terveysministeriö 2018). Taulukossa 3 on esitetty riskien luokittelu HTP-arvojen perusteella ja työturvallisuuteen liittyvät toimenpiteet. Riskiluokituksen mukaisesti riskiluokka 1 on haitallisin ja vaatii välttämättömiä toimenpiteitä, ja riskiluokka 4 on riskiluokitukseltaan alhaisin ja vaatii työolosuhteiden seurantaa. Taulukossa 4 on palokokeessa analysoitujen merkittävimpien haitallisten yhdisteiden riskiluokat palon ja sammutuksen eri vaiheissa. Kaikkien mitattujen yhdisteiden osalta 30 minuuttia savutuuletuksen jälkeen tehdyssä mittauksessa riskiluokka on matalin eli tasolla 4.

TAULUKKO 3. Riskien luokittelu ja työturvallisuuteen liittyvät toimenpiteet riskiluokan perusteella (Laitinen 2018)

Altistumistaso	Riskiluokka	Toimenpiteet
Alle 10 % HTP-arvosta	4	Työolosuhteiden seuranta
10–50 % HTP-arvosta	3	Helposti toteutettavat toimenpiteet suositeltavia, seurantamittaukset tarpeellisia
50–100 % HTP-arvosta	2	Toimenpiteet ja seurantamittaukset tarpeellisia
Yli HTP-arvon	1	Toimenpiteet välttämättömiä, seurantamittaukset toimenpiteiden toteutuksen jälkeen

TAULUKKO 4. Joroisten palokokeen aikaiset riskiluokat mitattujen yhdisteiden pitoisuuden perusteella palon ja savutuuletuksen eri vaiheissa (Laitinen 2018)

Yhdiste	Riskiluokka		
	Palon aikana	Sammutuksen ja savutuuletuksen jälkeen	3 tuntia savutuuletuksen alkamisesta
aldehydit: formaldehydi	-	4	4
PAH: bentso(a)pyreeni	2	4	4
syaanivety	1	3	4

Juvalla toteutetuissa palokokeissa mökin sisäilmasta merkittävimmät todetut yhdisteet olivat sekä taustamittauksessa, palon aikana ja sammutuksen jälkeen sekä 30 minuutin savutuuletuksen jälkeen etanoli, 4-metyyli-2-pentanoni, 2-propanoli ja 2-butanoli (taulukko 5). TVOC-pitoisuus oli palon aikana 12 000 µg/m³, josta pitoisuus laski 30 minuutin savutuuletuksen aikana pitoisuuteen 900 µg/m³. (Laitinen 2018.)

TAULUKKO 5. Juvan 1. palokokeessa mitatut merkittävimmät VOC-yhdisteet huoneistopaloa simuloitaessa (Laitinen 2018)

Yhdiste	Taustamittaus	Palon aikana	Sammutuksen jälkeen	30 minuutin savutuuletuksen jälkeen
etanoli	x	x	x	x
4-metyyli-2-pentanoni	x	x	x	x
2-propanoli	x	x	x	x
2-butanoni	x	x	x	x
C8H18-hiilivety	x			x
etyylibentseeni	x			
styreeni		x	x	
bentseeni		x		
metyylimetakrylaatti			x	
2,4-dimetyyliheksaani				x
TVOC (µg/m ³)	3 400	12 000	1 300	900

Merkittävin palon aikana mitattu aldehydi oli formaldehydi, jonka pitoisuus oli yli nelinkertainen sille määritettyyn 8 tunnin HTP-arvoon verrattuna. Pitoisuus laski heti sammutuksen jälkeen, jolloin pitoisuus 30 minuutin savutuuletuksen jälkeen oli enää noin 9 % HTP-arvosta. Myös asetaldehydinin pitoisuus oli palon aikana korkea ollen riskiluokkaa 3. Taulukossa 6 on ilmoitettuna palokokeen aikana mitattuihin pitoisuuksiin perustuvat riskiluokat merkittävimpien yhdisteiden osalta. 30 minuutin savutuuletuksen jälkeen kaikkien kyseisten yhdisteiden riskiluokka oli alentunut luokkaan 4.

