

<https://helda.helsinki.fi>

Näkymättömät vaaratekijät - mikrobien ja ihmisen tuottamat kemialliset yhdisteet

Salkinoja-Salonen, Mirja Sinikka

Auditorium Kustannusosakeyhtiö
2015-08

Salkinoja-Salonen , M S 2015 , Näkymättömät vaaratekijät - mikrobien ja ihmisen tuottamat kemialliset yhdisteet . julkaisussa A Perkiömäki (Toimittaja) , Homeloukku - mistä saa apua? . Vuosikerta. 2015 , 3 , Auditorium Kustannusosakeyhtiö , Helsinki , Sivut 35-59 .

<http://hdl.handle.net/10138/168348>

Downloaded from Helda, University of Helsinki institutional repository.

This is an electronic reprint of the original article.

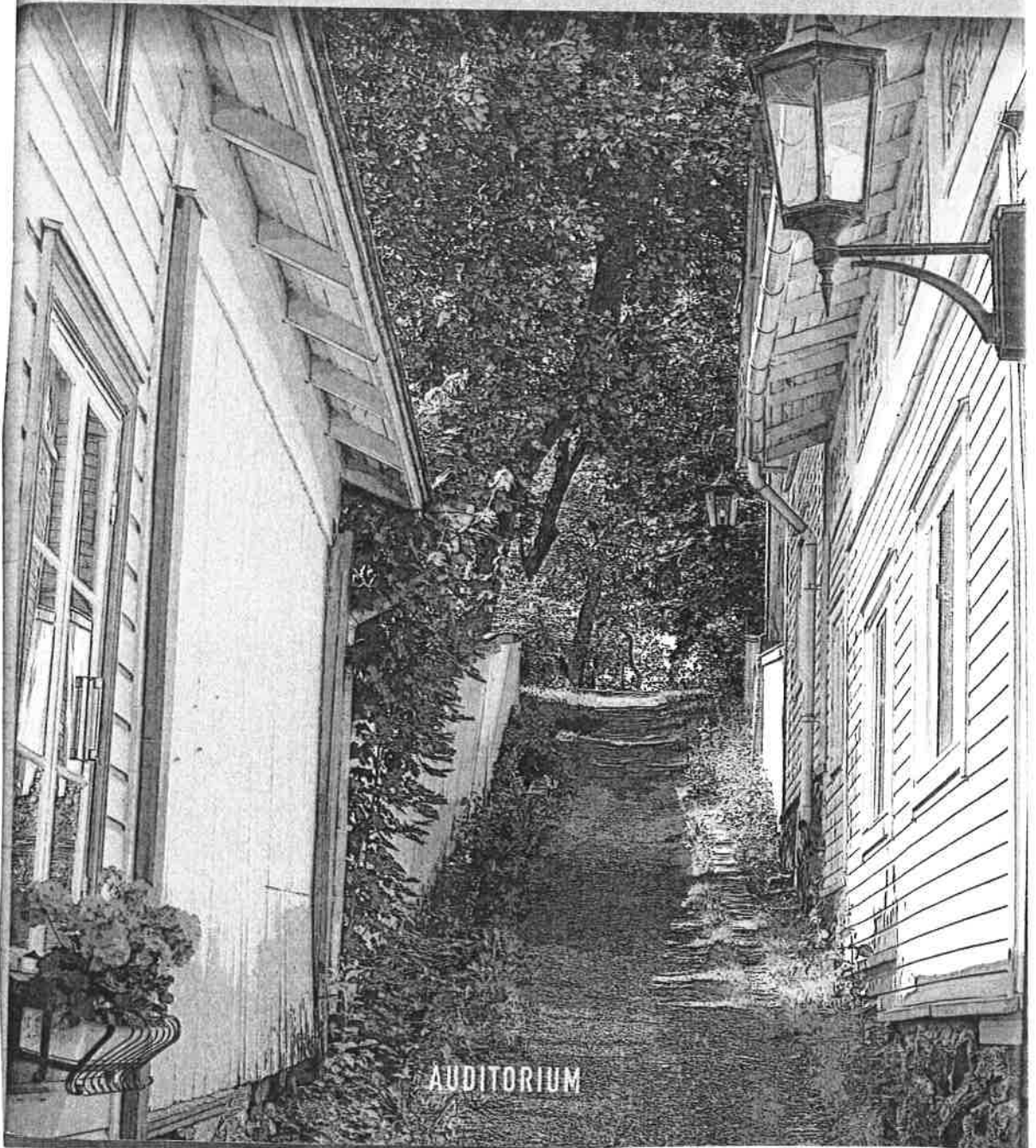
This reprint may differ from the original in pagination and typographic detail.

Please cite the original version.

HOMELOUKKU

MISTÄ SAA APUA?

Toimittanut Annamajja Perkiömäki



AUDITORIUM

HOMELOUKKU

MISTÄ SAA APUA?

Toimittanut Annamaija Perkiömäki

HELSINGISSÄ
AUDITORIUM KUSTANNUSOSAKEYHTIÖ

© Auditorium ja kirjoittajat

Taitto Taina Leino

ISBN 978-952-7043-09-7

Painettu EU:ssa 2015

Kurattelu vaihdot kirja tu
26 15 10 26 Mirja Salkinoja-Salonen
s. 36, 40

3

NÄKYMÄTTÖMÄT VAARATEKIJÄT – MIKROBIEN JA IHMISEN TUOTTAMAT KEMIAALLISET YHDISTEET

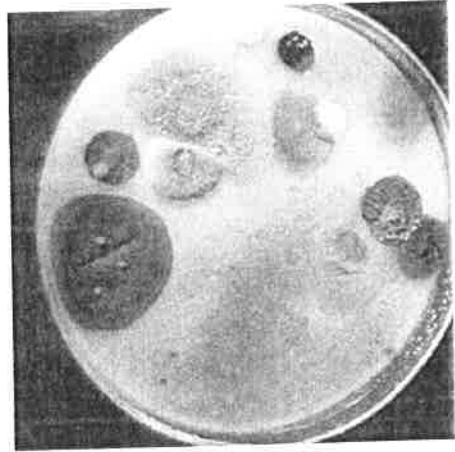
Mirja Salkinoja-Salonen

Vuosien 1950-2000 aikana onnistuttiin selvittämään neljä väestöä laajasti altistanutta sisäilmaongelmaa: asbesti, radon, formaldehydi ja tupakansavu. Niiden todentaminen toteutui tilastollisten yhteyksien seurannan avulla.

Asbesti on kuituista kiveä. Asbestin aiheuttama vaurio keuhkoille on mekaaninen: neulamaiset kuidut takertuvat keuhkokudokseen, ja pitkällä aikavälillä nämä tuhannet keuhkoja vammauttavat mikroskooppisen pienet neulaset aiheuttivat keuhkojen mesotelioma-syöpää. Kesti 70 vuotta ennen kuin kertynyt tilastollinen näyttö asbestialtistuksen ja keuhkosyövän yhteydestä otettiin tosiasiana, ja saatiin aikaan säädökset työntekijöiden suojaamiseksi altistukselta.

