

Hometaloissa hengitetään

Myrkyllistä ilmaa



■ Uudella laitteella tehdyt mittaukset ovat paljastaneet joidenkin hometalojen huoneilmasta mikrobien tuottamia toksisia aineita: samoja, jotka aiheuttavat myös ruokamyrkytyksiä. Tutkimustulokset merkitsevät professori Mirja Salkinoja-Salosen mukaan vasta valoa tunnelin päässä; ongelmaa ei suinkaan ole vielä ratkaistu.

Teksti ja kuvat: Teija Horppu

Kun kosteusvaurio muhii tarpeeksi kauan, myrkyllisiä yhdisteitä tuottavat mikrobit valtaavat hiljalleen tilaa harmittomilta. Lopulta ne alkavat levittää hometalon ilmaan myrkyllisiä aineita, osoittaa professori Mirja Salkinoja-Salosen tutkimus.

Professori **Mirja Salkinoja-Salonen** on palvasieluinen tutkija. Mitä muuta voi sanoa henkilöstä, joka ei eläkkeelle jäätyäänkään malta lopettaa tutkimustyötä, vaan janoaa saada tietää lisää?

Salkinoja-Salonen jätti tänä vuonna Helsingin yliopiston mikrobiologian professorin viran, mutta jatkaa 15 vuotta sitten aloittamaansa tutkimusta mikrobien tuottamista myrkyistä Suomen Akatemian huippuyksikön tutkimusjohtajan vakanssilla samassa yliopistossa.

Elintarvikkeiden toksiset aineet ruokamyrkytysten aiheuttajina ovat Salkinoja-Salosen kiinnostuksen ykköskohde. Sivussa hän on kuitenkin joutunut tonkimaan hometaloja, sillä osa niistä löytyneistä myrkyllisistä aineista on osoittautunut samoiksi kuin ne, joita ruokamyrkytysmikrobit tuottavat.

Havainto on ollut yllätys myös Salkinoja-Saloselle itselleen.

Ihminen täysin suojatun

Bakteerien tuottamia stabiileja eli keittämisen kestäviä myrkyaineita elintarvikkeissa ja hometalloissa on tutkittu maailmalla erittäin vähän, Suomen lisäksi lähinnä Belgiassa, Hollannissa ja Japanissa.

Kereulidi, maailman myrkyllisin bakteerin tuottama stabiili toksiini löydettiin 1990-luvun puolivälissä sekä Suomessa että Japanissa, mutta hyvin erilaisilla menetelmillä. Kereulidin tuottaja *Bacillus cereus* -bakteeri on 2000-luvulla ottanut ykköspaikan ruokamyrkytyistä aiheuttavien bakteerien joukossa.

Kaikki tähän mennessä hometalloista löydetty sisäilman mikrobitoksiinit, muun muassa kereulidi, kestävät kuumennuksen.

Yhteistä niille on myös rasvaliukoisuus ja kemiallinen kestävyys: ne eivät liukene veteen, eikä desinfiointiaine poista niiden myrkyvaikutusta.

Ihminen on niille täysin suojatun, koska rasvaliukoisina ne imeytyvät ihon läpi elimistöön. Tästä syystä niiden altistustasoakin on vaikea mitata.

Nyt tulemme Mirja Salkinoja-Salosen tuoreeseen tutkimukseen: ilmassa olevan pölyn kautta tutkijat toivovat pääsevänsä altistuksen määrän lähteelle.

Laboratoriosta hometaloihin

Stakesin sisäilmaohje vuodelta 2003 antaa suosituksia, kuinka paljon huoneilmassa saa olla mikrobeja. Salkinoja-Salosta rassasi pitkään, ettei raja-arvoilla näyttänyt olevan mitään yhteyttä ihmisen kokemuksiin terveyshaittoihin.

Perinteisillä menetelmillä toteutetut mittaukset saattoivat osoittaa huomattavasti raja-arvojen alle jääviä mikrobimääriä, mutta silti jotkut kosteusvauriotaloissa asuneet olivat erittäin sairaita.

