

## ILMANVAIHDON TERVEYSPERUSTEISET EU-OHJEARVOT

Otto Hänninen<sup>1</sup>, Arja Asikainen<sup>1</sup>, Carrer P<sup>2</sup>, Kephelopoulos S<sup>3</sup>, Oliveira Fernandes de E<sup>4</sup>, Wargocki P<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, <sup>2</sup> Milanon yliopisto, <sup>3</sup> EC JRC tutkimuskeskus, Ispra, <sup>4</sup> Porton yliopisto, <sup>5</sup> Tanskan teknillinen yliopisto, Kööpenhamina.

### TIIVISTELMÄ

EU:n terveys ja kuluttajansuojadirektooraatin (DG Sanco) rahoittama HEALTHVENT-hanke määrittäi terveysperusteiset kriteerit ilmanvaihdolle. Sisätiloissa tapahtuvaan altistukseen vaikuttavat niin sisälähteet, jotka perinteisesti on mielletty tärkeiksi ilmanvaihdon kannalta, kuin myös ulkoilman laatu. Terveysperusteiset ilmanvaihdon ohje-arvot sisältävät siten kolme pääkomponenttia: (i) ulkoilman laadun huomioimisen; (ii) sisälähteiden kontrollin; ja (iii) asukkaiden/oleskelijoiden määrään perustuvan vähimmäisilmanvaihdon, jonka tulee toteutua silloinkin, kun kaikki sisälähteet on eliminoitu. EU:n tasolla arvioitiin, että ohje-arvojen avulla voidaan alentaa sisäaltistuksiin liittyvää tautitaakkaa noin miljoona tervettä elinvuotta.

### JOHDANTO

Vietämme ajastamme valtaosan sisätiloissa. Aktiivisin työikäinen väestökin on sisätiloissa noin 85% ajastaan ja vanhusten ja lasten osalta osuus on usein suurempi. Pääosa altistumisesta ulkoilmankin saasteille tapahtuu sisätiloissa, vaikka rakennukset jonkin verran meitä suojaavat /1/. Toisaalta sisälähteistä peräisin olevat pitoisuudet voivat nousta korkeiksi jos ilmanvaihto ei ole riittävää. Lisäksi ilmanvaihto on myös merkittävä tekijä rakennusten energiankulutuksessa. Siten terveellisen ilmanvaihdon on tasapainoteltava näiden keskenään ristiriitaisten tekijöiden välissä.

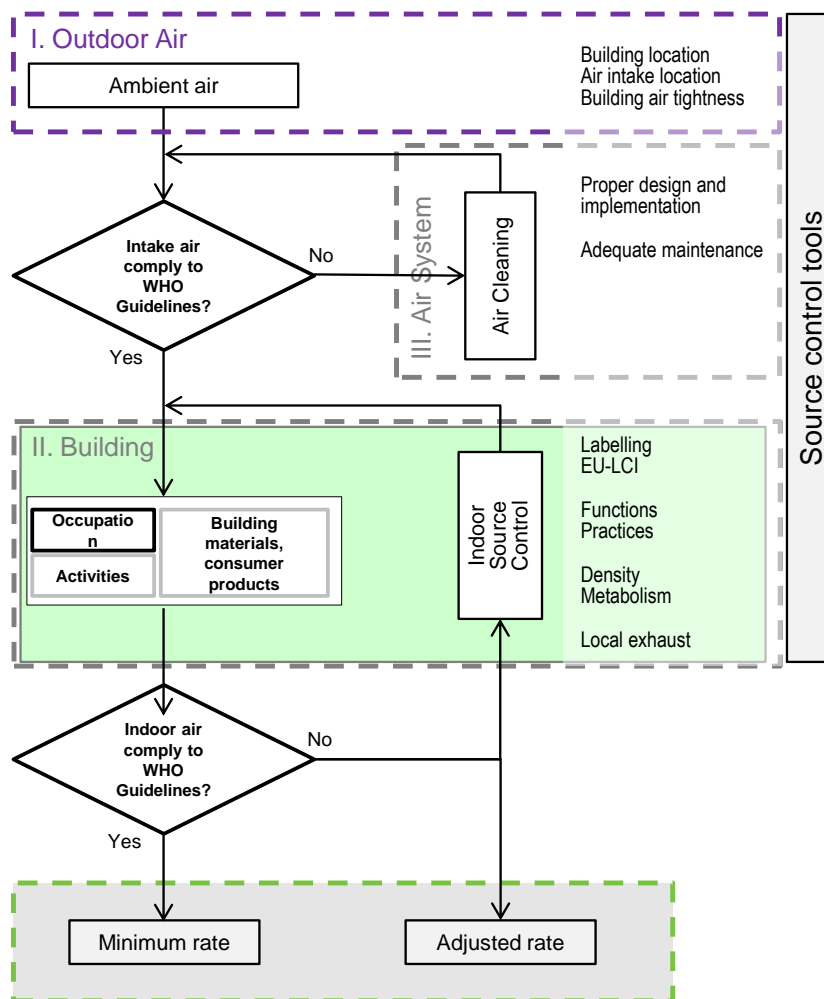
Terveys on arvo sinänsä, eikä terveyttä voida energiansäästön tai minkään muunkaan tekijän takia vaarantaa: kaikilla on oltava oikeus turvalliseen koti-, koulu- ja työympäristöön /2/. Siten HEALTHVENT-hankkeen keskeinen haaste oli määrittää perusteet terveellisen ilmanvaihdon varmistamiselle.

