



Helsingin kaupungin

Ympäristökeskuksen julkaisuja

9/97



Homeisten rakennusmateriaalien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (MVOC) ja homeitiöpäästöjen seuranta laboratorio-oloissa



Helena Rintala, Seija Kalso, Helena Kontsas, Timo Vartiainen

Helsinki 1997

Helena Rintala, Seija Kalso, Helena Kontsas, Timo Vartiola

Homeisten rakennusmateriaalien haihtuvien
orgaanisten yhdisteiden (MVOC) ja
homeitiöpäästöjen seuranta
laboratorio-oloissa

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	1
SAMMANDRAG.....	2
JOHDANTO.....	4
MATERIAALIT JA MENETELMÄT.....	5
TULOKSET.....	8
POHDINTA.....	15
KIITOKSET.....	19
KIRJALISUUSVIITTEET.....	20

TIIVISTELMÄ

Tutkimusten mukaan yli 50 %:ssa Suomen rakennuksista on jonkinasteinen kosteusvaurio, jonka seurauksena voi olla rakenteiden homehtuminen. Rakenteiden homehtuminen taas huonontaa sisäilman laatua aiheuttaen terveydellisiä haittoja.

Nykyisin käytössä olevat mikrobiologiset menetelmät rakennusten homevaurion selvittämiseksi perustuvat sisäilman ja rakennusmateriaalien homeitiöiden määrittämiseen tai rakennusmateriaalien mikroskooppiseen tutkimukseen. Ongelmia tuottavat kuitenkin ne kohteet, joissa epäillään homekasvuston olevan rakenteiden sisällä piilossa ja joissa sisäilmassa ei havaita poikkeavia homeitiöpitoisuuksia.

Homeet tuottavat aineenvaihduntatuotteinaan kemiallisia yhdisteitä. Homekasvustojen tuottamien haihtuvien orgaanisten aineiden (=MVOC=Microbial Volatile Organic Compounds) mittaamista sisäilmasta on viime vuosina kehitetty etenkin piilossa rakenteiden sisällä olevien homekasvustojen toteamismenetelmäksi.

Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ympäristölaboratoriossa seurattiin homeisten rakennusmateriaalien homeitiö- ja MVOC-päästöjä laboratorio-olosuhteissa. Koe suoritettiin neljässä koekammiossa, joissa ilman suhteellista kosteutta ylläpidettiin aluksi viiden viikon ajan homekasvustolle otollisena. Tämän jälkeen homeisten materiaalien annettiin kuivua. Materiaaleina käytettiin puuta, eristevillaa, sisustuslevyä ja tuulensuojalevyä.

Yhtä kammiota lukuun ottamatta materiaalien homeitiöpitoisuudet laskivat kokeen kuluessa ollen kuitenkin koko ajan homehtumista osoittavalla tasolla (10^4 - 10^5 kpl/g). Kokeen alussa valtasukuna materiaaleissa esiintyi *Penicillium* -homesienisuku. Ns. kosteusindikaattoreista esiintyi puu- ja eristevillamateriaaleissa *Trichoderma* -ja *Acremonium*-suvut. Sisustuslevynäytteessä esiintyneistä homeista kosteusvaurioindikaattori oli *Trichoderma*, tuulensuojalevyssä *Phialophora* -homesienisuku. Puumateriaalin homesienisuvusto ei oleellisesti muuttunut kokeen aikana. Kokeen lopussa eristevillänäytteessä todettiin jo kokeen alussa todettujen homeiden lisäksi *Phialophora* -homeita. Sisustuslevynäytteessä todettiin jo esiintyneen kosteusindikaattorin lisäksi *Oidiodendron* -homesientä. Tuulensuojalevynäytteessä *Penicillium* -homekasvusto oli vallannut materiaalin kokeen päättyessä.

MVOC-yhdisteistä määritettiin homekasvuston indikaattoreina 3-metyyli-butanolin, 2-heksanonin, 2-heptanonin, 1-okteeni-3-olin ja geosmiinin pitoisuuksia kammioilmassa. Geosmiinia ei todettu lainkaan. Muiden yhdisteiden pitoisuudet laskivat yleensä kammi-oissa koko kokeen ajan. Poikkeuksena oli tuulensuojalevyä sisältävä kammi-o, jossa ilman suhteellinen kosteus vielä kokeen lopussa oli 75 %. Tässä kammiossa 2-heptano-nin, 2-heksanonin ja 3-metyyli-butanolin pitoisuudet nousivat vähän kammioista kostu-tuksen lopettamisen jälkeen otetuissa ilmanäytteissä. 2-Heptanonin ja 2-heksanonin pitoisuudet kammioissa olivat kokeen päättyessä korkeammat kuin pitoisuudet kammi-oilmassa kokeen alussa.

MVOC-pitoisuuksien muutokset muita kammioita korkeamman ilman suhteellisen kosteuden omaavassa kammiossa viittaavat siihen, että MVOC-pitoisuuksien määrittä-mistä voisi käyttää aktiivisen homekasvuston indikaattorina. Tutkimuksen perusteella sen sijaan kuivuneiden materiaalien homekasvustojen ilmaan tuottamien MVOC-yhdis-teiden pitoisuudet olivat aivan määrittämysrajan tuntumassa tai sen alle. Kahden näistä materiaaleista ei myöskään todettu tuottavan tutkittuun ilmatilaan homesieni-itiöitä. Havainolla on merkitystä, kun käydään keskusteluita siitä, kuinka laajoja korjaavien toimenpiteiden tulisi olla homevauriotapausten yhteydessä.

SAMMANDRAG

Enligt undersökningen har mer än 50 % av byggnaderna i Finland fuktskador av någon grad, vilket kan leda till mögelbildning i konstruktionerna. Mögelbildning i konstruktionerna försämrar i sin tur inneluftens kvalitet och ger upphov till sanitära olägenheter.

De i dag tillgängliga mikrobiologiska metoderna för kartläggning av mögelbildning i byggnader grundar sig på bestämning av mögelsporer i inneluften och i byggmaterialen eller på mikroskopiska undersökningar av byggmaterialen. Problematiska är likväl sådana fall där man misstänker att mögel finns gömt inne i konstruktioner och där inneluften inte innehåller avvikande halter av mögelsporer.

Vid mögelsvamparnas ämnesomsättning produceras kemiska föreningar, däribland flyktiga organiska ämnen (=MVOC=Microbial Volatile Organic Compunds). Under de

senaste åren har mätningen av dessa ämnen i inneluften utvecklats i synnerhet för tillämpning vid mätning av mögel som ligger gömt inne i konstruktioner.

Vid Helsingfors stads miljöcentrals miljölaboratorium undersöktes mögelspor- och MVOC-utsläppen från byggmaterial i laboratorieförhållanden. Test utfördes i fyra provkammrar, där relativa luftfuktigheten under de fem första veckorna hölls vid en för mögelbestånden gynnsam nivå. Därefter lät man de mögliga materialen torka. De olika materialen var trä, isoleringsull, inredningsskivor och vindsyddsskivor.

I alla kamrar utom en sjönk mögelsporhalten i materialen under försökets gång. Halterna höll sig dock hela tiden på en nivå som påvisade mögling (10^4 - 10^5 st/g). I början förekom mögelsvampsläktet *Penicillium* i störst mängd. Av s.k. fuktindikatorer förekom släakterna *Trichoderma* och *Acremonium* i trämaterial och isoleringsull. Av de i inredningsskivan förekommande mögelsläkterna var *Trichoderma* en fuktindikator, i vindsyddsskivan mögelsvampsläktet *Phialophora*. I trämaterialen förändrades inte sammansättningen av mögelsvampsläkten väsentligt under försökets gång. I slutet av försöket konstaterades *Phialophora*-mögel i isoleringsullen, förutom de mögelsläkten som konstaterades redan i början av försöket. I inredningsskivan konstaterades mögelsvampen *Oidiodendron* utöver den redan tidigare konstaterade fuktindikatorn. I vindsyddsskivan hade ett bestånd av *Penicillium*-mögel erövrat materialet då försöket avslutades.