Asbestitutkimusten myötä opittiin, että muutkin rakennusmateriaalien mineraalikuidut aiheuttavat ongelmia ihmisen

hengitysteissä, jos niitä sisäilmaan pääsee. Näitä materiaaleja esiintyy muun muassa ilmanvaihtokanavassa ja muualla rakennuksessa käytetyissä äänieristeissä (jotka saattavat olla ilman päällystä) ja lämpöeristeissä.



Radon – joka nousee sisätiloihin suomalaisesta moreenimaaperästä – oli vuosia kiivaan väittelyn kohde: ei voitu ymmärtää, miten pitoisuus sisätiloissa voisi olla korkeampi kuin ulkoilmassa? Epäiltiin mittausten pätevyyttä – kunnes asia selvisi: kaasumaiset aineet, kuten radon, kulkevat nousevan lämpötilan suuntaan, eli ulkotilasta sisätilaan.

Baecilomyces-hiiva mikroskoopissa nähtynä: rihmastoja ja konidioferi. Siljelmä malja kuvattuna muutamaa lampulle (360 mm) paljosta toisistaan tuottavat home pölyt.

Sisäilman formaldehydin toksiset mekanismit löydettiin nopeasti. Siinä oli kyseessä vain yksi, hyvin yksinkertainen molekyyli, joten altistumisen mittaukseen tarvittiin vain yksi analyysi. Viitearvo oli helppo asettaa, ja altistumista ehkäisevät päätökset saatiin alle vuosikymmenessä.

Tupakansavulle on altistuttu sisätiloissa yli sata vuotta, mutta vasta 1970 luvulla opittiin analysoimaan savun sisältöä, tunnistettiin muutamia satoja kemiallisia yhdisteitä. Silti on epäselvää, mikä tai mitkä niistä ja miten, aiheuttaisivat sairastumista. Tupakkalaki, joka suojelee tupakoimattomia altistumiselta tupakansavulle, saatiin kuitenkin säädettyä (Tupakkalaki 13.8.1976/693).

Viides epidemia: rakennuksen aiheuttama sairastuminen

Kosteusvaurio ja sisäilmasta sairastuminen

Rakennuksissa, joissa on *kosteusvaurioita*, sairastetaan keskimääräistä enemmän (Eduskunnan Tarkastusvaliokunnan lausunto, 2013). Pelkästä kosteudesta ei voi suomalaisessa ”sisäilma-epidemiassa” olla kyse, koska Suomi on teollisista länsimaista *kuivin*. Vuotuinen sademäärä on EU-maiden alin, alle 700 mm, lumi mukaan lukien.

Sisäilman suhteellinen kosteus on Suomessa talvisin alle 35 %, ja kesäisinkin harvoin ylittää 50 %. Sisäilman suhteellinen kosteus on esimerkiksi Hollannissa vuosikeskiarvona 80 % (73 % - 89 %) ilman, että sisäilmaan liittyen merkittävästi sairastettaisiin (Ådan ym., 2011).

Kyseessä siis ei voi olla pelkkä kosteus, jokin kosteuteen liittyvä ilmiö.

Suomessa oletetaan, että esimerkiksi kouluissa yleisesti koettu terveyshaitta olisi kosteuden käynnistämän mikrobikasvun aiheuttamaa. Tätä olettamusta selvitettiin laajassa EU-hankkeessa (HITEA), jossa tutkittiin 29 home- ja kosteusvaurioisen ja 27 verrokki-koulun yhteensä 9 271 oppilaan terveystilanteet, 6-10 vuoden ikäisinä, Suomessa, Hollannissa ja Espanjassa.

Tulokset osoittivat, että Espanjaan ja Hollantiin verrattuna suomalaislapset oireilivat selvästi enemmän hengitystieoireita,

» Tämä hämmentää lääkäriä:
miten voisi tehdä diagnoosin?

nenäoireita, ja koulusta poissaoloja oli enemmän. Näin oli siitä huolimatta, että kosteus- ja homevaurioita espanjalais- ja hollantilaiskoulurakennuksissa oli enemmän kuin suomalaiskouluissa (Duodecim 2013; Borrás-Santos ym. 2013)

Mikrobien kyky aiheuttaa ihmisessä (eläimissä, kasveissa) tartunta- eli infektioita, joka tunnetaan 1800-luvulta lähtien. Nyt tiedetään, että vaikka mikrobeja tunnetaan jo kymmeniätuhansia lajeja, alle 200 lajia niistä on sellaisia, jotka voivat aiheuttaa infektioaudin, sairauden, jonka yhteydessä aiheuttajamikrobi on päässyt ihmisen elimistöön. Se on alkanut siellä lisääntyä niin, että siitä syntyy terveyshaitta. Sisäilmamikrobit yleensä eivät infektoi ihmistä (eli lisääny ihmisen elimistössä). *Aiheuttajamikrobeja ei siis löydy sairastuneesta potilaasta.* Tämä hämmentää lääkäreitä: miten voisi tehdä diagnoosin?

Mallia voidaan ottaa elintarvikkeiden ja rehujen tutkimuksesta: 1960-luvulta alkaen on pantu merkille, että rehuissa ja elintarvikkeissa voi olla mikrobien tuottamia myrkkyaaineita eli *toksiineja*, vaikka niiden tuottajamikrobia ei (ainakaan elävänä) löydykään.

Tälle ilmiölle herättiin vuonna 1962 Englannissa, kun ilmeni kalkkunoiden massatuho (100 000 eläintä). Sen aiheuttajaksi osoitettiin maapähkinöistä valmistetun rehun sisältämä home-myrry eli mykotoksiini, nimeltä aflatoksiini (Pohjanvirta 2007). Sitä tuotti *Aspergillus*-suvun homeet (etenkin *A. flavus*).

Aflatoksiineja esiintyy usein pähkinöissä, joskus myös viljoissa ja rehuissa, joskus myös mausteissa. Itse mikrobit oli mahdollista tuhota erilaisin keinoin, kuten kuumentamalla, säteilyttämällä, desinfioimalla, mutta myrkyllisyys ei näissä käsittelyissä vähene. Ongelmien ratkaisuun tarvittiin toksiineille ja toksisuudelle määritysmenetelmiä, joiden avulla myrkkujen päästölähteet


paikannettiin ja poistettiin. Näin on tehtävä myös ”hometalojen” kohdalla.

Toksisuus – mitä se on?