TAULUKKO 6. Juvan 1. palokokeen aikaiset riskiluokat mitattujen yhdisteiden pitoisuuden perusteella palon ja savutuuletuksen eri vaiheissa (Laitinen 2018)

Yhdiste	Riskiluokka		
	Palon aikana	Sammutuksen ja savutuuletuksen jälkeen	30 minuuttia savutuuletuksen alkamisesta
aldehydit: formaldehydi asetaldehydi	1 3	3 4	4 4
PAH: bentso(a)pyreeni	1	4	4
syaanivety	2	4	4

Juvalla toteutetussa toisessa kokeessa palokuormaan oli lisätty sähkölaitteita ja muovimattoa. Materiaalin lisäys oli huomattavissa TVOC-pitoisuudessa, joka palon aikana nousi pitoisuuteen 34 000 µg/m³. Pitoisuus laski heti sammutuksen jälkeen pitoisuuteen 720 µg/m³, mutta 30 minuutin savutuuletuksen jälkeen pitoisuus oli noussut arvoon 1 400 µg/m³. Taulukossa 7 on listattu merkittävimmät todetut VOC-yhdisteet taustamittauksissa, palon aikana ja sammutuksen jälkeisissä mittauksissa. (Laitinen 2018.)

TAULUKKO 7. Juvan 2. palokokeessa mitatut merkittävimmät VOC-yhdisteet huoneistopaloa simuloitaessa (Laitinen 2018)

Yhdiste	Taustamittaus	Palon aikana	Sammutuksen jälkeen	30 minuutin savutuuletuksen jälkeen
etanoli	x	x	x	x
4-metyyli-2-pentanoni	x	x	x	x
2-propanoli	x	x	x	
2-butanoni	x	x		
C8H18-hiilivety	x			
etylibentseeni	x			
bentseeni		x	x	
etikkahappo		x	x	x
etyliasettaatti			x	x
C8H18-hiilivety				x
2,3,4-trimetyylipentaani				x
TVOC (µg/m ³)	3 400	34 000	720	1 400

Toisessa palokokeessa mittausten mukaan merkittävimmät aldehydit olivat formaldehydi ja akkroleiini. Formaldehydin pitoisuus palon aikana oli 23-kertainen verrattuna sen 8 tunnin HTP-arvoon, ja riskiluokka oli 1. Akkroleiinin pitoisuus oli myös riskiluokkaa 1. Formaldehydin pitoisuus oli laskenut 30 minuutin savutuuletuksen jälkeen riskiluokkaan 3 ja akkroleiinin pitoisuus riskiluokkaan 4. (Laitinen 2018.)

PAH-yhdisteistä merkittävin mitattu yhdiste oli bentso(a)pyreeni. Palon aikana sen pitoisuus sisäilmassa oli 11-kertainen sen 8 tunnin HTP-arvoon nähden, mutta 30 minuutin savutuuletuksen jälkeen pitoisuus oli laskenut riskiluokkaan 4. Toinen pitoisuudeltaan merkittävä PAH-yhdiste kokeessa palon aikana oli naftaleeni, ja se oli riskiluokkaa 2. Pitoisuus kuitenkin laski jo heti sammutuksen jälkeen riskiluokkaan 4. Syaaniivedyn pitoisuus oli palon aikana riskiluokkaa 2, ja 30 minuutin savutuuletuksen jälkeen pitoisuus oli laskenut riskiluokkaan 4. Kloorivetyhapon pitoisuus oli palon aikana 44-kertainen sen 8 tunnin HTP-arvoon nähden, mutta pitoisuus oli laskenut 30 minuutin savutuuletuksen

jälkeen riskiluokkaan 4. (Laitinen 2018.) Merkittävimpien aldehydien, PAH-yhdisteiden, syaanivedyn ja kloorivetyhapon mitatut riskiluokat eri vaiheissa on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Juvan 2. palokokeen aikaiset riskiluokat mitattujen yhdisteiden pitoisuuden perusteella palon ja savutuuletuksen eri vaiheissa (Laitinen 2018)