Työ aloitettiin systemaattisella kirjallisuuskatsauksella tutkimuksiin, joissa oli tarkasteltu ilmanvaihdon ja terveyden välistä suhdetta. Tätä työtä koordinoi prof. Paolo Carrer Milanon yliopistosta. Vaikka aihetta käsitteleviä tutkimuksia lienee sadoittain, kvantitatiiviseen vertailuun sopivia riittävän korkeatasoisia tutkimuksia voitiin löytää vain suppea joukko /3/. Joissakin tutkimuksissa ilmanvaihdon lisäämisen terveyshyötyjä havaittiin jopa tasolle 20 lps pp saakka, mutta pääosin kuitenkin vain noin 6-8 lps pp tasoon saakka. Työryhmässä keskusteltiin tiiviisti siitä, olisivatko nämä löydökset riittävä peruste suositella minimi-ilmanvaihdoksi tuota tasoa? Kuitenkin osa tutkimuksista oli tehty jo 1990-luvulla ja oli selvää, että sisälähteiden päästöjen alentamiseksi on tehty paljon työtä sen jälkeen; siten vanhassa rakennuskannassa ja korkeilla sisäpäästötasoilla havaittuja hyötyjä ei voitu ottaa riittävän ilmanvaihdon lähtökohdaksi.

## TERVEYSPERUSTEIDEN RAKENNE

Kattavimmat systemaattiset kansainväliset arviot ilmansaasteiden terveysvaikutuksista on toteutettu Maailman terveysjärjestön (WHO) ilmanlaadun ohjearvoprosessissa, joka käynnistyi 1980-luvun puolivälissä /4/ ja jatkuu edelleen. Siten terveyshaittojen torjumiseksi ja terveellisen ilmanvaihdon määrittämiseksi perusteeksi valittiin WHO:n systemaattiseen tieteelliseen arviointiin perustuvat ilmanlaadun ohjearvot: terveellisen ilmanvaihdon tulee johtaa sisäilmaan, joka täyttää nämä ohjearvot.

Ilmanvaihdon tulee huomioida ulkoilman laatu (kuva 1) siten, että rakennukseen tuleva ilma täyttää terveellisen ilman vaatimukset. Erityisesti pienhiukkasten osalta tämä aiheuttaa huomattavan haasteen suuressa osassa Eurooppaa, jossa yli 90 % väestöstä asuu alueilla, joilla ulkoilma ei täytä WHO:n ohjearvoa ( $PM_{2,5}$  vuosipitoisuus  $10 \mu g m^{-3}$ ) /5/. Toiseksi ilmanvaihdon tulee huomioida sisätiloissa olevat päästölähteet, joita ovat sekä rakenteisiin, kalusteisiin että toimintoihin liittyen. Mitä enemmän sisäpäästöjä tiloissa syntyy tai esiintyy, sitä korkeammaksi ilmanvaihto joudutaan asettamaan. Kolmanneksi ilmanvaihdon täytyy kaikkein puhtaimmissakin rakennuksissa olla riittävä suhteessa tilan käyttäjien raittiin ilman tarpeen tyydyttämiseen ja ihmisistä itsestään peräisin olevien epäpuhtauksien poistamiseen.



Kuva 1. Terveellisen ilmanvaihdon perusteet kaaviokuvana /3/.