Ennenvanhaan toksisuus eli myrkyllisyys yhdistettiin tappaviin aineisiin: käärmeenmyrkky, valkoinen karpässieni. Mittarina oli tappava annos (engl. lethal dose), tai – nesteen ollessa kyseessä – myrkyyn tappava pitoisuus (LC, lethal concentration). Nykytoksikologiassa myrkyllisyydessä tärkeintä on vahingoittava annos tai pitoisuus. Vahingoittavuus ilmaistaan altisteen (ruoka, juoma, hengitysilma tai ympäristön ominaisuus) pitoisuutena tai annoksena, jolle altistuminen aiheuttaa sairauden, vamman tai elinvaurion osassa altistuneista.

Ihmisellä (ja eläimillä) on kyky korjata elimistöön kohdistuneita vaurioita. Vaurioille herkimpiä ovat sikiöt, lapset ja ikäännyvä väestönosa. Kyky korjata vaurioita heikkenee iän myötä. Vaurion vaarallisuus riippuu paitsi annoksesta, myös altistumisajasta. Vaara lisääntyy, jos läsnä on yhtä aikaa tai peräkkäin samoja tai eri altisteita, vaikka kunkin vaikutus yksinään olisi ollut vähäinen.

Aineen toksisuus on sen eliötä vahingoittava ominaisuus. Eliövaikutuksia on monenlaisia. Euroopan Unionin REACH-CLP lainsäädäntö, 2008, on määritellyt, mitkä haittaominaisuudet (kemialliset, biologiset tai fysikaaliset haittavaikutukset) on tutkit-

 *Ihmisen kyky korjata vaurioita
heikkenee iän myötä.*

tava kaupassa myytävistä kemikaaleista ja niitä sisältävistä tuotteista.

Suomalaisten terveyshaittaisten sisätilojen homeet

Sisäilmaongelmaisen kohteen mikrobeja tutkitaan usein keräämällä *ilmanäyte*. Se kerätään tavallisesti impaktorikeräimellä (1-vaihe tai 6-vaihe, joka lajittelee hiukkaset koon mukaan).

Näytteenottoaika voi olla enintään 10 minuuttia, ja vastaava ilmatilavuus alle 0,3 m³. Tämä johtuu siitä, että näyte kerätään viljelymaljoille, jotka menevät ”tukkoon”, jos homepesäkkeitä on 10 per malja.

Se, mitä maljoille kasvaa, riippuu siitä, mitä juuri siinä kohtaa huonetta juuri sillä hetkellä leijui ilmassa, sekä siitä, mitä viljelyalustaa ja olosuhteita käytetään maljojen



Aspergillus versicolor elektronimikroskoopiassa tarkasteltuna.

Tämä eristettiin rakennuksesta, jossa perhe oli vakavasti sairastunut. Tämä laji on patogeeni ja saattaa joskus kolonisoida ihmisenkin emoriinaan (siitä nimi *longibrachiatum*).

kasvatukseen. Impaktorimenetelmä on huonosti toistettava, kahta samanlaista tulosta ei juuri koskaan saa, vaikka mittaisi samana päivänä. Tällä menetelmällä löytyy lähinnä niitä mikrobeja, jotka ovat yleisiä, pieni-itiöisiä (= leijuvat hyvin) ja jotka sattuvat kasvaamaan sillä viljelyalustalla, jota maljoille on laitettu. Rakennuksen tilaa paremmin kuvaavia tuloksia saa tutkimalla pöly- ja materiaalinäytteitä, mutta ne ovat työlämpiä.

Rakennusmateriaalien haitalliset kemikaalipäästöt

Suomen koko rakennusalasta 80 % on rakennettu 1960-luvun jälkeen, ja asuinkerrostaloista noin puolet on rakennettu 1960-1980-luvulla. Näissä rakennuksissa on enenevästi käytetty teollisuuden sivutuotteena syntyvää kipsiä rakennusmateriaalina. Rakennuksissa kipsiä on kipsilevyinä ja betonin ja laastien osana. Hapettomissa oloissa tietyt bakteerit muuttavat sulfaatteja (kuten kipsi) myrkyllisiksi kaasuiksi, rikkivety ja rikkihiili, samalla kun orgaaninen aines hajoaa hiilidioksidiksi ja vedeksi:

Kipsin painosta noin 20 % on rikkiä. Se on tehokas kosteuden kuljettaja. Pannulapun kokoinen ala kostunutta kipsilevyä voi hapettomissa, happamoituneissa oloissa tuottaa 35 litraa rikkivetyä. Tämä riittää tuottamaan 1 ppm-pitoisuuden yli 30 000 m³ sisäilmaa, jos sisätila on alipaineinen, eli rikkivety virtaa rakenteesta sisätilaan päin. Näin yleensä aina on, kun rakennuksessa on koneellinen ilmanvaihto.

Rakennusten koneellinen ilmanvaihto säädetään toimimaan niin, että sisätilat tulevat alipaineisiksi ulkoilmaan verrattuna. Alipaine on suurin tiiviissä rakennuksessa, etenkin tilojen ollessa tyhjinä, ja koneellisen ilmanvaihdon sisääntulokoneet on ohjelmoitu pysähtymään (yöt, viikonloput, loma-ajat). Osa poisto-

ilmakoneista toimii silloinkin (muun muassa märkätilat). Näin on esimerkiksi kouluissa, päiväkodeissa ja toimistoissa.

Kipsiä on myös betonissa. Portlandsementtiin lisätään 5 % kipsiä jauhatuksen yhteydessä. Betonien valmistukseen käytettävät side- ja lisäaineet voivat edistää mikrobikasvua, koska ne sisältävät ravinteita.

Rikkihiiltä voi muodostua samanaikaisesti rikkivedyn kanssa. Sekin on myrkyllistä ja korreloi hengitysoireiluun. Rikkihiili hajoo rikkivedyksi:

Kipsiä hajottavat mikrobit ovat bakteereja, eivät homeita, joten niitä ei voi havaita paljain silmin. Rikkivedyn muodostumisprosessin yhteydessä saattaa muodostua harmaita läiskiä, kun kipsilevyssä epäpuhtautena olevat rauta-jonit muuttuvat rautasulfidiksi, mutta varmuus tilanteesta saadaan mittaamalla rikkivety ilmasta riittävän herkällä mittarilla.

Jäteongelma

Rakennusjätteessä kipsiaines murenee jauhoksi, joka muiden massojen alla tuottaa nopeasti rikkivetyä. Tämä aiheuttaa työsuojeluongelmia purkutyoimaalla ja myöhemmin kaatopaikalla. Kipsiä ei voi polttamalla hävittää eikä se sovellu lannoitteeksi.