Yhdiste	Riskiluokka		
	Palon aikana	Sammutuksen ja savutuuletuksen jälkeen	30 minuuttia savutuuletuksen alkamisesta
aldehydit: formaldehydi	1	2	3
akkroleiini	1	4	4
PAH: bentso(a)pyreeni	1	4	4
naftaleeni	2	4	4
syaanivety	2	4	4
kloorivetyhappo	1	4	4

JOHTOPÄÄTÖKSET

Mitattujen epäpuhtauspitoisuuksien perusteella tulipalon jälkituuletus laimentaa sisäilman epäpuhtauspitoisuuksia vaihtelevasti. Syaanivety poistuu savutuuletuksessa nopeasti, mutta TVOC-pitoisuuden laimeneminen vaatii tehokkaamman tuuletuksen.

Savutuuletukselta tulisi jatkaa kokeissa käytettyä aikaa pidempään, jolloin TVOC-pitoisuus luultavasti laskisi edelleen eikä lähtisi uudestaan nousuun. Tehostetulla savutuuletuksella mahdollistetaan sammutushenkilöstön ja jälkiraivaustyöntekijöiden työturvallisuus. Työterveyslaitos suosittelee saneerauskohteissa yksilöllistä riskinarviointia, jolloin pystytään määrittelemään paineilmalaitteiden ja suojavarusteiden käytön tarpeellisuus sekä tilojen uudelleenkäyttöönnoton turvallinen ajankohta.

Koska epäpuhtauksille altistutaan hengitysilman lisäksi myös ihokontaktin kautta, on jälkiraivaustyöntekijöiden suojaus tärkeää. Raivaustöissä savukaasuista aiheutuneet nokilaskeumat lähtevät uudestaan liikkeelle sisäilmassa, jolloin sekä iho- että hengityssuojaus ovat tarpeen. Työturvallisuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota, mikäli palavassa materiaalissa on ollut mukana elektroniikkaa ja muoveja, sillä kyseisten materiaalien palaminen lisää merkittävästi myrkyllisiä päästöjä.

LÄHTEET

Laitinen, J. 2018. Lausunto TYHYG 2018 375161. VOC-Online-hanke Kaakkois-Suomen ammattikorkeakoululle. Työterveyslaitos.

Sosiaali- ja terveysministeriö 2018. HTP-arvot 2018. Haitallisiksi tunnetut pitoisuudet. Sosiaali- ja terveysministeriön julkaisuja 9/2018. Helsinki.

PALOTILANTEISSA KÄYTETTÄVÄT SUORAAN OSOITTAVAT MITTA-LAITTEET

Salla Thil & Tuija Ranta-Korhonen & Toni Leikas

Vuonna 2016 Suomen pelastustoimella oli yhteensä noin 12 000 tulipaloihin liittyvää tehtävää ja lähes 3 000 tehtävää liittyen vaarallisten aineiden onnettomuuksiin, öljyvahinkoihin ja räjähdyksiin (Pelastusopisto 2017). Useiden tutkimusten mukaan palomiehet altistuvat työtehtävissään jatkuvasti erilaisille savukaasujen sisältämille haitallisille kemikaaleille. Tämän vuoksi palomiehillä on kohonnut riski sairastua syöpään. (Palomiesliitto 2011.)