Av MVOC-föreningar fastställdes halterna av mögelindikatorerna 3-metylbutanol, 2-hexanon, 1-okten-3-ol och geosmin i kamrarnas luft. Geosmin påträffades inte alls. Halterna av övriga föreningar sjönk i allmänhet under försökets gång. Ett undantag utgjorde kammaren med vindsyddsskivan, där den relativa luftfuktigheten ännu vid försökets slut var 75 %. I denna kammare steg halterna av 2-heptanon, 2-hexanon och 3-metylbutanol något i de prov som togs efter att fuktningen avslutats. Halterna av 2-heptanon och 2-hexanon i kamrarnas luft var vid försökets slut högre än vid försökets början.

Förändringarna i MVOC-halterna i kamrarna tyder på att MVOC-halterna skulle kunna användas som indikatorer på aktivt mögel. I denna undersökning var halterna av MVOC-föreningar som producerades av intorkat mögel knappt över detektionsgränsen eller under gränsen. Två av dessa material visade inga prov på produktion av mögelsvampsporor. Resultaten har betydelse när det diskuteras allmänt hur omfattande reparationsåtgärderna i samband med mögelskador borde vara.

JOHDANTO

Tutkimusten mukaan yli 50 %:ssa Suomen rakennuksista on jonkinasteinen kosteusvaurio (1,2). Jos kosteus säilyy rakenteissa riittävän pitkään, niihin kehittyy homevaurio. Homevaurio huonontaa sisäilman laatua, koska homekasvusto tuottaa itiöitä, haihtuvia aineenvaihduntatuotteita (MVOC) ja joskus toksineja. Nämä päätyvät yleensä tavalla tai toisella sisäilmaan aiheuttaen terveydellisiä haittoja niille altistuneille.

Nykyisin käytössä olevat mikrobiologiset menetelmät rakennusten homevaurioiden toteamiseksi perustuvat elinkykyisten homeitiöiden pitoisuuden määrittämiseen viljelytekniikalla rakennusmateriaaleista ja sisäilmanäytteistä sekä materiaalien ja materiaaleista otettujen näytteiden mikroskooppiseen tutkimukseen. Ongelmia tuottavat kuitenkin ne kohteet, joissa epäillään homekasvuston olevan rakenteiden sisällä piilossa ja joissa sisäilmassa ei havaita poikkeavia homeitiöpitoisuuksia. Tällöin homevaurioon viittaavia tekijöitä voivat olla hajut tai asukkaiden oireet. Analyttisiä vaikeuksia liittyy myös niiden tapausten selvittämiseen, joissa homevaurio on havaittu ja korjattu, mutta halutaan kuitenkin luotettavasti todeta, että korjaus on ollut riittävä.

Homesienten aineenvaihdunnan tuloksena syntyy alkoholeja, ketoneja, terpeenejä ja lukuisia muita haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, joista osa vapautuu ympäristöön. Vapautuvien yhdisteiden laatu ja määrä riippuvat homeiden kasvuolosuhteista (kasvualusta, kosteus, lämpötila, valo, happi) ja homesienisuvusta (3-8). MVOC:ien määrittämistä sisäilmasta on viime vuosina kehitetty nimenomaan rakenteiden sisällä piilossa olevien homekasvustojen toteamismenetelmäksi.

Useiden tutkimusten mukaan homevaurioisten rakennusten sisäilmasta mitatut tiettyjen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ovat korkeammat kuin ulkoilman tai vertailurakennusten ilman pitoisuudet (9,10). Tulosten tulkinta vaatii kuitenkin lisää tietoa, jotta löydetään luotettavat indikaattoryhdisteet, MVOC:ien tavanomaiset sisäilman pitoisuudet ja mahdolliset raja-arvot näiden yhdisteiden esiintymiselle sisäilmassa.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli seurata homeisten rakennusmateriaalien homeitiö- ja MVOC-päästöjä laboratorio-olosuhteissa, rakennuksissa esiintyviä kosteus- ja lämpöolosuhteita jäljitellen. Homevaurioisista rakennuksista otettuja materiaaleja säilytettiin suljetuissa kammioissa ensin homehtumisen kannalta optimikosteudessa ja annettiin sitten vähitellen itsestään kuivua. Kammioista otettiin ensimmäinen ilmanäyte 17 vuoro-

kauden kuluttua ja sen jälkeen viikottain näytteet 7 viikon ajan. Näytteistä analysoitiin homeitiöpitoisuudet sekä määritettiin viiden MVOC-yhdisteiden pitoisuudet.

MATERIAALIT JA MENETELMÄT

Koejärjestelyt ja tutkitut materiaalit

Koe suoritettiin huoneenlämmössä (noin 24°C) neljässä suljetussa lasikammiossa, jotka oli suojattu päivänvalolta. Koejärjestely on esitetty kuvassa 1. Kosteusolosuhteiden saavuttamiseksi kammion 1 pohjalla oli yksi litra vettä ja muiden kammioiden pohjalla yksi litra ylikyllästettyä natriumkarbonaattiliuosta. Materiaalit asetettiin kammioon reiällisen välipohjan päälle siten, että ne eivät koskettaneet nestepintaa. Kostutusliuokset poistettiin 31 vuorokauden kuluttua ja materiaalien annettiin kuivua. Kammioiden ilmanvaihto toimi teräskapillaariputken kautta kalvopumpun avulla ja oli säädetty siten, että kammioiden koko ilmatilavuus vaihtui noin kerran puolestoista vuorokaudessa. Tuloilma johdettiin mikrobi- ja aktiivihiilisuodattimen kautta saastumisen välttämiseksi.

Ilman suhteellisen kosteuden mittaamiseen kammiossa käytettiin Vaisala HMI 31-kosteusmittaria, jonka anturi liitettiin poistokapillaariin. Kammioiden ilmanvaihdon mittaamiseksi jokaisen kammion poistoilmakapillaarista mitattiin ulosvirtaus. Käytetty mitta-laite oli Alltech Digital Flow Check. Ilman vaihtuvuus pidettiin vakiona mittaamalla joka päivä mikrobisuodattimen alipaineisuus. Aktiivihiilisuodattimen tilalle kiinnitettiin ohut silikoniletku, johon imettiin vesipatsas, jonka korkeus pidettiin 5 cm:ssä säätämällä imupumpun tehoa.

Kokeessa tutkitut rakennusmateriaalit olivat peräisin kahdesta homevaurioisesta rakennuksesta, ns. parakkikoulusta ja -päiväkodista. Näytteet kammioissa 1-3 olivat Pukinmäen ala-asteen koulusta ja näyte kammiossa 4 Tapanilan päiväkodista.

Kammiossa 1 oli puuta seinän alakoolauksesta. Puumateriaalin paino kokeen aloitushetkellä oli 350 g. Puun pinnalla oli silmin havaittavaa homekasvustoa. Kammiossa 2 oli eristevillaa samasta seinästä, paino 160 g. Kammioihin 1 ja 2 asetetut materiaalit olivat erittäin märkiä ja Pukinmäen ala-asteen seinärakennetta avattaessa tuntui selvä home-mainen haju. Kolmannessa kammiossa oli sisustelevyä samasta kohteesta ja samasta

kohtaa seinärakennetta. Materiaalin paino oli 2200 g. Sen sisäpinnalla oli havaittavissa homekasvustoa. Kammiossa 4 oli tuulensuojalevyä Tapanilan päiväkodista ikkunan alta, paino 910 g. Levy oli erittäin kosteaa ja murtui helposti palasiksi.