## **TERVEYSPERUSTAISUUS JA TARKASTELLUT ALTISTEET**

Vuonna 2010 julkaistussa sisäilman ohjearvot kokoelmassa /9/ asetettiin turvalliseksi katsottu ohjearvotaso viidelle ilmansaasteelle, joiden osalta nähtiin tarpeelliseksi nimenomaan tarkastella altistusta sisätiloissa (taulukko 1). Lisäksi listattiin neljä altistetta, joille turvallista tasoa ei voida lainkaan asettaa, sillä haitat alkavat heti nolasta. Tyypillisesti tällaisia ovat syöpävaaralliset yhdisteet, joiden osalta riskin hallinnan täytyy perustua hyväksyttävään riskitasoon. Aiemmissa ohjearvokokoelmissa /6, 7, 8/on tarkasteltu yhteensä noin kolmeakymmentä altistetta, joista pääosalle turvallinen taso on löydetty (taulukko 1). Terveellisen ilmanvaihdon tulee siis täyttää sisäilman laatuvaatimukset kaikkien näiden komponenttien osalta.

Terveysperusteisen ilmanvaihdon optimoimiseksi tehdyissä laskelmissa huomioitiin kansainvälisissä terveysvaikutusten arvioinneissa tärkeimmiksi katsotut ilmansaasteet, pienhiukkaset, radon, passiivitupakointi, häkä, hiilivedyt, bioaerosolit ja kosteusvauriot. Näistä erityisesti pienhiukkaset nousivat keskeiseen rooliin. Suuri osa ohjearvoista koskee erilaisia hiilivety-yhdisteitä, jotka vaikutusarviossa käsiteltiin vain karkeasti yhdistelmänä. Joissakin tapauksissa tarkempi yhdistekohtainen arviointi saattaa olla perusteltua.

Minimi-ilmanvaihtotason asettaminen silloin, kun mitään päästölähteitä ei ole, osoittautui haastavaksi. Ihmisistä ja elämistä peräisin olevat aineet ja yhdisteet kuten hiilidioksidi, hilse, hiki ja hajut vaikuttavat selkeästi viihtyvyyteen ja hiilidioksidi korkeina pitoisuuksina myös vireyteen ja suorituskykyyn, mutta konkreettiset vaikutuksia terveyteen ei ole yhtä helppo osoittaa. Piilevien ja hitaasti ilmenevien vaikutusten osalta myös yksilöllinen herkkyys ja vaihtelu asettaa haasteita turvallisen tason määrittämiseksi. Tältä osin terveysperusteiden numeeriseksi arvoksi esitettiin 4 lps pp, mutta itse tarkkan lukuarvon yhteys terveysvaikutuksiin jää varsin heikoksi. Tuolla ilmanvaihtotasolla henkilöiden itsensä tuottama hiilidioksidipitoisuus asettuu n. 1500 ppm tasolle. Matalampiakin tasoja vaaditaan, esim. 1000 ppm (ASHRAE, 2007 Yhdysvalloissa) tai 1200 ppm (Rakentamismääräyskokoelma osa D2 Suomessa (2010)). Minimi-ilmanvaihdon merkitys korostuu kun sisäpäästöjen torjunnassa edistytään; mitä puhtaampia rakennusmateriaalit, kalusteet ja toiminnot ovat, sitä tärkeämpään rooliin ilmanvaihdon mitoittamisen kannalta nousee minimi-ilmanvaihdon vaatimus.

## **ILMANVAIHDON LÄHTÖTILANNE JA OHJEARVOJEN VAIKUTUS**

Terveysperusteisen ilmanvaihdon käyttöönoton terveyshyötyjen arvioimiseksi EU:n rakennuskannalle kehitettiin karkea massa-balanssimalli, jonka avulla arvioitiin kuinka altistustasot muuttuvat ilmanvaihdon ja ohjearvojen esittämien päästöalennusten ansiosta. Suomessa asuinrakennusten väestöpainotetuksi ilmanvaihdoksi arvioitiin vuoden 2010 tilanteessa n. 17 lps pp, joka mahdollistaa kohtuullisten sisälähteidenkin olemassaolon. Kun sisälähteitä tehokkaasti poistetaan, on ilmanvaihtoa mahdollista pienentää.

*Taulukko 1. Terveysperusteisen ilmanvaihdon ohjeartotyössä pohjana käytetyt WHO:n ilmanlaadun ohjeartot ja terveysvaikutuslaskelmissa huomioituvat altisteet (\*).*