Suomessa palomiesten altistumista savukaasuille on alettu tutkia vasta viime vuosina. Pelastusopiston opettajia tutkittiin biomonitoroinnin avulla vuosina 2004–2006. Tutkimuksen tulosten perusteella on alettu aiempaa enemmän kiinnittää huomiota savukaasualtistukseen ja sen terveysvaikutuksiin. (Pelastusopisto 2017.) Työterveyslaitoksen vuonna 2016 julkaisun laajan tutkimuksen mukaan palomiehet altistuvat haitallisille kemikaaleille savusukelluksen lisäksi myös raivausaikana, paloautossa, käyttäessään likaisia sammutusasuja sekä kalustonhuollon yhteydessä. Merkittävä osa altistuksesta tapahtuu hengitysteiden lisäksi ihon ja erityisesti käsien kautta. (Laitinen ym. 2016.)

SAVUKAASUJEN SISÄLTÄMÄT ALTISTEET

Palomiehet altistuvat työtehtävissään monille haitallisille aineille. Palopaikoilta on mitattu erityisen korkeita pitoisuuksia karsinogeenisia aineita, kuten bentseeniä, formaldehydejä ja polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (Laitinen ym. 2016). Lisäksi savukaasut sisältävät hapenpuutetta aiheuttavia aineita, kuten hiilimonoksidia, hiilidioksidia ja rikkivetyä, sekä iho- ja limakalvoärsytystä aiheuttavia aineita, kuten ammoniakkia ja typen oksideja, sekä haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (Fabian ym. 2010).

Formaldehydi (CH_2O) on väritön kaasu, jonka vesiliuosta käytetään monien rakennusmateriaalien ja kotitaloustuotteiden valmistuksessa. Suomessa formaldehydien pääkäyttökohde rakennuksissa on ollut lastulevy, jossa ureaformaldehydiliimaa on käytetty sidosaineena (Sisäilmayhdistys s.a.). Aine syttyy lämmön ja liekkien vaikutuksesta ja voi tietyissä olosuhteissa myös räjähtää. Formaldehydi on myrkyllinen, karsinogeeninen ja mutageeninen aine, joka pieninäkin pitoisuuksina aiheuttaa terveyshaittoja. (OVA-ohje: formaldehydi 2015.)

Polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä, PAH-yhdisteitä, syntyy kaikessa orgaanisen aineen epätäydellisessä palamisessa. Useimmat PAH-yhdisteet ovat karsinogeenisia ja päätyvät ihmisen elimistöön hengitysilman välityksellä. (Ilmanlaatuportaali s.a.) Tutkimusten mukaan palomiehet altistuvat PAH-yhdisteistä erityisesti kohonneille naftaleenin ja pyreenin pitoisuuksille (Laitinen ym. 2016).

Hiilidioksidi (CO_2) muodostuu orgaanisen aineen palaessa. Kaasumaisessa olomuodossaan hiilidioksidi on väritöntä ja lähes hajutonta ja reagoi huonosti muiden aineiden kanssa. Hiilidioksidi on happea syrjäyttävä aine, ja altistuksen voimakkuudesta riippuen se voi aiheuttaa jopa tukehtumisen. (OVA-ohje: hiilidioksidi 2015.) Hiilimonoksidi (CO) eli häkä on puolestaan hajuton ja väritön myrkyllinen kaasu. Häkää syntyy orgaanisen aineen epätäydellisessä palamisessa, ja se on erittäin helposti syttyvää. Hiilimonoksidi sitoutuu ihmisellä veren punasoluihin ja aiheuttaa altistumisen määrästä riippuen terveyshaittoja lievistä oireista kuolemaan. (OVA-ohje: hiilimonoksidi 2015.)

Rikkivety (H_2S) on väritön, voimakkaasti haiseva ja helposti syttyvä kaasu, jota voi muodostua palamisen sivutuotteena. Kaasua muodostuu myös luonnollisesti orgaanisen aineen hajotessa anaerobisissa oloissa, jos pH ja lämpötila ovat sopivat. Rikkivety on vaarallinen soluhengitysmyrkky, joka aiheuttaa jo pieninä pitoisuuksina terveyshaittaa. Altistuminen suurelle pitoisuudelle rikkivetyä aiheuttaa nopeasti tajuttomuuden tai jopa kuoleman. (OVA-ohje: rikkivety 2015.)