Jos rakennuksen perustusten tai maavaraisen laatan alle on jäänyt tai jätetty kipsilevyperäistä rakennusjätettä, se muuttuu maanperänmikrobien toimesta rikkivedyksi. Rikkivety läpäisee betonin, epoksit ja höyrinsulkumuovit, joten se kulkeutuu rakennuksen alta sisätiloihin, jos tilat ovat alipaineiset. Jo yhden ppm-pitoisuus rikkivetyä aiheuttaa pitkäaikaisessa altistuksessa neurologisia ja verisuonten toimintahäiriöitä.

Viemäriverkossa syntyy aina rikkivetyä. Siinä rikinlähde on ruoka-jäte ja ihmisen jätökset. Sisätiloihin viemärikaasua voi tulla, jos viemäriin hajulukko pääsee kuivumaan tai viemäri tulvii tai vuotaa.

Rakennusten biosidit

Kemikaaleilla pyritään estämään materiaalien ei-toivotut muutokset, kuten puutavaran laho ja levytuotteiden harmaantuminen. Kemikaaleilla ja ratkaiseva merkitys sille, mitä mikrobeja rakennukseen pesiytyy.

Biosidi tarkoittaa ainetta jota käytetään tappamaan eliöitä, mikrobisidi ainetta, jolla pyritään tappamaan mikrobeja materiaaleista tai tiloista. Fungisidit ovat homeiden tappoon tarkoitettuja, ja bakterisidit bakteerien tappoon tarkoitettuja aineita. Toimenpidettä, jossa mikrobisidia käytetään haitallisten tai ei-toivottujen mikrobien häätämiseen, sanotaan desinfiointiksi.

Useimmat desinfiointiaineet tappavat tehokkaasti bakteereja, mutta valikoivasti tai vasta korkeana pitoisuutena, homeita tai muita sieniä. Sekä bakteereiden että homeiden solut ovat vahvan soluseinän suojaamia, ja siksi niiden tappamiseen tarvitaan korkea pitoisuus biosidia.

Ihmisen ja eläinten soluissa ei solukalvon suojana ole soluseinää. Tästä syystä ihmisen solut ovat mikrobisoluja herkempiä biosidisten kemikaalien myrkkyyvaikutukselle. Homeita tuhoavat kemikaalit ovat aina haitallisia myös ihmiselle.

» *Homeita tuhoavat kemikaalit ovat aina haitallisia myös ihmiselle.*

Puunsuoja-aineet:

Elohopea, boorikemikaalit, arseeni ja kreosootti

Metyylielohopea on rasvaliukoinen, ja tästä syystä imeytyy nopeasti verenkiertoon, kertyy hermostoon ja rasvakudokseen. Kymmeniä tuhansia ihmisiä sairastui Japanissa metyylielohopean aiheuttamaan minamata-epidemiaan 1936-1986.

Suomessa elohopeasuoloja käytettiin vuosikymmenten ajan puunsuojaukseen, joten sitä sisältävää puutavaraa saattaa vielä nykyisistään rakennuksista löytyä. Metyylielohopea ei ole mikrobitoille haitallista, mutta ihmiselle se on 1 000 kertaa myrkyllisempi kuin ne elohopeasuolat, joista mikrobit sitä tuottavat.

Myös arseeniyhdisteitä mikrobit muuntavat metyloimalla: niiden tuottamat metyyliarsiinit ovat ihmiselle myrkyllisempiä kuin epäorgaaninen arsenikki. Kotimaan tarpeisiin olisi riittänyt kromi-kuparilla kyllästetty kestopuu, mutta merkittävä määrä arseenilla käsiteltyä puutavaraa löytyy myös suomalaisista rakennuksista, vaikka täällä ei ole termitin torjuntatarvetta.

Diarseenipentoksidia (As_2O_5) käytettiin 1994-2006 vuositasolla 300 tonnia eli vuosina 1994-2006 yhteensä 0,7 kg/asukas. Arseeniyhdisteiden käyttö Suomessa päättyi 2006, kun Euroopan unionin käyttökielto (EU direktiivi 1048) tuli voimaan.

Kreosootti on eniten käytetty puunsuojakemikaali, 5 000-8 000 tonnia vuosittain, eli 1-1,5 kg per asukas/vuosi. Sitä käytetään ulkokäyttöön tarkoitetun kestopuun valmistukseen, ei talonrakentamiseen, mutta silti sitä aika ajoin löytyy rakennuksista.

Kreosootti on kivihiihtisä, sisältää paljon monirenkaisia aromaattisia hiilivetyjä, muun muassa syöpää aiheuttavaksi tunnettua bentso- ja pyreeniä ja fenoleja, jotka aiheuttavat sisäilmaongelman. Sisätiloihin tarkoitettu sahatavara uppokäsiteltiin Suomessa

sinistykseen estämiseksi 1930-luvulta 1980-luvulle 1-2 % kloorifenoliliuoksessa. Tuon ajan rakennuskannassa kloorifenoleja on edelleen. Kloorifenolit haihtuvat puutavarasta hitaasti ja ovat sisäilmassa terveydelle haitallisia.

Biosidiset kemikaalit rakennusten ylläpidossa

1980-luvulta alkaen on Suomessa enenevästi käytetty biošidisia kemikaaleja sisätilamateriaaleissa ja rakennuksen ylläpidossa, julkisten ja yksityisten tilojen siivouksessa, homesaneerauksissa ja ilmanvaihtokanavistojen desinfiointiin ja puhdistukseen.

Kvaternäärisiä ammoniumyhdisteitä, tertiäärisiä ja kvaternäärisiä amiineja sekä polyguanideja (PHMG, PHMB) käytetään puhdistukseen, siivoukseen sekä homeettomaksi saneeraukseen ja ilmanvaihtokanavien puhdistukseen.

Näiden biosidien vesiliuoksia markkinoidaan muun muassa käsidesinfiointiaineina, tekstiiliraikasteina (suihkeina), homesaneerauksiin ja ilmastointikanavien ja sisäilmaongelmaisten tilojen desinfiointiin. Näistä kaikista käytöistä aiheutuu ihmisen altistumista biosideille.

PHMG poistui EU:ssa sallittujen biosidien luettelosta, kun EU-asetus 78/2011 astui voimaan 1.2.2013 alkaen, mutta silti sitä myytiin Suomessa vielä vuonna 2014. PHMG:n sisarainetta, PHMB:tä, saa käyttää EU-maissa.

Se on Euroopan Unionin kemikaaliviraston (ECHA) erittäin vaaralliseksi, luokassa 1 (= vaarallisin kategoria) luokitteleva: tappava hengitettynä, silmiä vaurioittava (luokassa 1), ihoa herkistävä (luokassa 1B) ja mahdollinen syöpäsairauksien aiheuttaja. Nämä PHMB:n luokitukset tulivat lainvoimaisiksi 1.12.2014 alkaen kaikissa EU-maissa.