Lääketieteessä on tiedetty kauan, etteivät kaikki bakteerit ole häijyjä. Olennaista ei ole, kuinka monta bakteeria ihmisellä on vaikkapa suolistossaan, vaan mitä bakteereja siellä on ja mitä ne tekevät. Saman lainalaisuuden Salkinoja-Salonen uskoi pätevän myös hometaloihin.

Laboratorio-oloissa Salkinoja-Salosen tutkimusryhmä pystyi jo aiemmin osoittamaan, että hometalomikrobit tuottavat myrkyjä. Sitä laboratorioviljelyt eivät kuitenkaan kerro, kuinka paljon niitä löytyy kosteusvaurioisesta rakennuksesta.

Hometalojen ilmasta piti saada kiinni

pienhiukkaset, sillä yleensä myrkyt sitoutuvat niihin. Metsästyksen tulokset olivat kuitenkin huonot: perinteiset keräimet tukeutuivat.

Samaan aikaan, kun Salkinoja-Salonen etsi laitetta, jonka avulla millimetrin tuhannesosan kokoiset hiukkaset voitaisiin napata, home- ja kosteusvaurioiden ehkäisyyn ja korjaamiseen erikoistunut Inspector Sec

Oy törmäsi samaan ongelmaan.

Yrityksen toimitusjohtaja, insinööri **Risto Salin** ihmetteli, miksei otsonoimisen tapainen järeäkään puhdistusmenetelmä tehoa kaikkiin kohteisiin. Saatuaan voimakkaita myrkytykseen viittaavia oireita otsonoimalla puhdistetusta tilasta Salin alkoi etsiä hometalojen myrkyihin erikoistunutta tutkijaa. Hänet neuvottiin Mirja Salkinoja-Salosen luo.

Toksisuutta suoraan pölystä

Kohtaamisen tuloksena alkoi tapahtua. Kun Salin sai kuulla, että tutkijoiden pulmana on oikeanlaisen keräimen puute, hän lupasi kehittää sellaisen.

Mirja Salkinoja-Salonen ja mikrobiologi **Maria Andersson** antoivat tavoiteltavien hiukkasten painoista, varauksista ja molekyyliarakenteesta tiedot, joiden pohjalta syntyi laitteen toimintaperiaate. Keräyskennojen ohi pääseviä myrkyjä ei haluttu päästää takaisin sisäilmaan, joten mukaan lisättiin keräyksen jälkeisiä suodatuksia.

Salin löysi markkinoilta toiseen tarkoitukseen suunnitellun laitteen, johon hän teki tarvittavat muutokset. Lopputulos,

sivulle 9

Biologisen sodankäynnin mestareita

Myrkylliset, läpimitaltaan alle 0,01 millimetrin kokoiset mikrobit ovat pirullisen mestarillisia biologisia sodankävijöitä.

Mikrobikasvun tärkein edellytys on vesi. Lisäksi tarvitaan ravinteita, tosin huomattavasti vähemmän kuin vettä. Kosteusvauriotaloissa mikrobit käyttävät ravinnoksi rakennuksen biohajoavia materiaaleja.

Mikrobikasvustoa edistää hiilidioksidipitoisuus ilma ja vähentää raikas ulkoilma. Miltei kaikki bakteerit ja sienet kasvavat myös kylmässä, joten lämpötilalla mikrobihaittoja ei hallita.

Kosteusvaurioisessa talossa mikrobit käyvät omaa keskinäistä biologista soitaansa. Kun vaurio on uusi, siitä ei löydy myrkyä tuottavia mikrobeja. Mutta kun se saa kaikessa rauhassa muhia vaikkapa vuosia, välillä kuivua ja uudelleen kasvaa, bakteeri- ja sienikasvustot alkavat tuottaa myrkyä.

Myrkyä tuottavat sienet valtaavat hiljalleen tilaa harmittomilta sieniltä, kunnes myrkyntuottajat ovat enemmistönä. Sama mekanismi toimii sekä pilaantuvassa elintarvikkeessa että hometalossa.