Ammoniakki (NH_3) on voimakkaasti pistävän hajuinen kaasu, jonka nestemäistä muotoa käytetään esimerkiksi lannoitteena, typpihapon valmistuksessa sekä jäähdytysaineena kylmälaitteistoissa ja -varastoissa. Ammoniakki on syövyttävää ja hengitettynä myrkyllistä, ja oireet ovat suoraan verrannollisia altistuksen määrään. Kaasu ei ole helposti syttyvää eikä räjähtävää, mutta voi tiettyjen aineiden kanssa sekoitessaan muodostaa helposti syttyviä tai räjähtäviä yhdisteitä. (OVA-ohje: ammoniakki 2015.)

Syaanivety (HCN) on kaliumsyyanidin hajoamistuote. Kaliumsyyanidia käytetään Suomessa esimerkiksi vesiliuoksena hopeoinnissa, kuparoinnissa ja metallien pintakäsittelyssä. Reagoi-
nessaan kosteuden tai happojen kanssa kaliumsyyanidi muodostaa syaanivetyä, joka on erittäin helposti syttyvää ja myrkyllistä nestettä tai höyryä, ja aiheuttaa altistumisen määrästä riippuen myrkytysoireita tai jopa kuoleman. (OVA-ohje: kaliumsyyanidi ja syaanivety 2015.)

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet eli VOC-yhdisteet (Volatile Organic Compounds) ovat kaasumaisia yhdisteitä, joiden päästölähteitä ovat esimerkiksi rakennus- ja sisustusmateriaalit sekä erilaiset kemikaalit. Yhdisteet haihtuvat ilmaan lämmön ja kosteuden vaikutuksesta ja voivat aiheuttaa hengitystie- ja limakalvo-oireita. VOC-yhdisteistä palomiehet altistuvat etenkin bentseenille. Bentseeni (C_6H_6) on helposti syttyvä, nesteen tai höyryn muodossa oleva aine, jota käytetään esimerkiksi muovien raaka-aineena sekä lääkkeiden,

väriaineiden, räjähteiden ja pesuaineiden valmistuksessa. Bentseeni on karsinogeeninen ja aiheuttaa lisäksi monia muita vakavia terveyshaittoja altistumisajasta ja pitoisuudesta riippuen. Bentseeni imeytyy ihmisen elimistöön sekä hengitysteiden että ihoaltistuksen kautta. (OVA-ohje: bentseeni 2015.) Taulukossa 1 on esitetty eri materiaaleista palamisen yhteydessä vapautuvia yhdisteitä.

TAULUKKO 1. Eri materiaalien palamistuotteita

Materiaali	Palamistuotteet
Polyuretaani (PU)	HCN (syaanivety), CO, MDI, MDA ^{1 2}
Polystyreeni	Styreeni, aromaattiset yhdisteet, CO, CO ₂ , alkeenit, aldehydit ^{2 3}
PVC-muovi	Kloorivety > suolahappo, CO ₂ , CO, PAH ^{3 4}
Polyamidi (PA)	HCN, CO, typen oksidit ⁴
PTFE (Teflon)	Fluorivety ⁵ Ei pala, mutta rakenne rikkoutuu
Selluloosakuidut	Akroleiini, furaani CO ₂ , CO, aldehydit, PAH, alkoholit, etikkahappo, hiilivedyt ^{2 3}
Mineraalikulut (lasi- ja vuorivilla)	Ei pala vaan sulaa 1000–1500 asteessa. Materiaalissa olevat sidosaineet palavat. ²
Sähkölaitteet	Bentseeni
Vaneri, hartsi	Formaldehydi
Tasoitteet	Ammoniakki