Sisätilakemikaalit sairauden aiheuttajina


Ihminen on haavoittuvin keuhkojen kautta saadulle altistukselle. Aiemmin uskottiin, että vain kaasumaiset tai haihtuvat aineet, kuten formaldehydi voisivat aiheuttaa hengitystiealtistumista. 1990-luvulta alkaen kumuloitunut näyttö osoittaa, että haihtumattomatkin kemikaalit ja kiinteät hiukkaset voivat liikkua sisäilmassa aerosolina ja aiheuttaa terveydelle vakavaa vahinkoa.

Desinfiointiaineina markkinoidut tuotteet sisältävät tehoaineena antimikrobisia biosideja. Niiden pääasiallinen tavoite on mikrobien tuhoaminen laitteistoista, ei laitteistojen puhdistaminen. Näitä ovat homesaneeraukseen, ilmanvaihtokanavien ”puhdistamiseen”, home- ja kosteusvaurioiden ”ennaltaehkäisyyn”, ja viemäri- tai kosteusvaurioiden korjausrakentamiseen markkinoidut desinfioivat tuotteet.

Samoja kemikaaleja sisältyy myös vesiohenteisiin ja vettä sisältäviin nestemäisiin tuotteisiin kuten siivousaineet, pyykinpesu- ja huuhteluaineet, astianpesuaineet, WC ja muiden kosteiden tilojen puhdistusaineet, tekstiili- ym. ”raikasteet”, käsidesit, kehosuihkeet.

Myös työpaikka-, opetus-, päiväkotiymsisätiloissa käytetään siivous- ja pintojen käsittelytuotteita, joissa on lisäaineena biosidisia kemikaaleja. Kun niitä käytetään ”leave-on”, eli ilman poishuuhtomista, seurauksena on tilojen käyttäjien altistuminen hengitysteitse.

Suomalaisten kemikaaliuskovaisuus on maailmanennätysluokkaa.

 *Suomalaisten kemikaaliuskovaisuus on maailmanennätysluokkaa.*

” Kunnat ostavat yhä siivousaineita, vaikka niiden allergisoivat ominaisuudet ovat olleet tiedossa jo 30 vuotta.

Kunnat ostivat vuonna 2014 koulujen ja päiväkotien siivoukseen isotiatsolonipitoisia tuotteita, vaikka niiden herkistävät ja allergisoivat ominaisuudet ovat olleet tiedossa jo 30 vuotta. Rakennustuotteiden sisältämät biosidiset lisäaineet kuormittavat myös sisäilmaa: vesiohenteiset maalit, tapettiliisterit, liimat, sauma-aineet.

Myös puutavaraa ja puuta sisältäviä levytuotteita, paperi- ja tekstiilituotteita, muuraustuotteita ja komposiittimateriaaleja saatetaan käsitellä antimikrobisilla biosideilla. Rautakauppojen nestemäisistä tuotteista pääosa sisälsi (vuonna 2014) biosidisia lisäaineita.

Antimikrobisia biosideja sisältävien tuotteiden käyttö vaikuttaa voimakkaasti sisätilojen mikrobistoon ja siten myös sisäilman mikrobiologiseen laatuun. Suomessa markkinoitujen ”homeettomaksi siivous”-tuotteiden antimikrobiset tehoaineet ovat kvaternäärisiä ja tertiäärisiä amiineja, guanidiini- ja tiatsolihydroksidejä. Niitä käytetään ”leave-on”, eli ”ei tarvitse huuhtelua”, pitkävaikutteisia, haihtumattomia, huonosti biohajoavia, vesiliukoisia, haihtumattomia, mutta aerosolisoituvia.

Isotiatsoloneille altistutaan sisäilman välityksellä. Isotiatsolobiosidit tunnetaan herkistävinä kemikaaleina jo 1980-luvulta lähtien, mutta käytön laajennuttua moniin erilaisiin kuluttajatuotteisiin, herkistymiset, allergiat ja atopiat ovat saaneet epidemiahuonteen.

DDDMAC on kationinen tensidi, kvaternäärinen ammonium-yhdiste. DDDMAC aiheuttaa yksin tai seoksena muiden kvaternääristen ammonium-yhdisteiden kanssa astmaa.

Suomessa on 2000-luvulla käytetty suuri määrä polyguanidisia desinfiointikemikaaleja rakennusten ns. homesiivoukseen, yksin tai yhdistettynä muihin biosidisiin kemikaaleihin. Vuoteen 2014 saakka käytössä oli PHMG ja noin vuodesta 2012 alkaen PHMB, kun tiedossa oli, että EU-komissio oli poistanut PHMG:n kaikissa muodoissaan sallittujen tehoaineiden luettelosta. Ne ovat biohajoamattomia, haihtumattomia, kemiallisesti stabiileja, pitkävaikutteisia (vuosia) solumyrkyllisiä kemikaaleja.

Näillä aineilla käsitellään ilmastointikanavia ja uusien tai sisäilmaongelmaisten rakennusten sisätiloja. Biosideja ei poisteta pinnoilta ennen kuin tilat otetaan käyttöön. Tilojen käyttäjät altistuvat pinnoilta ilmanvaihdon turbulenssin myötä aerosolisoituvalla biosidiaerosolille. Pitoisuudet voivat olla suuriakin, kun desinfiointeja on toistettu useita kertoja.

Biosidikäsittelyä tehdään myös uuden tilan (asunnon) ”mikrobittomaksi” siivoukseen ennen kuin siitä tehdään sisäilman mikrobi-tutkimus ostaja-asiakasta varten. Sisäilman turvallisuusnäkökulmasta katsoen tämä menettely voi olla tilojen tulevalle käyttäjälle terveys-haittariski, koska desinfiointikäsittely:

1. biosidi aiheuttaa toksisen altistuksen tilojen käyttäjälle;
2. ei tuhoa mahdollisia mikrobiksiineja tiloista ja
3. saattaa myöhemmin johtaa siihen, että käsiteltyihin tiloihin pesiytyy toksiineja tuottavia homeita.

 *Biosideja ei poisteta pinnoilta ennen kuin tilat otetaan käyttöön.*

” *Saatu mittaustulos on käyttökelvoton (harhaanjohtava).*

Useat toksiineja tuottavat sisäilmaongelmiin liittyvät homeet ovat biosiditolerantteja, joten biosidikäsittely antaa niille valintaedun muihin homeisiin verrattuna.

Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen (THL) ohjeen mukaan sisätilamikrobien näytteenotossa käytettävät välineet desinfioidaan (näytteenottojen välissä) alkoholipyyhinnällä (etanoli), jonka jälkeen etanolin annetaan haihtua pois ennen seuraavaa näytteenottoa.

Kentällä näkee, että konsultti desinfioi laitteensa etanolin asemesta suihkeella, jossa on kolme desinfioivaa biosidia, joista kaksi PHMB ja bentsalkonkloridi ovat haihtumattomia biosidisia kemikaaleja, isopropanoli on hitaasti haihtuva.