WHO ilmanlaadun ohjeartot			
	2nd Edition /6/ 2000	Global Update /7/ 2005	Sisäilma /9/ 2010
<b>Ilmansaasteet, joiden merkitystä erityisesti sisäilmassa on tarkasteltu erikseen</b>			
<b>Sisäilmasaasteet, joille ei voida osoittaa turvallista altistustasoa</b>			
1	Bentseeni°	UR $6 \times 10^{-6}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>	UR $6 \times 10^{-6}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>
2	PAH°	.	UR $8.7 \times 10^{-5}$ ( $\text{ng m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>
3*	Radon <sup>1</sup>	UR $3.6 \times 10^{-5}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>	UR $15 \times 10^{-5}$ ( $\text{Bq m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>
4	Tetrakloroetyleni°	0.25 $\text{mg m}^{-3}$	UR $4.3 \times 10^{-7}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>
5*	Kosteus ja homevauriot, laadulliset ohjeartot WHO 2009 /8/		
<b>Sisäilmasaasteet, joille on asetettu riittävän turvalliseksi katsottava ohjeartvo</b>			
6	Naftaleeni°		0.01 $\text{mg m}^{-3}$
7*	Formaldehydi°	0.1 $\text{mg m}^{-3}$	0.1 $\text{mg m}^{-3}$
8	Trikloroetyleni°	UR $4.3 \times 10^{-7}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>	0.25 $\text{mg m}^{-3}$
9	Typpidioksidi	40 $\mu\text{g m}^{-3}$	40 $\mu\text{g m}^{-3}$
10*	Hiilimonoksidi (häkä)	10 $\text{mg m}^{-3}$	7 $\text{mg m}^{-3}$
<b>Ilmansaasteet, joiden haitallisuudesta on katsottu olevan riittävä näyttö</b>			
<b>Ilmansaasteet, joille ei voida osoittaa turvallista altistustasoa</b>			
11	Acrylonitriili°	UR $2 \times 10^{-3}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>	
12	Arseeni	UR $1.5 \times 10^{-3}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>	
13	Asbesti	UR $1 \times 10^{-9}$ ( $\text{F m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>	
14	Kromi	UR $4 \times 10^{-2}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>	
15	Nikkeli	UR $4 \times 10^{-4}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>	
16*	Passivitupakointi (SHS)	UR $1 \times 10^{-3}$	
17	Vinyylilokloridi °	UR $1 \times 10^{-6}$ ( $\mu\text{g m}^{-3}$ ) <sup>-1</sup>	
<b>Ilmansaasteet, joille on asetettu riittävän turvalliseksi katsottava ohjeartvo</b>			
18	1,2-Dikloroetaani°	0.7 $\text{mg m}^{-3}$	
19	Kadmium	5 $\text{ng m}^{-3}$	
20	Hiilisulfidi	100 $\mu\text{g m}^{-3}$	
21	Diklorometaani°	3 $\text{mg m}^{-3}$	
22	Fluoridi	1 $\mu\text{g m}^{-3}$	
23	Rikkivety	150 $\mu\text{g m}^{-3}$	
24	Lyijy	0.5 $\mu\text{g m}^{-3}$	
25	Mangaani	0.15 $\mu\text{g m}^{-3}$	
26	Asbesti (kuidut)	.	
27	Elohopea	1 $\mu\text{g m}^{-3}$	
28	Otsoni	120 $\mu\text{g m}^{-3}$	100 $\mu\text{g m}^{-3}$
29	Styreeni°	0.26 $\text{mg m}^{-3}$	
30	Rikkidioksidi	50 $\mu\text{g m}^{-3}$	20 $\mu\text{g m}^{-3}$
31	Toluiini°	0.26 $\text{mg m}^{-3}$	
32	Vanadiini	1 $\mu\text{g m}^{-3}$	
<b>Hiukkaset</b>			
33	PM <sub>10</sub>	–	20 $\mu\text{g m}^{-3}$
34*	PM <sub>2.5</sub>	–	10 $\mu\text{g m}^{-3}$
<b>Huomioituvat ilmansaasteet, joita ei ole käsitelty WHO ohjeartvoissa</b>			
35*	Bioaerosolit (siitepölyt)		
<b>Ilmansaasteita yhteensä</b>		30	5
			9

° Haihtuvat ja osittain haihtuvat hiilivedyt. \* Huomioitu tautitaakka-arviossa. <sup>1</sup> Radon referenssitaso 100 Bq m<sup>-3</sup>.

UR = unit risk; altisteelle ei voida asettaa turvallista tasoa vaan haitat alkavat nolasta.