1. Mannila, 2. Savolainen & Kirchner, 3. Ryyänen ym. 4. Alakangas, 5. PTFE

SAVUKAASUJEN MITTAAMINEN

Palomiesten savukaasualtistuksen mittaamiseen ja monitorointiin on markkinoilla saavilla useita mittareita. Saatavilla on mittalaitteita, jotka mittaavat ainoastaan yhden kaasumaisen yhdisteen esiintymistä ilmassa aina malleihin, jotka voivat mitata esimerkiksi kuutta eri kaasumaista yhdistettä samanaikaisesti. Räjähdyksenvaarallisissa tiloissa käytettäviksi tarkoitettuja laitteita, jotka ovat tulleet markkinoille 20.4.2016 jälkeen, koskee Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2014/34/EU. Direktiivin mukaiset laitteet ovat niin sanottuja ATEX-hyväksytyjä eli direktiivin laatu järjestelmän mukaisia. (VTT s.a.)

Kaasujen pitoisuuksien monitoroinnin ohella monissa mittareissa on anturi, joka ilmoittaa kaasun syttymisrajan. Syttymisraja on pitoisuus, jossa kaasun ja ilman seos voi syttyä, ja mittareissa ominaisuus on ilmaistu lyhenteellä LEL (Lower Explosive Limit) tai LFL (Lower Flammable Limit). Mittari ilmoittaa pitoisuuden prosentteina syttymisrajasta, jolloin 100 % LEL on kaasun syttymispiste. LEL-monitoreita käytetään yleensä paikoissa, joissa säilytetään tai käytetään helposti syttyviä kaasuja ja liuottimia. (GDS Corp s.a.)

VOC-ONLINE-HANKKEEN PALOKOKEISSA KÄYTETYT MITTALAITTEET

VOC-Online-hankkeessa järjestettiin kaksi palokoetta, joiden järjestelyjä on tarkemmin kuvattu toisaalla tässä julkaisussa. Molemmissa palokokeissa mukana oli Mikkelissä sijaitsevan Environics Oy:n edustaja, joka teki palokokeiden aikana mittauksia yrityksen valmistamalla ChemPro100i-mittalaitteella. Chempro100i on kannettava kemikaali-ilmaisin, joka soveltuu lisäosiensa ansiosta myös CBRN-aineiden (Chemical, Biological, Radiological, Nuclear) eli kemiallisten, biologisten, säteilevien ja ydinaseissa käytettävien aineiden tunnistamiseen. Laite soveltuu CBRN-aineiden lisäksi myrkyllisten kemikaalien (TICs, Toxic Industrial Chemicals) monitorointiin. Laitteella pystyy myös jäljittämään kemiallisten yhdisteiden päästölähdettä. (Environics 2015.)

ChemPro100i käyttää kemikaalien tunnistamiseen aspiraatioon perustuvaa ioniliikkuvuus-spektrometria-sensoria (Ion Mobility Spectrometry, IMS). Laitteesta on tehty helppokäyttöinen, siinä ei ole kulumia osia, joita täytyisi vaihtaa, eikä mittaria tarvitse kalibroida ennen käyttöä. Laite on veden-, pölyn- ja tärähdyksenkestävä. (Environics 2015.) Laitteiden kemikaali-ilmaisu ja luokittelu perustuvat laitteeseen ladattavien kaasukirjastojen mukaan, joiden avulla voidaan uhan mukaan määrittää kemikaalit, jotka halutaan ilmaista ja luokitella. Peruskaasukirjastot ovat CWA- ja First Responder – TIC -kirjastot. Laitteita käytetään valmistajan antamien tietojen mukaan pelastuslaitoksissa muun muassa Yhdysvalloissa, Sloveniassa, Espanjassa, Suomessa ja Italiassa.

CHEMPRO100I-KEMIKAALITUNNISTIMELLA HANKKEESSA TEHDYT MITTAUKSET

ChemPro100i-tunnistimella tehtiin mittauksia 4.4.2018 järjestetyn hankkeen palokokeen aikana. Palokoe järjestettiin Joroisissa Etelä-Savon pelastuslaitoksen harjoitusalueella palokontissa. Palokontissa simuloitiin olohuonepaloa ja konttiin oli tuotu tyypillisiä suomalaisista olohuoneista löytyviä kalusteita ja laitteita. Taulukossa 2 on esitetty Chempro100i-tunnistimella tehtyjen mittausten eteneminen palokokeen aikana.