Siten PHMB ja bentsalkonkloridi kuorruttavat näytteenottimen pinnan ja voivat saattaa näytteen sisältämät mikrobit viljelykelvottomiksi, joten saatu mittaustulos on käyttökelvoton (harhaanjohtava) sisätilan mikrobiologisen kunnan arviointiin. Siihen sitä kuitenkin käytetään, koska suomalainen terveysturvallinen sallii.

Sisäilman mikrobien, toksiinien ja kemikaalien terveyshaittavaikutukset

CLP-REACH Direktiivin 1272/2008 mukaan terveyshaitan todennäköisyys ja vakavuus on 100–1 000 kertaa suurempi hengitettynä sumuna kuin syötynä tai iholle saatuna. Hengityksen kautta saadun altistuksen terveyshaitan aiheutuvuus ja vakavuus riippuu

siitä, missä olomuodossa se hengityselimiin joutuu: vaara on suurin, jos aine sisäänhengitetään sumuna (= nesteen tai liuoksen ilmaseoksena) tai pölynä (= hengitettäviä pienhiukkasia ilmaan sekoittuneena) kuin jos se hengitetään höyrynä.

Höyrynä liikkuvat aineet ovat molekyyliä, joiden höyrinpaine on riittävän korkea niin että aine voi merkittävästi höyrystyä eli muuttua kaasuksi (VOC aineet). Toksisen aineen terveyshaittaa aiheuttava vaikutus riippuu altistumisreitistä näin: hengitystiet, silmät ja limakalvot, iho, suu ja ruuansulatuskanava.

Sisäilmaan liitetyistä terveyshaittaoireista suuri osa on hengitystieoireita, ylähengitysteiden toistuvia tulehduksia ja astmaa, sekä aikuisilla että lapsilla (päiväkodit).

Kiinteiden aineiden (pöly) haitallisuus hengitysilmassa on sitä suurempi mitä pienikokoisempia hiukkaset ovat. Sisäilmassa on paitsi kokonaisia mikrobisoluja kuten homeiden ja bakteerien itiöitä, rihmaston osia, kasvullisia soluja, ja näistä kaikista syntyntä silppua (Gorny ym. 2002).

Turbulenssi, jota ylläpitää koneellinen ilmanvaihto, pölynimurointi ja mekaaninen kulutus (siivous, ihmiset), jauhaa sisätilan mikrobeja ja muuta pölyä submikroni/nanopölyksi. Haitallisimpia ovat pienhiukkaset ja nanohiukkaset. Pölynimurin, jossa on Hepa-suodatin (high efficiency particle air) läpi tulleet nanohiukkaset saattavat olla terveydelle haitallisempia kuin se, mikä jäi imurin pussiin. Tämä koskee myös koneellisen ilmanvaihdon tuloilman suodattimia.

VOC-aineiden, kuten hajusteet, tuominen sisäilmaan lisää sisäilman terveyshaitallisuutta, vaikka itse aineet eivät alun perin olisi myrkyllisiä (linalooli, limoneeni ja dihydromersitoli kuitenkin ovat). Ulkoilman (ja siten myös sisäilman) otsonipitoisuus Suomessa korkeimmillaan huhtikuussa, kun auringonvalo sitä

tuottaa, mutta kasvillisuus ei vielä ole vihreää. Vihreillä kasveilla on kyky sietää ja poistaa ilmasta haitallisia hapettimia, kuten otsonia ja muita ROS-yhdisteitä. Jotkut sähkölaitteet voivat tuottaa otsonia sisäilmaan.

ROS-aineiden desinfiointikäyttö

Monet sisäilmaongelmaisten rakennusten tilojen saneeraukseen käytetyt menetelmät perustuvat happiradikaalien (ROS) tuottamiseen: otsoni, peroksidit (vetyperoksidi, tert-butyyli-hydroperoksidi ja muut orgaaniset peroksidit), hypokloriitti, fotokatalyyttinen titaanidioksidi.

Itiölliset mikrobit (*Bacillus*, *Paenibacillus* ja *Streptomyces* sukujen bakteerit, homeet) kestävät happiradikaaleja paremmin kuin ihmisen solut. Ihmisen soluissa happiradikaalit aiheuttavat oksidatiivisen stressin, joka on tuhoisaa mitokondrioille ja mitokondrioiden toimintakyvystä riippuville elimistön osille (neuronit ja glia-solut aivoissa, sydänlihas, kilpirauhanen, haiman saarekesolut).

Happiradikaalien tuottoon perustuvia desinfiointimenetelmiä ei voi soveltaa tiloihin, joissa on ihmisiä. Ne soveltuvat sellaisiin kohteisiin, jotka voidaan käytön jälkeen tehokkaasti tuulettaa (hajujen hävitys tekstiileistä ja irtaimistoista, tupakan hajun poistaminen auton sisäkalusteista, hajunpoisto tuotantotiloista tyhjäkäynnin aikana, viemäritulvan jälkihoito).

Sisäilman vesihöyry kuljettaa toksisia aineita sisäilmassa

Usein oletetaan, että rakennushomeiden tuottamat toksiinit kulkeutuisivat rakenteista sisäilmaan itiöiden mukana, mutta tehdyt

» Homeet hengittävät kuten ihminen.

lukuiset tutkimukset eivät tue tätä olettamusta: sisäilmasta kerättyjen itiöiden tai muiden hiukkasten mikrobitoiksiinipitoisuudet olivat alhaiset ja suunnilleen samanlaiset riippumatta siitä, oliko kyseessä sisäilmahaittainen tila vai ei.

On pitkään tiedetty, että kasvitauteja aiheuttavat sienet erittävät toksiinejaan kasvien pintoihin nestepisaroiden muodossa. Näin tekee myös maailman tutkituimman sisätilahomeen, *Stachybotrys chartarum*, jotkut (mutta eivät kaikki) kannat.

Helsingin yliopiston ja Aalto-yliopiston tutkimusyhteistyössä vuosina 2013-2014 havaittiin, että useat vakavasti sisäilmahaittaisissa suomalaisissa rakennuksissa esiintyneet myrkylliset homeet erittävät toksiininsa nanopisaroina suoraan sisäilmaan.

Kun rakennuksessa on toksiineja tuottavia homeita, pintojen kostuessa ne tuottavat toksiineja sisältäviä pisaroita, jotka herkästi irtoavat kasvupaikaltaan ilmaan. Laboratoriossa tutkittaessa havaittiin, että mekaaninen kosketus pirstoi pisaroita pienemmiksi. Yhteen osuessaan pisarat saattoivat taas fuusioitua isommiksi. Ilmän ollessa turbulenttia (koneellinen ilmanvaihto) ne todennäköisesti pirstoutuvat ja kulkevat ilmavirran mukana.