Materiaalien mikrobipitoisuudet ja homesienisuvustot

Jokaisesta materiaalista otettiin kokeen alussa teippinäyte painamalla kirkas, läpinäkyvä teippi tutkittavaan pintaan. Teippiin tarttunutta materiaalia tutkittiin valomikroskoopilla 400-kertaisella suurennoksella homekasvuston varmistamiseksi.

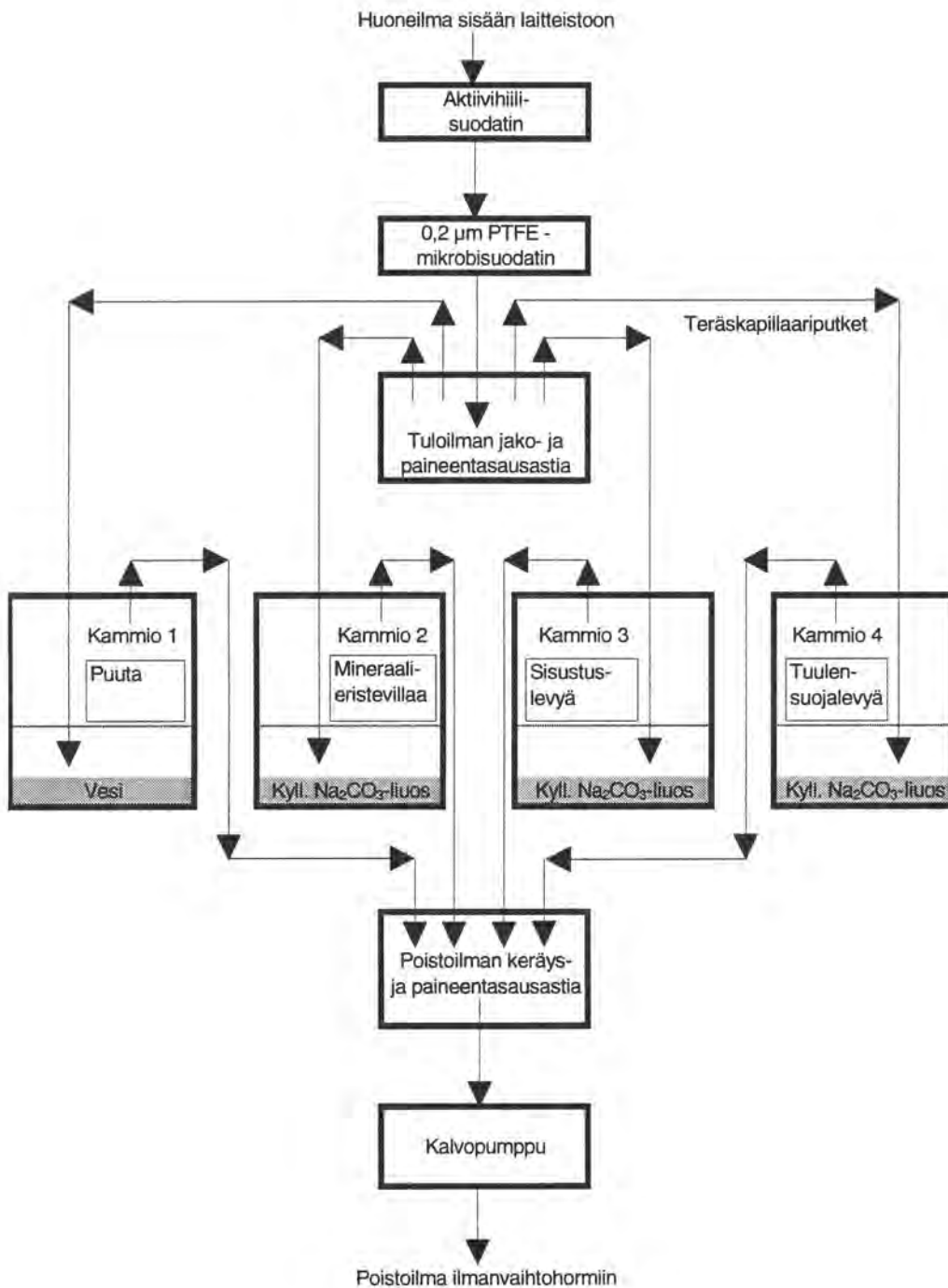
Kaikissa kokeissa käytetyistä materiaaleista määritettiin homeitiöpitoisuus ja homesienisuvut ennen kokeen aloittamista sekä kokeen suorittamisen jälkeen viljelytekniikalla. Määritykset tehtiin Sosiaali- ja terveysministeriön ohjeen (11) mukaan sillä poikkeuksella, että viljelyssä käytettiin yhden elatusaineen sijasta viittä eri elatusainetta: 2% mallasagar (20 g/l mallasuutetta Difco, 15 g/l Bactoagar, 100 mg/l kloramfenikolia); dikloraani-glyseroliagar (DG 18, Oxoid); vihannesmehuagar (20 g/l Biotta-juuresmehua, 20 g/l Bactoagar, 100 mg/l kloramfenikolia); Czapek-Dox-agar (Merck). Näistä elatusaineista 2 % mallasagar on STM:n esittämä homesieniagar (11). Eri elatusaineilla saatuja homeitiöpitoisuuksien eroja testattiin χ^2 -testillä (5 %:n merkitsevyystaso).

Ilmanäytteiden mikrobipitoisuudet

Kammioista otettiin ilmanäytteitä noin kerran viikossa ilmassa olevien elinkykyisten mikrobien määrän selvittämiseksi. Näytteenotossa käytettiin Andersen mikrobikeräintä (11). Ensimmäinen näyte otettiin 17 vuorokauden kuluttua siitä, kun näytteet oli asetettu kammioon. Näytteenottoa jatkettiin viikottain 58 vuorokauden ajan. Näytteenoton ajaksi kyseinen kammio irrotettiin ilmanvaihtojärjestelmästä. Näyte otettiin poistoilmakapillaarista ja tuloilmakapillaariin liitettiin mikrobi- ja aktiivihiihliisuodatin.

Andersen keräimeen rakennettiin adapteri, jolla se saatiin liitettyä poistoilmakapillaariin. Alipaineen annettiin tasaantua kammiossa muutaman minuutin ajan ennen keräimen irrottamista. Näytteenottoaika oli 1 minuutti ja näytteitä kerättiin em. homeiden elatusaineille.

Kuva 1. Homeisten rakennusmateriaalien MVOC- ja mikrobipäästöjen seurannassa käytetty koelaitteisto.



Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (MVOC) mittaaminen

Mikrobien tuottamien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittaamista varten kammioista kerättiin ilmanäytteet Tenax-hartsisiin. Ensimmäinen näyte otettiin 17 vuorokauden kuluttua siitä, kun näytteet oli asetettu kammioon. Näytteenottoa jatkettiin viikottain 58 vuorokauden ajan. Näytteenoton ajaksi kammiot irroitettiin ilmanvaihtojärjestelmästä. Näytteet otettiin liittämällä Tenaxilla pakattu putki suoraan kammion poistoilmakapillaariin ja imemällä sen läpi kammion ilmaa 30 min SKC Low Flow Sampler 222-3 -pumpulla virtausnopeuden ollessa noin 80 ml/min. Tuloilmakapillaariin liitettiin mikrobi- ja aktiivihiihliuodattimet. Tenax-putkien pakkaaminen, esikäsitely ja näytteen analysointi termodesorptio/kaasukromatografi/massaspektrometrillä tehtiin kuten on aiemmin kuvattu (12).