TAULUKKO 2. ChemPro100i-tunnistimen mittaustulokset (Enviroics 2018)

<p>Klo 10:02 Taustan mittaaminen</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laitteella nro 256 mitataan kontin kemikaalitausta 1,5 m pitkän teflonletkun avulla kontin ulkopuolelta.
<p>Klo 11:30 Huoneistopalon sytytys</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laite nro 256 mittaa ulkopuolelta teflonletkun, laitetta nro 007 käytetään sisätiloissa.
<p>Klo 11:35 Kemikaalihälytys</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laite nro 256: TOXIC-hälytys (myrkyllinen teollisuuskemikaali)
<p>Klo 11:37 Siirtyminen kontin sisälle mittaamaan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laitteella nro 007 kontin ovelta mittaaminen. • Chemical detected -hälytys (kemikaali havaittu), tarkentui lisää mitattuna: Tic Acid -hälytys (syövyttävä teollisuuskemikaali). • Palon uudelleen sammutus (sohva) ja savutuuletus à Laitteen nro 256 hälytys on ollut koko ajan päällä, ja hälytykseen tuli uusi piikki kohonneista kemikaalipitoisuuksista (trendi-näkymä, jossa esitetään suhteellinen kemikaalien konsentraatio suhteessa taustaan). • Siirtyminen kontin sisälle. Tasainen nousu ja tasot laitteella nro 007. • TV:n ja DVD:n mittaaminen à tasainen trendi tasolla 150 (huom. normaali trenditaso on n. 40). • Sohvan mittaaminenà korkea trendipiikki tasolla 245. • <i>Chemical detected: Havaittu kemikaali ei ole valitussa kaasukirjastossa, mutta sensoreille saatujen vasteiden perusteella laite ilmoittaa käyttäjälle, että ilmassa on mahdollisesti vaarallisia kemikaaleja, jotka eivät kuitenkaan ole valitussa kirjastossa.</i>
<p>Klo 11:50 Pölysuodattimen vaihto molempiin laitteisiin, syynä palokontin nokihiukaset.</p>
<p>Klo 11:56 Perustasojen laskenta laitteille à Overhaul-tilanne (palopaikan palon jälkeisten kemikaalien mittaaminen, palomiesten työturvallisuus).</p>
<p>Klo 11:58 Overhaul-tasojen valvonta kontin ulkopuolelta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laite nro 007 • Toxic High -hälytys
<p>Klo 12:00 Toxic High -hälytys</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laite nro 007 • Mittaaminen kontin sisäpuolella
<p>Klo 12:02 Perustasojen laskenta</p> <ul style="list-style-type: none"> • Laite nro 007
<p>Klo 14:00 Takaisin kontille</p>
<p>Klo 14:30 Molemmat laitteet konttiin sisään</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mittaaminen 2 m:n päästä palokohteesta à Chemical detected -hälytys. • Med-tason hälytys palokohteessa. (Hälytys-tasot Low - Med - High). • Korkea trendipiikki sohvaista ja trenditason lasku TV:tä mitattaessa.

Mittaustuloksia verrattiin saman palokokeen aikana Työterveyslaitoksen tekemien mittausten tuloksiin ja pyrittiin löytämään yhdisteet, jotka mahdollisesti olisivat olleet syynä laitteen antamiin hälytyksiin. Vertaileminen on kuitenkin hankalaa, sillä Työterveyslaitoksen ottamat näytteet ovat niin sanottuja keräilynäytteitä eikä niiden avulla voida määrittää, minkälainen mitatun yhdisteen pitoisuus on ollut kunakin ajankohtana.

LÄHTEET

Alakangas, E. s.a. Polttokelpoisten muovien tunnistaminen. VTT Prosessit. PDF-tiedosto.