Homeet hengittävät kuten ihminen: kuluttavat ravinteita ja happea, tuottavat hiilidioksidia ja vesihöyryä. Jos mikrobikasvusto on päässyt käyntiin tiivistetyssä rakenteessa, rakenteen sisään kertyy hiilidioksidia ja kosteutta. Mikrobit tuottavat tarvitsemansa veden itse.

Keskushermostovaikutukset

Hajuaistimet sijaitsevat nenäontelossa. Hajuepiteelin ja haju-rauhasten pinta-ala on vain muutama neliösenttimetri. Limakalvon tukikerros (lamina propria) ja nenäontelon luukalvo sisältävät myeliinitupettomia ja -tupellisia hajunhermoja ja haju-rauhasia.

Hajurata on nenäontelon hajureseptoreista isoivokuoreen kuljettava, perättäisistä hermosoluista koostuva rata, joka kuljettaa impulsseja nenäontelon hajureseptoreista isoivokuoreen. Se on aivojen ainoa hermorata, joka altistuu suoraan ympäristöön. Sen kautta haitta-aineet kuten neurotoksiset kemikaalit, toksiinit ja nanohiukkaset, voivat kulkeutua nenästä hajukäämiin ja aivotursoon (hippokampus) (Schwob, 2002, 2005).

Hajukäämi (*bulbus olfactorius*) on kummankin isoivopuoliskon otsalohkon alapuolella sijaitseva erillinen hermokudos-sukkula, johon hajunhermot liittyvät. Sillä on keskeinen rooli ihmisen kognitiivisten (aistinvaraisten) toimintojen ohjauksen risteysasemana (Ross & Wojciech, 2003).

Hajureseptorit ovat nenäontelon yläosan limakalvossa sijaitsevia värekarvallisia (kilioituja) hermosoluja, jotka reagoivat nenälimaan liuenneiden aineiden kemialliseen koostumukseen. Hajuradan solut ovat lyhytikäisiä, alle kolme kuukautta. Ne ovat autonomisen hermoston ainoa ryhmä, joka säilyttää uusiutumiskykynsä sikiökauden jälkeen.

Hajukäämi on isojen aivojen ainoa alue, jonka neuronit uusiutuvat. Uusiutumiskyky on ihmisen toimintakyvylle oleellinen.

Jos hajuradan kautta hajukäämiin tai aivotursoon saapuva toksinen rasite ylittää uusiutumiskyvyn, seurauksena voi olla näiden alueiden hermosolujen atrofioituminen (surkastuminen). Se havaitaan aluksi hajuaistin virheinä/puutteena (*hyposmia, anosmia*).

Vammautumisen edetessä voi tuloksena olla kognitiivisen toimintakyvyn heikentyminen (Schwob 2002).

USA:ssa tehtiin vuosina 2005-2006 laaja väestön tutkimus, National Social Life, Health and Aging Project (NSHAP), jossa tavoite oli selvittää terveyteen ja sosiaalisiin olosuhteisiin liittyvien tekijöiden vaikutusta elinikäodotukseen.

Lokakuussa 2014 julkistetut tulokset saavuttivat maailmanlaajuisen huomion, kun ilmeni, että ihmisen hajuaisti toimii ”kanarialintuna”, joka peilaa tarkasti koko kehon elinvoimaa (Pinto ym. 2014). Hajuaistin toimivuus ennusti jäljellä olevan eliniän paremmin kuin mikään muu käytettyistä mittareista, kuten sydän- ja verisuonisairaudet, syöpä, keuhkosairaudet. Tutkijat selittivät tätä havaintoa sillä, että hajushermo (olfactory nerve) on aivojen hermoista ainoa, joka suoraan altistuu ympäristön kuormitukselle.

Sisäilmaan liittyvä sairastaminen kouluissa

Koulujen sisäilmaongelmat ovat jatkuvasti lehtien palstoilla ja keskustelun aiheena. Koulut ja päiväkodit ovat erityisen tärkeitä siksi, että siellä ei altistu vain yksi ammattikunta, vaan koko seuraava sukupolvi, joka pitäisi päästä terveenä työelämään. Opettajien ammattiliitto OAJ teki vuonna 2012 kyselytutkimuksen jäsenistönsä keskuudessa. Se kertoo:

- kahden viime vuoden aikana 4 % opettajista oli jouduttu siirtämään toisiin tiloihin sisäilman aiheuttamien terveyshaittojen takia;
- viime kahden vuoden aikana rehtorien mukaan 5 % sisäilmaongelmien johdosta sairastuneista opettajista, ja työsuojeluvaltuutettujen mukaan 9 %, ei pystynyt työskentelemään tiloissa korjausten jälkeenkään.

Valtakunnan tasolla kyse on tuhansista sisäilman takia vammautuneista opettajista.

Keväällä 2011 selvitettiin, MITÄ ja MIKSI Helsingin kouluissa sairastetaan? Tutkimusta varten kiinteistövirasto valitsi 15 koulua eri puolilta kaupunkia, eri ikäisiä rakennuksia, erilaisilla rakennustekniikoilla toteutettuja. Terveyshaittaoireet selvitettiin kyselytutkimuksella verkossa linkin kautta (382 opettajaa). Jokaisen koulun jokaisesta opetustilasta (yhteensä 403 kpl) kerättiin pölynäyte ja laskeumamikrobinäyte, joiden toksisuudet tutkittiin solutoksikologisella menetelmällä. Ison aineiston tilastollinen analysointi on vielä käynnissä.

Sisäilman aiheuttamat silmäsairaudet

Silmäoireet ovat osoittautuneet monissa maissa yleisiksi ”sairaissa” toimistorakennuksissa. Silmän sarveiskalvoa peittää vain yhden solun paksuinen elävä kerros, jonka tehtävä on tuottaa voiteluainetta sarveiskalvon pintaan ja puhdistaa sarveiskalvoa kyynelkalvon avulla.

Silmäoireita pahentaa sisäilman kuivuus (suhteellinen kosteus alle 30 %). Se ei välttämättä johtuu silmän ”kuivumisesta”, vaan siitä, että homeiden purkamat nestemäiset toksiinipäästöt takertuvat (silmänkin) pinnoille, kun ilmassa ei ole riittävästi vesihöyryä pitämässä toksiineja leijumassa. Tämän vuoksi näitä sairauksia on eniten talvella, kun ilman kosteus on alhainen.

Jos aggressiiviset mikrobitoksiinit tappavat sarveiskalvoa peittävän elävän solukerroksen, niin silmän voitelu lakkaa toimimasta (Wolkoff, 2010). Mitokondriomyrkyllisten sisäilmatoksiinien läsnäolo saattaa myös näkyä silmäluomien ”roikkumisena”, kun toksiini lamauttaa silmäluomen lihaskerros.