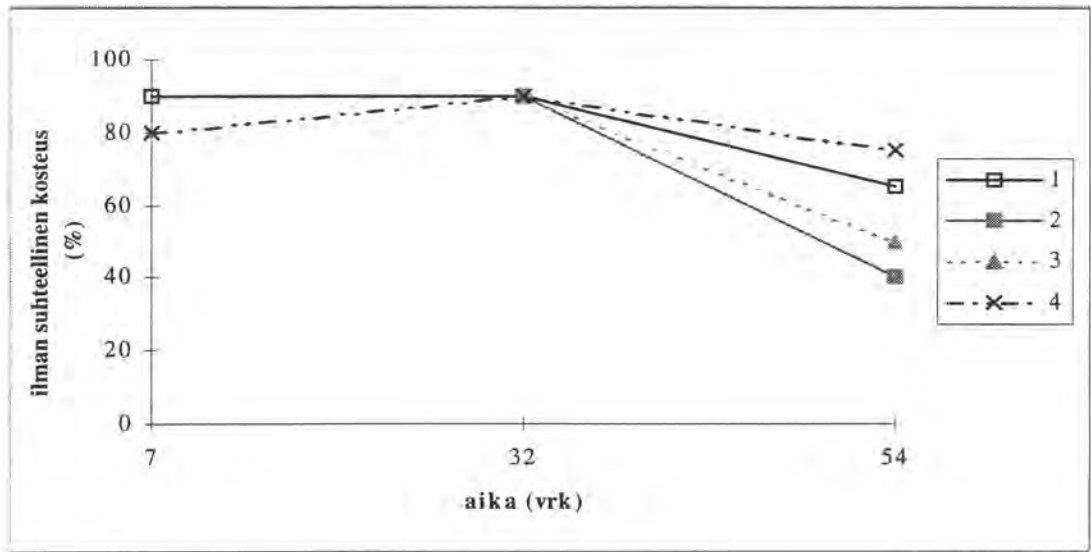
Näytteet analysoitiin valikoitujen ionien monitorointi ohjelmalla (SIM=Selected Ion Monitoring) ja pitoisuudet määritettiin viidelle yhdisteelle, joita kirjallisuustietojen perusteella voidaan mahdollisesti käyttää homekasvun indikaattoreina: 3-metyyliibutanoli, 2-heksanoni, 2-heptanoni, 1-okteeni-3-oli ja geosmiini (9,10,13). Muutaman kerran otettiin lisäksi rinnakkaisnäytteet, joista mitattiin kokonaisspektri.

TULOKSET

Koeolosuhteet

Ilman suhteellisen kosteuden muutos kokeen aikana on esitetty kuvassa 2. Ensimmäisellä kerralla mitattiin kaikkien kammioiden keskimääräiseksi ilmankosteudeksi 86 %. Kammion 3 (kyll. Na₂CO₃-liuos) ilmankosteus oli 82 %, kammioiden 2 ja 4 (kyll. Na₂CO₃) 80 %. Suhteellisen kosteuden vettä sisältävässä kammiossa 1 arvioitiin olevan noin 90 %. Nämä mittaukset tehtiin 7 vuorokautta kokeen aloittamisen jälkeen. Toinen mittaus tehtiin 32 vuorokauden kuluttua kokeen aloittamisesta, jolloin kosteudet mitattiin kaikista kammioista erikseen ja tulokseksi saatiin kaikista kammioista noin 90 %. Kolmas mittaus tehtiin, kun kokeen aloittamisesta oli kulunut 54 vrk ja ilmankosteutta ylläpitävien liuosten poistosta 21 vrk. Kammiossa 1 ilman suhteellinen kosteus oli mittaushetkellä noin 65 %, kammiossa 2 noin 40 %, kammiossa 3 noin 50 % ja kammiossa 4 noin 75 %.

Kuva 2. Ilman suhteellinen kosteus kammioissa 1-4. Materiaalien kostutus lopetettu 31 vrk:n kohdalla



Jokaisesta kammioista mitattiin ulosvirtaukset ennen natriumkarbonaattiliuoksen tai veden poistoa. Lukemat olivat 6,6; 6,7; 6,6 ja 6,4 cm³/min (kammiot 1,2,3 ja 4 tässä järjestyksessä). Liuoksen tai veden poiston jälkeen, siis sen jälkeen, kun kammioiden kuivaaminen aloitettiin, virtaukset olivat 7,2; 7,4; 7,0 ja 7,2 cm³/min.

Materiaalien mikrobipitoisuudet ja homesienisuvustot

Teippinäytteiden mikroskooppinen tutkimus

Materiaaleista otettujen teippinäytteiden mikroskooppisessa tutkimuksessa havaittiin seuraavaa:

Näyte 1, puumateriaali: monen eri homesienisuvun muodostamaa homesienikasvustoa ja irrallisia homesieni-itiöitä, mm. *Acremonium*-, *Alternaria/Ulocladium*- ja *Cladosporium*-homesienisuvuille tyypillistä kasvustoa sekä sädesienirihmastoja.

Näyte 2, eriste villaa: jonkin verran homesienirihmastoja, homesieni-itiöitä, askuksia, mm. *Paecilomyces*-tyypistä.

Näyte 3, sisustuslevyä: monen eri homesienisuvun itiöitä ja rihmastoja, mm. *Acremonium*-, *Paecilomyces*- ja *Penicillium*-tyypin homesienikasvustoa.

Näyte 4, tuulensuojalevyä: homesienirihmastoja, jonka tarkempi tunnistaminen ei ollut mahdollista, koska näytteessä oli mukana paljon levystä irronnutta materiaalia.

Materiaalinäytteiden viljely

Taulukossa 1 on esitetty tutkittujen materiaalien homeitiöpitoisuudet eri elatusaineilla määritettynä sekä kokeen alussa että lopussa. Materiaalien eri elatusaineilla saadut homeitiöpitoisuudet poikkesivat toisistaan merkitsevästi (5 %:n merkitsevyystaso). Materiaalien viljelmistä tunnistetut homesienisuvut kokeen alussa ja kokeen lopussa on esitetty taulukoissa 2 ja 3. Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että viljelyt kokeen alussa ja lopussa on tehty eri kohdasta materiaaleja ja että homekasvusto oli silmämääräisesti jakaantunut epätasaisesti materiaaleille.

Taulukko 1. Materiaalien homeitiöpitoisuudet (kpl/g) kokeen alussa (A) ja kokeen lopussa (B) viidellä eri elatusaineella määriteltynä.

Materiaali	Mallas-agar		DG 18		Czapek-Dox		Vihannesmehu	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Puu	300 000	41 000	137 000	37 000	55 000	44 000	100 000	74 000
Eristevilla	145 000	230 000	250 000	130 000	300 000	200 000	180 000	150 000
Sisustuslevy	820 000	200 000	920 000	230 000	540 000	84 000	870 000	220 000
Tuulensuojalevy	6 500	160 000	4 800	13 000	5 500	14 000	7 300	13 000

Ilmanäytteiden mikrobipitoisuudet

Koekammioista otettujen ilmanäytteiden homeitiöiden pitoisuudet kpl/m³ laskettuna on esitetty taulukossa 4. Kpl/m³-laskelma on tehty sillä oletuksella, että yhden minuutin näytteenotto vastaa noin 15 litraa ilmaa. Tarkkaa tilavuutta ei voitu määrittää, koska mikrobisuodin ja ohuet kapillaarit hidastivat korvausilman tuloa näytteenoton aikana niin paljon, että Andersen keräimen pumpun teho laski muutamassa sekunnissa noin kymmeneen litraan minuutissa. Olosuhteet olivat kuitenkin jokaisessa näytteenotossa samat.