Environics 2015. ChemPro100i Handheld Chemical Detector http://www.environics.fi/wp-content/uploads/2014/07/ChemPro100i_handheldchemicaldetector.pdf.

Environics 2018. VOC-Online-hankkeen palokokeiden aikana tehtyjen mittausten tulokset.

Fabian, T., Borgerson, J., Kerber, S., Gandhi, P., Baxter, S., Ross, C., Lockey, J. & Dalton, J. Firefighter exposure to smoke particulates, Final Report. 2014. <https://pdfs.semanticscholar.org/157e/6dc272dba2e5fcc4e77212fca302ab96e28f.pdf>.

GDS Corp s.a. LEL Gas Monitor. GDS Corp Gas and Flame Detection. <http://www.gdscorp.com/llel-monitor>.

Ilmanlaatuportaali s.a. PAH-yhdisteet. <http://www.ilmanlaatu.fi/ilmansaasteet/komponentit/pahit.html>.

Laitinen, J., Lindholm, H., Aatamila, M., Hyttinen, S., Karisola, P. 2016. Vähentääkö Skellefteå-malli palomiesten altistumista operatiivisessa työssä. Työterveyslaitoksen julkaisuja.

Mannila, J. 2002. Kylmälaitteiden lämmöneristemateriaalien palo-ominaisuudet. Tukesin julkaisuja. http://www.tukes.fi/Tiedostot/julkaisut/1_2002.pdf.

OVA-ohje: ammoniakki 2015. <http://www.ttl.fi/ova/ammoni.html>.

OVA-ohje: bentseeni 2015. <http://www.ttl.fi/ova/bentseen.html>.

OVA-ohje: formaldehydi 2015. <https://www.ttl.fi/ova/formalde.pdf>.

OVA-ohje: hiilidioksidi 2015. <http://www.ttl.fi/ova/hiilidioksidi.html>.

OVA-ohje: hiilimonoksidi 2015. <http://www.ttl.fi/ova/hiilimono.html>.

OVA-ohje: kaliumsyyanidi ja syaanivety 2015. <http://www.ttl.fi/ova/kaliumsy.html>.

OVA-ohje: rikkivety 2015. <http://www.ttl.fi/ova/rikkivet.html>.

Palomiesliitto 2011. Taistelu syöpää vastaan yhdistää palomiehet kansainvälisesti. Palomiesliiton verkkolehti. <https://issuu.com/palomiesliittospal/docs/pelastusalanammattilainen0211>. Julkaistu 27.4.2011.

Pelastusopisto 2017a. Pelastusopistolla biomonitoroitu jo kymmenen vuotta. 2017. Palomiesliiton verkkolehti. https://issuu.com/palomiesliittospal/docs/pa0117_issuu. Julkaistu 22.2.2017.

Pelastusopisto 2017b. Pelastustoimen taskutilasto 2012-2016. Pelastusopiston julkaisu 1/2017.

PTFE-Tekniset tiedot. VINK Passion for plastics. http://www.tuotteet.vink.fi/media/tuotteet/ptfe/vink_ptfe_esite_a4_web.pdf.

Ryynänen, T., Kallonen, R., Ahinen, E. 2001. Palosuojatut tekstiilit. VTT tiedotteita 2116.

Savolainen, H. & Kirchner, N. 1997. Toxicological Mechanism Of Fire Smoke. The intervent Journal of Rescue and Disaster.

Sisäilmayhdistys S.a. Formaldehydi (CH₂O). <http://www.sisailmayhdistys.fi/Terveelliset-tilat/Sisailmasto/Kemialliset-epapuhautaudet>.

VTT s.a. Sähkölaitteiden CE-merkintä ja ATEX. VTT Expert Services Oy. <http://www.vttexpertservices.fi/Pages/Ex-s%C3%A4hk%C3%B6laitteiden-CE-merkint%C3%A4.aspx>.