Mitokondriotoksiset aineet

Mitokondriot ovat elimistön tärkein energian (ATP, sähköinen kalvopotentiaali) tuottolaitteisto. Jos happea ei ole, mitokondrio ei voi toimia. Siinä tilanteessa monet kudokset siirtyvät tuottamaan ATP:tä glykolyysillä. Samalla syntyy maitohappoa, joten tätä toimintaa ei voi jatkaa kauan ilman, että veren pH laskee, ellei maitohapolle ole purkureittiä. Näin käy myös, jos jokin toksiini tai kemikaali estää mitokondrioita toimimasta tai on vaurioittanut mitokondrion entsyymejä.

Monia lääkeaineita on jouduttu vetämään pois markkinoilta mitokondriomyrkyllisyyden vuoksi. Tehokkain tunnettu mitokondriotoksinen mikrobimyrkky on kereulidi, jota tuottaa *Bacillus cereus* bakteeri. Sitä esiintyy sekä elintarvikkeissa ruokamyrkyttäjänä, että hometalojen mikrobikasvustoissa homeiden seuralaisena.

Kereulidi on rasvaliukoinen, hyvin tehokas myrkky (nanogramma riittää!) joka imeytyy ihon ja limakalvojen läpi, ja aiheuttaa niissä lämmöntunteen, koska glykolyysissä vapautuu enemmän lämpöä kuin mitokondrioden soluhengityksessä. Vereen päässeenä se aiheuttaa metabolisen asidoosin ja sydämen pysähtymisen, jopa kuoleman.

Kereulidi ja sen kaltaiset myrkyt, valinomysiini, penilidi, enniatiinit, pysäyttävät siittiöiden uintiliikkeen (Rasimus ym. 2012; Tonshin ym 2006; Hoornstra ym. 2003, 2004). Sen vuoksi siittiöitä, joita voi ostaa keinosiemennysasemilta, on kätevä käyttää mitokondriotoksisten toksiinien etsinnässä.

 *Se kasvaa kuin kaali
suomalaisissa rakennuksissa...*

Kaliumjoneja kuljettavat toksiinit

Sisäilmaongelmaisista rakennuksista löytyy usein *Streptomyces*-suvun aktinobakteereja. Ne viihtyvät homeiden kanssa ja saattavat elää homeiden kanssa jonkinlaisessa symbioosissa, auttaen homeita kaliumjonien hankinnassa. *Streptomyces griseus* ja *Str. albidoflavus* lajit ja näitä lähellä olevat lajit voivat tuottaa monia erilaisia mitokondrioihin vaikuttavia toksiineja.

Trichoderma-suvun sienet ovat yleisiä rakennuksissa; joissa koetaan vakavia, sisäilmaan liittyviä terveyshaittoja, usein ihoon liittyviä kuten sietämätön kihisevä kutina, myös vaatetuksen alla. Kaikki Helsingin yliopistossa tutkitut, toksisiksi havaitut triko-dermat tuottivat trilingiineja. Trilingiinin myrkyllisyys perustuu sen kykyyn muodostaa jännitteestä riippuvia kalium-natrium-kanavia solun kalvoihin.

Trichoderma longibrachiatum -homeen todettiin tuottavan samoja toksisia molekyyliä sienikannan alkulähteestä riippumatta: hometalo, sairaalapotilas, maaperä ja komposti. Sitä on löydetty ympäri maapalloa, jopa etelämantereelta. Toksiini koostuu kahdesta eri perheestä lähisukuisia molekyyliä.

Kaikkiaan kahdeksan eri *T. longibrachiatum* kannan toksiinit tutkittiin. Niiden alkuperät olivat tila, johon liittyi vakava sisäilmamyrkytys (3 kantaa, Suomi), keskosen kuolemaan johtanut ihon infektoituminen (Espanja), tuberkuloosipotilaan sylkinäyte (Espanja), maanäyte (Antarktis), herkkusienikomposti (Iso Britannia), biopestisidi (Egypti).

Hometaloista eristettyjen kantojen toksiinin tuottavuus oli hyvin korkea, 1-2 painoprosenttia homepesäkkeen bruttopainosta.

Kalium-kanava on kaikkien ihmissolujen tärkein jonikanava. Sen tehtävä on säätää muun muassa glukoosin ottoa verestä elinsoluihin, se toimii hermostossa sähköisen signaalin kuljettajana,

Pe-home näyttää kykenevän valtaamaan kokonaisia rakennuksia ja syöttämään sisäilmaan toksiinipisaroita kuin ohjuksia.

ja kaliumkanava kuuluu osarakenteena lukemattoman moniin solukalvojen reseptoreihin.

Trilongiini ja senkaltaiset kaliumia ja natriumia läpäiseviä kanavia tuottavat vieraspeptidit voivat siis aiheuttaa elintoimintahäiriöitä kaikissa niissä elimissä, mihin näitä molekyyliä joutuu. Erityisen uhanalaisia ovat ylähengitysteiden solut. Nenän hajuaistin soluista kulkee hajurata aivojen hajukäämiin.

Luontaista immuunijärjestelmää häiriköivät toksiinit

Hometaloista löydetty *Bacillus amyloliquefaciens* ja muut muut bacillus lajit tuottavat amyloosiiniksi nimettyä kalium-natrium-jonikanavia muodostavaa peptidiä, joka on vahvasti immuunitoksinen (Salkinoja-Salonen ym. 2011; Rasimus, Sahari ym. 2014). Amyloosiini estää useiden bakteerien ja homelajien kasvun- ja voi siten muuttaa ympäristönsä mikrobiomia.

• Toinen luontaista immuunijärjestelmää häiriköivä hometalomikrobi on *Penicillium expansum*. Se tuottaa useita erilaisia vahvoja myrkkyaineita, ketoglobosiinia ja kommunesiineja, joiden vaikutuskohteena on mitokondriot ja makrofagit. Se kasvaa kuin kaali suomalaisissa rakennuksissa, joihin on rakentamisen jälkeen asennettu koneellinen ilmanvaihto, ja käsitelty biosideilla.

Penicillium expansum -home näyttää kykenevän valtaamaan kokonaisia rakennuksia ja syöttämään sisäilmaan toksiinipisaroita

kuin ohjuksia. Sen esiintymiseen ei toistaiseksi ole kiinnitetty huomiota sisäilman tutkimusohjeissa. *P. expansum* näyttää jääneen sisäilmatutkimusten ”roskalaatikkoon” joka ilmoitetaan nimellä ”*Penicillium sp.*”

Tämä kirjoitus on lyhennelmä professori Mirja Salkinoja-Salosen laajasta artikkelista tätä kirjaa varten. Hän on laatinut artikkelin yhdessä Maria A. Anderssonin, Raimo Mikkolan, Johanna Salon ja Martti Viljasen kanssa.