Taulukko 2. Materiaalien tunnistetut homesienisuvut (tunnistukset tehty viideltä eri elatusaineelta) kokeen alussa.

Materiaali	Tunnistettu homesienikasvusto
Puu	<i>Penicillium spp.</i> <i>Trichoderma</i> <i>Acremonium</i> <i>Phoma</i>
Eristevilla	<i>Penicillium spp.</i> <i>Trichoderma</i> <i>Acremonium</i> <i>Chrysosporium</i>
Sisustuslevy	<i>Penicillium spp.</i> <i>Trichoderma</i> <i>Paecilomyces</i>
Tuulensuojalevy	<i>Penicillium spp.</i> <i>Phialophora</i> <i>Cladosporium</i> <i>Chrysosporium</i>

Taulukko 3. Materiaalien eri elatusaineilta tunnistetut homesienisuvut kokeen lopussa

Materiaali	Tunnistettu homesienikasvusto			
	Mallasagar	DG 18	Czapek-Dox	Vihannesmehu
Puu	<i>Trichoderma</i> *)	<i>Penicillium spp.</i> <i>Paecilomyces</i> <i>Acremonium</i>	<i>Penicillium spp.</i> <i>Trichoderma</i> <i>Acremonium</i>	<i>Penicillium spp.</i> <i>Acremonium</i>
Eristevilla	<i>Penicillium spp.</i> <i>Trichoderma</i> <i>Acremonium</i> <i>Phialophora</i>	<i>Penicillium spp.</i> <i>Trichoderma</i> <i>Acremonium</i> <i>Paecilomyces</i>	<i>Penicillium spp.</i> <i>Trichoderma</i> <i>Acremonium</i>	<i>Penicillium spp.</i> <i>Acremonium</i>
Sisustuslevy	<i>Penicillium spp.</i> <i>Trichoderma</i>	<i>Penicillium spp.</i> <i>Paecilomyces</i> <i>Cladosporium</i> <i>Oidiodendron</i>	<i>Penicillium spp.</i>	<i>Penicillium spp.</i> <i>Trichoderma</i>
Tuulensuojalevy	<i>Penicillium spp.</i>	<i>Penicillium spp.</i>	<i>Penicillium spp.</i>	<i>Penicillium spp.</i>

*) homesienikasvuston ylikasvu maljalla




Taulukko 4. Eri materiaalien koekammioiden ilmanäytteiden homeitiöpitoisuudet (kpl/m³). Materiaalien kostutus lopetettu 31 vrk:n kohdalla.

Kammio 1	16 vrk	19 vrk	26 vrk	33 vrk	40 vrk	52 vrk	59 vrk
puu	1500	130	400	ei todettu	ei todettu	ei todettu	ei todettu

Kammio 2	16 vrk	19 vrk	26 vrk	33 vrk	40 vrk	52 vrk	59 vrk
eristevilla	400	730	730	ei todettu	ei todettu	ei todettu	ei todettu

Kammio 3	16 vrk	19 vrk	26 vrk	33 vrk	40 vrk	52 vrk	59 vrk
sisustuslevy	3900	530	ei todettu	600	7300	730	200

Kammio 4	16 vrk	19 vrk	26 vrk	33 vrk	40 vrk	52 vrk	59 vrk
tuulensuojal.	800	ei todettu	3800	1600	2600	130	270

	= määrittäminen DG-18-agarilla
	= määrittäminen vihannemehuagarilla
	= määrittäminen 2% mallasagarilla

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet

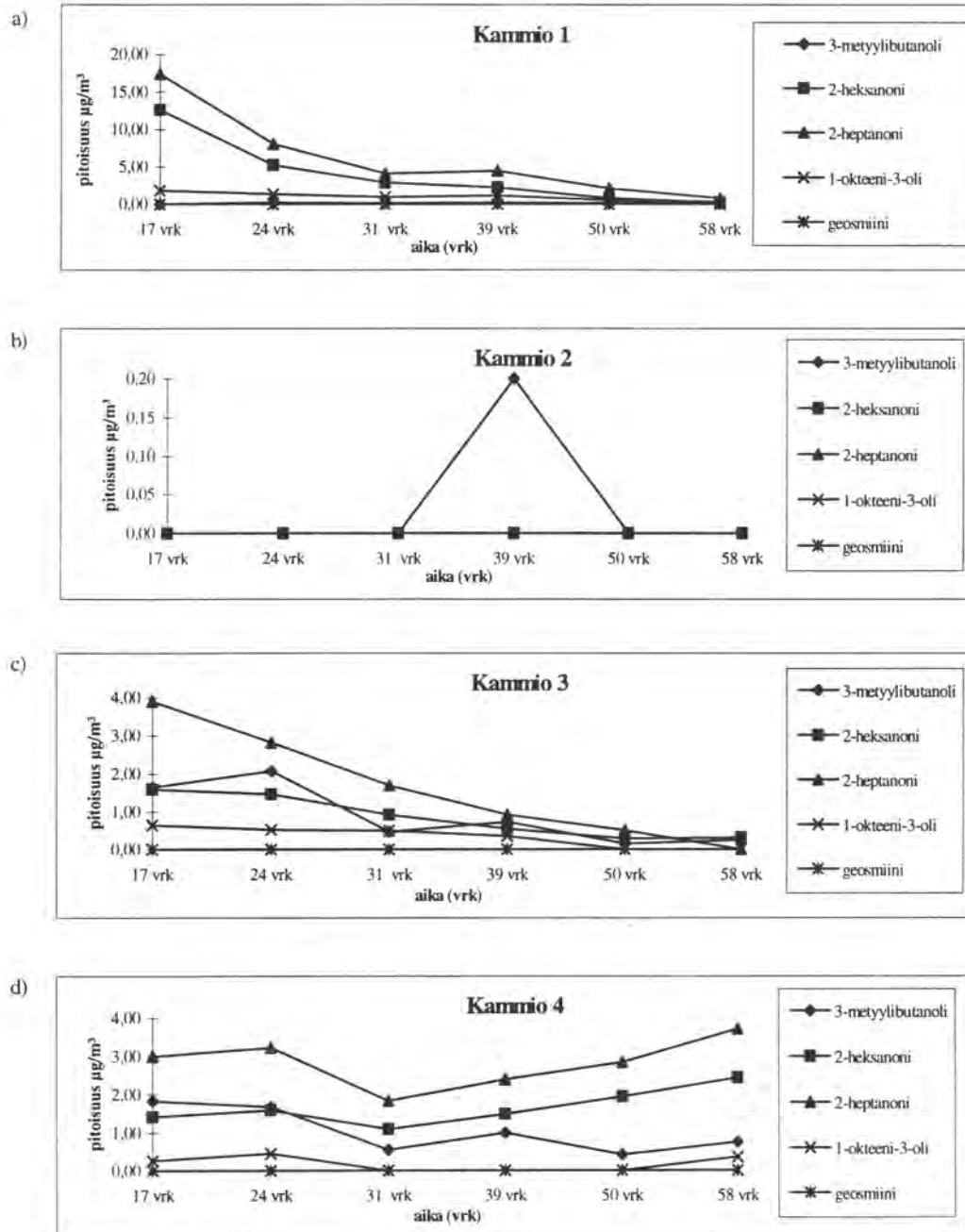
Jokaisesta kammioista mitattiin noin viikon välein ilmanäytteiden avulla viiden haihtuvan orgaanisen yhdisteen pitoisuuksia. Nämä yhdisteet olivat 3-metyylibutanoli, 2-heksanoni, 2-heptanoni, 1-okteeni-3-oli ja geosmiini. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 5 ja kuvassa 3 (a-d).