”Kyseessä on mikrobien biologinen

sodankäynti, jossa kesyt yksilöt jäävät lopulta toiseksi”, Mirja Salkinoja-Salonen kiteyttää.

Hometalon ilman toksisuus on siis kiinni siitä, kuinka kauan kosteusvaurio on ehtinyt vaikuttaa. Elävä esimerkki teorian paikkansapitävyydestä on Salkinoja-Salosen tutkijakollega Maria Andersson.

”Asumme umpihomeisessa talossa, mutta silti perheen jäsenet ovat terveitä. Myös tätä ennen asuimme hometalossa, ja siinä talossa me kaikki sairastimme”, hän kertoo.

Mikrobimyrkyt eivät anna armoa

Mirja Salkinoja-Salosen kooste kosteusvauriotalojen sisätilojen myrkyllisistä mikrobeista kuuluu jännitystarinoiden parhaimmiston. Toksisten mikrobin toimintamekanismeja koskevat kuvaukset tempaavat mukaansa. Paikotellen joutuu kysymään itseltään, haluaako tietää enempää, mutta tarinan imu on niin vahva, ettei lukemista voi keskeyttää.

Kereulidi

Ikävin hometalojen mikrobi on *Bacillus cereus* -bakteerin tuottama rengasmainen peptidi kereulidi. Rasvaliukoinen kereulidi imeytyy elimistöön ja muuttaa solukalvot kaliumioneja läpäiseviksi. Soluissa kereulidi tuhoaa mitokondrioiden toiminnan. Seuraa energiakriisi, johon elimistön solut reagoivat käynnistämällä itsetuhon.

Kereulidimyrkytyksen tiedetään johtaneen vakavaan maksavaurioon ja kuolemantapauksiin, mutta lievemmän altistuksen taudinkuva on vielä epäselvä.

Ainakin kereulidi pysäyttää ihmisen luontaisesta immuniteetista huolehtivien tappajasolujen toiminnan. Lisäksi sen oletetaan vaikuttavan hapestä riippuvaisiin soluihin, kuten sydänlihakseen, keskusta ääreishermostoon ja haiman insuliinia tuottaviin soluihin.

Valinomysiini

Myös valinomysiini on rengasmainen peptidi ja kaliumkuljetin, joka hakeutuu mitokondrioihin ja käynnistää ohjelmoidun solukuoleman. Valinomysiinin tuottajaksi sisätiloissa ovat varmistuneet aktinobakteerit *Streptomyces griseus* ja *Streptomyces anulatus*.

Valinomysiini pysäyttää nisäkässolujen värekarvojen liikkeen, josta monet elimet, muun muassa keuhkot ja haima, ovat riippuvaisia. Lisäksi valinomysiini on myrkyllinen ihmisen immuunijärjestelmän soluille, ja se käynnistää luontaisten tappajasolujen itsetuhon.

Amylosiini

Bacillus amyloliquefaciens -bakteerista löytyneen amylosiinin tuotto on osoittautunut kosteusvauriorakennusten sisäilmas- sa hyvin yleiseksi. Samat kannat tuottavat myös lipopeptidiä, joka ei ole myrkyllinen, mutta tehostaa amylosiinin vaikutusta.

Pääasiallinen ioni solussa on kaliumioni, sen ulkopuolella natriumioni. Kalium- ja natriumeron ylläpitoon solut käyttävät pääosan tuottamastaan energiasta, ja tähän eroon perustuu hermojen toiminta.

Amylosiini on lineaarinen peptidi, jon-



Hometalojen sisäilmasta löydettyt toksiniitit ovat sitkeitä ja kemiallisesti kestäviä, eivätkä desinfiointiaineet poista niiden myrkyvaikutusta.

ka toisessa päässä oleva polyeenihäntä luokitsee amylosiinin biologisiin kalvoihin ja muodostaa niihin kalium-, natrium- ja kalsiumioneja läpäisevän kanavan. Häirikökanava ohittaa luontaisen järjestelmän ja sekoittaa kalium- ja natriumpitoisuuksien eron.