Taulukko 5. Eri materiaalien koekammioiden ilman MVOC-mittaustulokset ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

	Kostutettu materiaali			Kuivuva materiaali		
	17 vrk	24 vrk	31 vrk	39 vrk	50 vrk	58 vrk
Kammio 1, puu	17 vrk	24 vrk	31 vrk	39 vrk	50 vrk	58 vrk
3-metyylibutanoli	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
2-heksanoni	12,57	5,22	2,89	2,27	0,84	0,23
2-heptanoni	17,41	8,01	4,10	4,50	2,15	0,81
1-okteeni-3-oli	1,89	1,35	0,99	1,18	0,58	0,33
geosmiini	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Kammio 2, eristevilla	17 vrk	24 vrk	31 vrk	39 vrk	50 vrk	58 vrk
3-metyylibutanoli	<0,5	<0,5	<0,5	0,20	<0,5	<0,5
2-heksanoni	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
2-heptanoni	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0	<1,0
1-okteeni-3-oli	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1	<1,1
geosmiini	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Kammio 3, sisustuslevy	17 vrk	24 vrk	31 vrk	39 vrk	50 vrk	58 vrk
3-metyylibutanoli	1,64	2,08	0,46	0,72	0,15	0,24
2-heksanoni	1,58	1,46	0,92	0,54	0,29	0,32
2-heptanoni	3,91	2,83	1,69	0,92	0,51	0,00
1-okteeni-3-oli	0,64	0,52	0,49	0,36	<1,1	<1,1
geosmiini	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8
Kammio 4, tuulensuojal.	17 vrk	24 vrk	31 vrk	39 vrk	50 vrk	58 vrk
3-metyylibutanoli	1,84	1,68	0,54	0,99	0,42	0,75
2-heksanoni	1,41	1,59	1,09	1,48	1,94	2,43
2-heptanoni	2,99	3,22	1,84	2,40	2,84	3,72
1-okteeni-3-oli	0,26	0,45	<1,1	<1,1	<1,1	0,36
geosmiini	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8	<0,8

< = pitoisuus alle määrittäysrajan

Kuva 3 (a-d). Kammioista 1-4 mitatut MVOC-pitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$). Materiaalien kostutus lopetettu 31 vrk:n kohdalla.



POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli seurata homeisten rakennusmateriaalien mikrobi- ja MVOC-päästöjä laboratorio-olosuhteissa, rakennuksissa esiintyviä kosteus- ja lämpöolosuhteita jäljitellen. Tätä varten homevaurioisista rakennuksista otettuja materiaaleja säilytettiin suljetuissa kammioissa ensin homehtumisen kannalta optimikosteudessa ja annettiin niiden sitten vähitellen kuivua itsestään.

Materiaalien kosteutta kokeen aloitushetkellä ei mitattu. Kokeen aikana materiaalien homehtumisalttiutta seurattiin mittaamalla kammioilman suhteellista kosteutta. Erot eri kammioiden suhteellisessa kosteudessa ja siten materiaalien kuivumisessa selittyvät materiaalien eri määrillä ja niiden alkuperäisellä rakennekosteudella ennen kokeen aloittamista sekä niiden erilaisella kyvyllä pidättää kosteutta. Kammiossa 3 ja 4 (sisustuslevy ja tuulensuojalevy) oli materiaalia huomattavasti enemmän kuin kahdessa muussa kammiossa. Tuulensuojalevy puolestaan oli ehkä aloitushetkellä jonkin verran kosteampaa kuin sisustuslevy.

Kammiossa 1 oli tarkoitus pitää kokeen alussa yllä korkeampaa ilmankosteutta kuin muissa kammioissa (n. 90 %), mutta kosteus asettui kaikissa kammioissa samalle n. 80 %:n tasolle.

Kammioiden koko ilmatilavuus vaihtui kerran noin 38 tunnin aikana ennen kostutusliuosten poistoa ja kerran noin 35 tunnissa liuosten poistamisen jälkeen. Arvioimme tämän vastaavan oloja seinärakenteiden sisällä. Laskelmissa ei ole otettu huomioon itse materiaalien tilavuutta ja sen vaikutusta ilmatilavuuteen.

Kammioissa 1, 2 ja 3 olleiden materiaalien homeitiöpitoisuudet laskivat kokeen kuluessa ollen kuitenkin koko ajan selvästi homehtumista osoittavalla tasolla eli 10^4 - 10^5 pmy/g (14). Kammiossa 4 olleen tuulensuojalevyn homeitiöpitoisuus sen sijaan nousi kokeen edetessä. Koska homekasvusto oli silminnähden epätasaisesti jakautunut materiaaleissa, voi tulos johtua siitä, mutta myös kosteusolosuhteiden säilymisellä kammiossa 4 homekasvustolle otollisena on vaikutuksensa itiöpäästöjen määrään. Kunkin materiaalin itiöpitoisuudet sekä kokeen alussa että kokeen lopussa eri elatusaineilla määritettynä poikkesivat merkitsevästi toisistaan. Tulosten perusteella ei voitu tehdä johtopäätöstä jonkin elatusaineen paremmuudesta, vaan korkeimman pitoisuuden tuotto vaihteli niin eri materiaalien välillä kuin myös eri viljelyjen välillä. Erot saman materiaalin eri elatusaineilla saatujen pitoisuuksien välillä pienenevät keskimääräisen pesäluvun pienetessä.

Tämä osoittaa sitä, että mikäli viljelymenetelmää käytetään yksin ilman materiaalin mikroskooppista homesienikasvuston paljastavaa tutkimusta toteamaan homesienikasvusto rakenteessa, on hyvä käyttää useampia erilaisia elatusaineita tuloksen luotettavuuden lisäämiseksi.

Viljelyjen perusteella *Penicillium* -suku oli kaikissa materiaaleissa esiintyvä homesieni sekä kokeen alussa että kokeen päättyessä lukuun ottamatta kammiossa 1 ollutta puumateriaalia. Ns. kosteusindikaattoreista (15) esiintyi puu- ja eristevillanäytteessä *Trichoderma* lisäksi *Acremonium*-homesieni. Sisustuslevynäytteessä esiintyneistä homesienistä kokeen alussa oli kosteusindikaattori *Trichoderma*. Puun mallasagarviljelyssä saatiin kokeen lopussa esille *Trichoderma*-home, joka leviävän kasvutapansa takia todennäköisesti esti muun homesienikasvuston esille saamisen, mutta muuten ei puumateriaalin homesienikasvusto oleellisesti muuttunut kokeen aikana. Eristevillanäytteessä todettiin jo kokeen alussa todettujen homeiden lisäksi *Phialophora* -homesientä. Sisustuslevynäytteessä todettiin jo esiintyneen kosteusindikaattorin lisäksi *Oidiodendron* -homesientä. Tuulensuojalevystä ei saatu viljelyissä esille muuta kuin *Penicillium*-homesienikasvustoa.

Materiaaleista otettujen teippinäytteiden perusteella niissä kaikissa esiintyi ennen kokeen aloittamista homesienikasvustoa. Teippinäyte ei ole keino tunnistaa rakennusmateriaalien homeita. Jos kasvusto kuitenkin on hyväkuntoista, voi mikroskooppisen tarkastelun perusteella tunnistaa monia homesienisukuja. Tutkituista näytteistä tunnistetut homeet kuuluivat samoihin homesienisukuihin kuin viljelyissä esille saadut homesienet. Kammiossa 1 olleessa puumateriaalissa todettiin kuitenkin mikroskooppisesti myös *Alternaria/Ulocladium*-tyypin homeita, joka yleensä hidaskasvuisena homeena tulee hyvin heikosti esille sellaisissa viljelmissä, joissa on nopeasti kasvavia homeita kuten *Penicilliumia*.

Jos ei kiinnitetä huomiota silmämääräisiin havaintoihin vaan verrataan rakennusmateriaaleista mikrobiologisin tutkimusmenetelmin saatuja tuloksia keskenään, voidaan yhteenvedon todeta, että sekä viljelymenetelmällä että mikroskooppisella tutkimuksella puumateriaali, eristevilla ja sisustuslevynäytteet oli selvästi tulkittavissa homeisiksi. Tuulensuojalevystä todettiin mikroskooppisesti selvästi homesienikasvustoa. Sen sijaan viljelyissä sen homeitiöpitoisuus jäi kokeen alussa alle 10 000 kpl/g, minkä on esitetty olevan homevauriota osoittava itiöpitoisuus (14). Viljelyissä ei myöskään saatu esille ns. kosteusindikaattoreita.

3-Metyylibutanolia tuottavat monet homeet, mm. *Cladosporium cladosporioides*, *Paecilomyces variotii*, useat *Penicillium*-lajit, *Phialophora fastigiata*, *Streptomyces albidoflavus* ja *Trichoderma viride*. 2-Heksanonia tuottavat ainakin *Eurotium repens* ja *Paecilomyces variotii*, 2-heptanonia edellisten lisäksi *Penicillium commune* ja *Trichoderma viride*. 1-Okteeni-3-olia tuottavat kirjallisuuden mukaan jotkut *Aspergillus*- ja *Penicillium*-lajit sekä *Phialophora fastigiata*. Geosmiinia tuottavat ainakin *Aspergillus versicolor*, *Chaetomium globosum*, *Penicillium commune* ja *Penicillium expansum* (13).

Geosmiinia ei todettu yhdessäkään kammioista otetuissa ilmanäytteissä. Kaikkien määritettyjen yhdisteiden pitoisuudet laskivat koko kokeen ajan muissa kammioissa paitsi kammiossa 4, jossa 2-heptanonin, 2-heksanonin ja 3-metyylibutanolin pitoisuudet nousivat vähän kammioista kostutusliuosten poistamisen jälkeen otetuissa näytteissä.

Kammiossa 1 mitattiin aluksi muihin kammioihin verrattuna korkeita 2-heksanoni ja 2-heptanoni-pitoisuuksia, jotka laskivat kuitenkin kokeen aikana. Kammiossa 2 kaikkien viiden yhdisteen pitoisuudet olivat koko kokeen ajan alle toteamisrajan. Näin siitä huolimatta, että kammiossa olleella eristevillalla kasvoi viljelyjen perusteella useita mitattuja yhdisteitä tuottavia homesieniä. Ilmeisesti olosuhteet olivat kuitenkin sellaiset, että homeet eivät kasvaneet tai ainakaan tuottaneet kyseisiä yhdisteitä.

Kammiossa 3 nousi 3-metyylibutanolin pitoisuus ensin hieman ollen korkeimmillaan 24 vuorokauden kohdalla, mutta laski sitten 31 vuorokauden kohdalla pysytellen loppuajan alle $1\mu\text{g}/\text{m}^3$. 2-Heksanonin, 2-heptanonin ja 1-okteeni-3-olin pitoisuudet laskivat koko ajan, viimeksimainitun ollessa koko ajan alle $1\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tässä kammiossa olleessa materiaalissa valtalajina olivat *Penicillium*-lajit, mutta siinä esiintyi myös *Paecilomyces*, *Trichoderma* ja *Cladosporium* -homesieniä, jotka kaikki voivat tuottaa kaikkia mitattuja yhdisteitä.

Kammiossa 4 todettiin 1-okteeni-3-olia vain hyvin pieniä määriä, alle $1\mu\text{g}/\text{m}^3$. Muista kammioista poiketen 2-heksanonin, 2-heptanonin ja 3-metyylibutanolin pitoisuudet kammion 4 ilmassa alkoivat nousta kostutusliuosten poistamisen jälkeen. Viimeisessä mittauksessa 58 vuorokauden kokeen aloittamisesta 2-heksanonin ja 2-heptanonin pitoisuudet olivat noin $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ korkeammat kuin kokeen alussa. Tämän kammion ilmankosteus oli 54 vuorokauden jälkeen mitattuna vielä 75 %, mikä viittaisi siihen, että kammiossa vallitsivat vielä suotuisat olosuhteet homeiden kasvulle. Myös sekä viljelytulosten että silminnähtävien havaintojen perusteella materiaalin homeisuus oli lisääntynyt. On siis mahdollista, että homekasvu oli aktiivista vielä kokeen loppuvaiheessa, ja koho-

avat MVOC-pitoisuudet johtuivat kasvuston aineenvaihdunnasta. Tällä tuulensuojalevyllä kasvoivat viljelytulosten mukaan ainakin *Cladosporium*, *Phialophora* ja useita *Penicillium*-lajeja, joiden on todettu tuottavan kaikkia todettuja yhdisteitä.

Huomattavaa on, että kammioista 1 ja 2 otetuissa näytteissä ei ollut 26 vuorokauden jälkeen enää ollenkaan elinkykyisiä itiöitä ilmassa. Tämä voi johtua siitä, että niissä oli vähemmän materiaalia ja siis vähemmän itiöitä tuottavaa homekasvustoa kuin kammioissa 3 ja 4 tai siitä, että ne kuivuivat liikaa siirrettäessä materiaaleja rakennuksesta koekammioon.

Kokeen alussa mitatut loppuvaiheeseen verrattuna korkeammat MVOC-pitoisuudet johtuivat ehkä sitoutuneista yhdisteistä, jotka vähitellen vapautuivat materiaaleista ilmatilaan. Itiöinnin loppuminen ja laskevat MVOC-pitoisuudet saattavat viitata siihen, että olosuhteet kammioissa eivät enää olleet homeiden aktiiviselle aineenvaihdunnalle ja itiöinnille otollisia. Näytteiden kuivuminen ei tietenkään poistanut niistä homekasvustoa, mutta itiöintiä ei enää tapahtunut vaan kaikkien näytteiden homeitiöpitoisuus oli selvästi alle sisäilman ohjearvon 500 kpl/m^3 (14).

MVOC-pitoisuuksien muutokset kammiossa 4 viittaavat siihen, että MVOC-pitoisuuksia voisi käyttää aktiivisen homekasvun indikaattoreina. Sekä MVOC-pitoisuuksien että rakennusmateriaalien ilmaan vapauttavien homeitiöiden määrityksillä ei kokeen perusteella sen sijaan saa tietoa kuivuneesta homekasvustosta. Keskustelua käydään siitä, kuinka laajoja korjaavien toimenpiteiden tulisi olla homevauriotapausten yhteydessä. Tämän tutkimuksen perusteella kuivuneen homekasvuston tuottamat MVOC-yhdisteiden pitoisuudet olivat muiden tutkittujen materiaalien koekammioissakokeen päättyessä aivan määritysrajan tuntumassa tai sen alle. Kahden näistä materiaaleista ei todettu tuottavan tutkittuun ilmatilaan homesieni-itiöitä.