Amylosiinin vaikutuksia elimistöön ei vielä juuri tunneta, mutta niiden oletetaan kohdistuvan ainakin hermoimpulssien kulkuun ja sydämen toimintaan.

Peptaibolit

Peptaiboleja ovat lyhyet, hydrofobiset, 5–20 aminohapon pituiset peptidit. Niitä tuottavat *Hypocreales*-lahkon sienet. Hometalojen peptaiboleista parhaiten tunnetaan *Trichoderma harzianum* -sienen peptaibolin ES 39:n rakenne. *Trikokindin*-ryhmään kuuluva peptaiboli pystyy ärhäkästi tappamaan ihmisen keuhkosoluja tekemällä niihin kaliumioneja läpäiseviä kanavia.

Mirja Salonoja-Salkinen (vas.) ja Maria Andersson yrittävät selvittää, missä määrin hometaloissa asuvat ihmiset altistuvat myrkyllisen ilman haitoille.





Akreboli

Vasta äskettäin on löydetty *Acremonium exuviarum* -sienilajin tuottama peptaiboli akreboli. Se on ensimmäinen sienestä löytnyt aine, joka estää soluhengityksen eli mitokondriossa tapahtuvan hapenkulutuksen ja siihen liittyvän energiatuotannon, joka tosin voi jatkua glykolyysin kautta.

Eniten haittaa akrebolista ennustetaan olevan elimistön osille, joiden toiminta edellyttää nimenomaan mitokondriossa tapahtuvaa hapetusta. Sellainen on sydän: sen energianlähteeksi ei kelpaa mikään muu kuin rasvahappojen polttaminen mitokondriossa hiilidioksidiksi. Toinen ovat haimassa insuliinia tuottavat beetasolut.

Stachybotrys

Maailman eniten tutkittu kosteusvauriohome *Stachybotrys chartarum* (ent. *Stachybotrys atra*) tuottaa useita eri mykotoksiineja. Niiden lisäksi on löydetty kaksi muunlaista toksiniä, jotka mahdollisesti myrkyttävät keuhkojen värekarvoja. *Stachybotrys*-myrkyjen molekyyylitason haittamekanismi ei vielä tunneta.

Stachybotrys chartarum muodostaa usein yhteiskasvustoja *Streptomyces*-kantojen kanssa, jotka voivat tuottaa valinomysiinia. Vaikka *Stachybotrys* itse ei tuottaisi myrkyä, sekakasvustona streptomyykeettien kanssa se voi olla myrkyllinen. Sienestä murenevia betaglukaanihiukkasia voi kertyä keuhkoihin, jos sen seuralaisen tuottama valinomysiini pysäyttää keuhkoputkia puhdistavien värekarvojen toiminnan.

Aino Nevalainen ei vähättele toksiinitutkimusta

”Salkinoja-Salonen tekee tärkeää työtä”

Kun tiedot Mirja Salkinoja-Salosen uusista tutkimustuloksista tulivat julkisuuteen, Kansanterveyslaitoksen ympäristöterveyden osaston tutkimusprofessori **Aino Nevalainen** huomasi joutuneensa tulosten vähätelijän rooliin.

Hometaloja pitkään tutkineen Nevalaisen uutisoitiin moittivan Salkinoja-Salosen toksiinitutkimusta ihmisten pe-lotteluksi.

”En missään tapauksessa halua kyseenalaistaa enkä vähätellä tutkimusta. Mirja Salkinoja-Salonen tekee erinomaista ja tärkeää tutkimusta yrittäessään selvittää toksiineja”, Nevalainen sanoo *Kemia*-lehdelle.

Nevalainen kertoo, että häntä pyydettiin kommentoimaan tutkimusta esitelleen lyhyen tekstin yksittäisiä asioita. Kommentista poimittiin kuitenkin vain joitakin pieniä osia, ja nekin yhdistettiin väärin asioihin.

”Olen saanut monia vihaisia yhteydenottoja”, Nevalainen myöntää.

”En suinkaan tarkoita, että Salkinoja-

Salosen toksiinitutkimus olisi ihmisten pe-lottelua, vaikka liian varhaiset johtopäätökset voivatkin olla sitä. Mittauksia on tehty vasta kolmessa talossa, eikä näin pienen otannan perusteella voida vielä vetää johtopäätöksiä. Suhtaudun siis varauksella tulosten arviointiin, en koko tutkimukseen.”

”Tutkimuksen tässä vaiheessa toksiinimittauksia ei voida vielä käyttää rutiinimaiseen sisäilman laadun arviointiin, koska ei välttämättä osata sanoa, mitä tulokset tarkoittavat”, Nevalainen lisää.

Hän muistuttaa jo entuudestaan olevan tiedossa, että mikrobikasvustoihin liittyy toksiineja ja että ne ovat haitallisia. Bakteeritoksiinien lisäksi sisäilmassa voi olla kymmeniä hometoksiineja, mutta niiden merkitystä ihmisen terveydelle ei vielä tunneta.

”Toksiineja ja niiden vaikutusta pitää tutkia vielä lisää. Niin kauan kuin riittävä tietoa ei ole, homeeseen kannattaa suhtautua kuin se olisi toksista”, Nevalainen korostaa.

Sivulta 7

uusi näytteenottolaite kerää pienhiukkasia ja laskee, kuinka paljon ilmaa sen läpi menee. Kun tiedetään ihmisen vuorokaudessa hengittämän ilman määrä, selviää myös, paljonko hänen elimistöönsä joutuu myrkyä.

Laite toimi paremmin kuin Salin roheni odottaa. Kun laitteella ensi kertaa kerättiin hometalosta pölyä, toksisuus voitiin todeta suoraan siitä, eikä erillistä mikrobiviljelmää tarvittu. Ensimmäisestä toksisesta pölystä löytyi kolme myrkyllistä mikrobilajia.

Keräintä alettiin käyttää muuallakin. Kaikista hometaloista, joiden asukkaat olivat sairastuneet, löytyi myrkyllistä pölyä – samoja myrkyjä, joita aiemmin oli saatu aikaan laboratorioissa viljelemällä.

Myrkyt vievät puolustuskyvyn

Mirja Salkinoja-Salosen oletus on, että toksiinit heikentävät ihmisen puolustuskykyä. Hän on tutkimustuloksista innoissaan.

”Tämä on se puuttuva palikka, jota olemme vuosikautia hakeneet. Ei ole epäilystäkään, että terveys vaurioituu, jos näitä aineita joutuu elimistöön.”

Heti seuraavassa lauseessa hän kui-

tenkin korostaa, että tieteellisesti asia on vasta alkuvaiheessa.

”Vielä on paljon tutkittavaa, jotta pystytään laskemaan, mistä ilmamäärästä laitteen kiinni saama pöly on peräisin. Jos talossa esimerkiksi on ilmastointi, on epävarmaa, kuinka monta kertaa ilma on kiertänyt.”

Solutoksikologinen tutkimus tehdään Biokeskus I:ssä Helsingin Viikissä, mutta lisäksi tarvitaan immunotoksikologinen tutkimus, jolla selvitetään, miten pienhiukkasten sisältämät toksiinit vaikuttavat ihmisen solujen kykyyn puolustautua tulehduksia aiheuttavien mikrobeja vastaan. Tämän tutkimuksen tekee työterveyslaitos.

Salkinoja-Salosen tulosten luulisi kiinnostavan laitosta jatkossakin, sillä tähän saakka ei ole ollut keinoa osoittaa, että homeisissa tiloissa työskenteleminen on sairastuttanut ihmisen.

Vuosina 1995–2004 työterveyslaitoksessa tutkittiin 2 278 henkilöä, jotka olivat saaneet oireita työskennellessään hometalossa. Heistä vain 373 eli 16,4 prosenttia sai ammattitautidiagnoosin, jonka mukaan sairauden oli aiheuttanut oleskelu homeisessa talossa. □

Kirjoittaja on vapaa toimittaja. teija.horppu@thor-viestinta.fi