Valmiiksi homehtuneiden rakennusmateriaalien käytöllä on se etu, että homekasvuston käyttäytyminen niissä vastaa paremmin todellista tilannetta rakenteissa kuin steriileihin materiaaleihin siirrostetuilla homesieniviljelmillä tehdyt kokeet. Vaikeutena on tulosten kvantitointi ja vertailunäytteiden saaminen.

KIITOKSET

Tutkimuksen suunnittelu suoritettiin yhteistyössä Suomen Sisäilmaston Mittauspalvelun kanssa, joka myös tuki tutkimusta taloudellisesti. Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ympäristölaboratoriossa tutkimusryhmän lisäksi tutkimukseen osallistuiivat mikrobiologi Tuula Laakso, tutkimuslaborantti Tiina Kakkuri, tutkimuslaborantti Sirpa Nokelainen, tutkimuslaborantti Pirjo Mölsä ja tutkimuslaborantti Virpi Tierala. Materiaalinäytteiden hankinnassa avusti ympäristötarkastaja Petri Puttonen. Tutkimusryhmä esittää parhaat kiitokset kaikille tutkimukseen osallistuneille innostuneesta ja aktiivisesta työpanoksesta.

KIRJALLISUUSVIITTEET

1. Partanen P, Jääskeläinen E, Nevalainen A, Husman T, Hyvärinen A, Korhonen L et al. Pientalojen kosteusvauriot- yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. Kuopio: Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B5, 1995.
2. Koivisto J, Jääskeläinen E, Nevalainen A, Husman T, Meklin T, Vahveristo M et al. Asuinkerrostalojen kosteusvauriot- yleisyyden ja korjauskustannusten selvittäminen. Kuopio: Kansanterveyslaitoksen julkaisuja B9, 1996.
3. Börjesson T, Stöllman U, Schnürer J, Volatile Metabolites Produced by Six Fungal Species Compared with Other Indicators of Fungal Growth on Cereal Grains. *Appl Environ Microbiol* 1992;58:2599-605.
4. Dionigi CP, Ingram DA. Effects of Temperature and Oxygen Concentration on Geosmin Production by *Streptomyces tendae* and *Penicillium expansum*. *J Agric Food Chem* 1994;42:143-5.
5. Ezeonu IM, Price DL, Simmons RB, Crow SA, Ahearn DG. Fungal Production of Volatiles during Growth on Fiberglass. *Appl Environ Microbiol* 1994;60:4172-3.
6. Mattheis JP, Roberts RG. Identification of Geosmin as a Volatile Metabolite of *Penicillium expansum*. *Appl Environ Microbiol* 1992;58:3170-2.
7. Lappalainen S, Pasanen A-L, Pasanen P, Kalliokoski P. Production of Fungal Volatile Organic Compounds in Bedding Materials, painossa.
8. Sunesson AL., Vaes WHJ, Nilsson CA, Blomquist G, Andersson B, Carlson R. Identification of Volatile Metabolites from Five Fungal Species Cultivated on two Media. *Appl Environ Microbiol* 1995;61:2911-8.

9. Ström G, Norbäck D, West J, Wessen B, Palmgren U. Microbial Volatile Organic Compounds (MVOC): a Causative Agent to Sick Building Problems, in Building Design, Technology, and Occupant Well-Being in Temperate Climates, Sterling E, Bieva C, Collett C (editors), ASHRAE Special Publications, 1993; 351-357.
10. Wessen B, Schoeps KO. Microbial Volatile Organic Compounds- What Substances can be Found in Sick Buildings ? *Analyst* 1996;121:1203-5.
11. Sosiaali- ja terveysministeriö: Sisäilmaohje: Asuntojen ja muiden oleskelutilojen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät, Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 1997:1.
12. Kostianen R, Nokelainen S, Ahonen S. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet huoneilmasa. Helsinki: Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja 13, 1994.
13. Sunesson AL. Volatile metabolites from micro-organisms in indoor environments. Sweden, Umeå: Umeå University. 1995.
14. Sosiaali- ja terveysministeriö: Sisäilmaohje. Sosiaali- ja terveysministeriön oppaita 1997:1.
15. Samson RA. Proceedings of the workshop on health implications of fungi in indoor environments. Baarn. The Netherlands. 9-13 November, 1992.

Tekijä(t) Helena Rintala, Seija Kalso, Helena Kontsas, Timo Vartiola			
Nimike HOMEISTEN RAKENNUSMATERIAALIEN HAIHTUVIEN ORGAANISTEN YHDISTEIDEN (MVOC) JA HOMEITIÖPÄÄSTÖJEN SEURANTA LABORATORIO-OLOISSA			
Julkaisija	Julkaisu-aika	Sivumäärä	Litteet
Helsingin kaupungin ympäristökeskus	1997	21	-
Sarjan nimike		Osanumero	
Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen julkaisuja		9/97	
ISSN-numero 1235-9718	Kieli		
ISBN-numero 951-718-026-8	Koko teos	Tiivistelmä	Taulukot
	fin	fin, swe	fin
Avainsanat			
haihtuvat orgaaniset yhdisteet, MVOC			
UDK			
Lisätietoja: Seija Kalso, p. 7312 2630 Helsingin kaupungin ympäristökeskus, ympäristölaboratorio Helsinginkatu 24, 00530 HELSINKI			

HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1995

1. Töölönlahden sedimentin kunto ja sisäinen kuormitus
2. Huokoskaasu maaperän ja pohjaveden saastuneisuuden kuvaajana
3. Kosteus- ja homevaurioista helsinkiläisissä päiväkodeissa
4. Leivosten laatu ja myyntiolosuhteet myymälöissä
5. Koululounaan ravintosisältö ja laatu Helsingissä 1989 - 1993
6. Ryömintätilaisten alapohjien kosteus- ja homevauriot
7. Terveystuon toimipisteiden jätehuolto, 2. uudistettu painos
8. Sairauksien esiintyvyys homeille altistuneilla koululaisilla

HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1996

1. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (VOC) pitoisuudet ulkoilmassa Helsingissä
2. Öljy-yhdisteiden biologinen hajoaminen ja saastuneen maan biosaneeraus
3. Helsingin ja Espoon merialueiden velvoitetarkkailu vuonna 1995
4. Altistuminen typpidioksidille, hiilimonoksidille ja bentseenille Helsingin jäähallissa
5. Sedimentin kemikalioinnin ja lisäveden johtamisen vaikutus Töölönlahden veden laatuun
6. Suomalainen ekobussi Pietarin ympäristöviikolla
7. Huoneilman ammoniakki
8. Asuntojen radonmittaukset Helsingissä

HELSINGIN KAUPUNGIN YMPÄRISTÖKESKUKSEN JULKAISUJA 1997

1. Vuoden 1995 saastesumuepisodin terveysvaikutukset Helsingissä
2. Ilmansaasteet ja kuolleisuus Helsingissä vuosina 1987 - 1993
3. Pääkaupungin katupölyn vähentäminen
4. Elintarvikkevärit makeisissa, juomissa ja irtojäätelöissä
5. Helsingin ja Espoon merialueiden velvoitetarkkailu vuonna 1996
6. Helsinkiläisten päiväkotilasten veren lyijypitoisuus 1983 - 1996
7. Koulun kosteus- ja homevauriot sekä homeille altistuneiden koululaisten sairastuvuus
8. Ensiasennuskorvakorujen nikkelpitoisuus ja eri tutkimusmenetelmien vertailu
9. Homeisten rakennusmateriaalien haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (MVOC) ja homeitiöpäästöjen seuranta laboratorio-oloissa

Julkaisujen tilaus:

ympäristökeskuksen neuvonta
Helsinginkatu 24, 00530 HELSINKI
puh. 7312 2730, fax 7312 2235

ISSN 1235-9718
ISBN 951-718-026-8