## KRITIIKKIÄ JA POHDINTAA

Terveysperusteisten ilmanvaihdon ohjearvojen tulisi parhaimmillaan antaa konkreettiset suunnitteluperusteet arkkitehdille ja rakennusinsinöörille. Kuinka tuloilman otto tulee sijoittaa ja miten ilmanvaihto mitoitetaan? Voidaanko terveelliseen ilmanvaihtoon päästä painovoimaisessa järjestelmässä vai onko energiatehokkuudenkin nimissä käytettävä mekaanista järjestelmää? Suomen olosuhteissa koneellinen ilmanvaihto on jo nykytilanteessa tavallisin ratkaisu, mutta Euroopan mittakaavassa ja välimerellisessä ilmastossa se ei ole lainkaan itsestään selvää. Työryhmä määrätietoisesti vältti periaatteellisten ratkaisujen vastakkainasetteluja ja pyrki kaikissa tilanteissa tarkastelemaan nimenomaan terveyden kannalta oleellisia parametrejä. Terveyden kannalta ei ole tärkeää onko ilma tuotu sisään koneellisesti – keskeistä on että tuloilma on korkealaatuista ja että ilmanvaihdon taso on oikeassa suhteessa sisätilan toimintoihin, käyttäjiin ja siellä syntyviin päästöihin.

Työn olisi voinut selkeästi toivoa ulottuvan pitemmälle teknisiin määrityksiin ja vaatimuksiin. Sisäilman laatuun vaikuttavien tekijöiden määrästä ja terveyden vaatimusten moninaisuudesta johtuen tähän ei vielä päästy. On kuitenkin tärkeää tunnistaa ensin oikeat periaatteet ennen kuin niitä lähdetään säännöksin ja määräyksin toteuttamaan. Tältä osin työtä voidaan pitää kohtuullisesti onnistuneena: sisäilma syntyy ulkoilmasta ja terveysvaikutukset määräytyvät altistusten kautta. Nämä tekijät terveysperiaatteissa nyt ensimmäistä kertaa selkeästi esitetään osana samaa kokonaisuutta.

Vaihtoehtoisten terveellisen ilmanvaihdon määrittelystrategioiden terveyshyötyjä arvioitiin osana hanketta kaikkiaan 26:lle EU-maalle ja näitä tuloksia esitellään yksityiskohtaisesti erillisessä raportissa/10/. Rinnakkaisessa esityksessä tarkastelemme erityisesti Suomeen soveltuvien sisäpäästörajoitusten vaikuttavuutta /11/.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

Sisäilma on keskeisessä roolissa kun tarkastellaan suomalaisten altistumista ympäristön kemiallisille ja biologisille riskitekijöille. Varsin huomattava tautitaakka, 13 tuhatta menetettyä tervettä elinvuotta, aiheutuu sisätiloissa tapahtuvan altistumisen seurauksena. Hiukan yli puolet näistä terveyshaitoista syntyy lähtötilanteessa ulkoilmasta peräisin olevista saasteista ja vastaavasti n. 42 % sisälähteistä. Tässä EU:n rahoittamassa työssä luotiin kokonaisvaltaiset periaatteet terveellisen sisäilman tuottamiseksi siten, että huomioidaan (i) ulkoilma, josta sisäilmaa valmistetaan; (ii) sisätiloissa mahdollisesti esiintyvät päästölähteet; ja (iii) sisätilojen käyttäjät.

Sisäilman terveellisyyden kriteerinä ovat kansainvälisiin systemaattisiin tieteellisiin katsauksiin perustuvat Maailman terveysjärjestön ilmanlaadun ohjearvot joihin ilmanvaihtojärjestelmän tulee nojautua. Ohjearvoissa on tarkasteltu yli 30 yhdistettä ja aineryhmää, eikä osalle ole voitu lainkaan asettaa turvallista raja-arvoa.

Terveyshyötylaskelmissa on huomioitu kourallinen viimeaikaisessa kansainvälisessä riskinarviointikirjallisuudessa tärkeimmiksi nousevia ilmansaasteita, joista erityisesti pienihiukkaset (PM<sub>2.5</sub>) nousevat kaikissa maissa hallitsevaan asemaan. Puuttuvien ilmansaasteiden takia ohjearvojen vaikutuspotentiaali on kuitenkin todennäköisesti aliarvioitu.

Ilmanvaihdon terveystieteiden toteutuessa Suomessa voitaisiin säästää vuosittain maksimissaan yli 5000 tervettä elinvuotta, joka rahallisesti arvioituna vastaa suuruusluokaltaan n. 250-750 MEUR vuodessa. Tiukasti tulkittuna uusi vaatimus ilmanvaihdon terveystieteisistä ohjeista johtuen on ulkoilman laadun tarkempi huomiointi rakennuspaikalla.

## LÄHDELUETTELO

1. Hänninen O, Sorjamaa R, Lipponen P, Cyrus J, Lanki T, Pekkanen J, 2013. Aerosol-based modelling of infiltration of ambient PM<sub>2.5</sub> and evaluation against population-based measurements in homes in Helsinki, Finland. *Journal of Aerosol Science* 66:111-122.
2. WHO, 2000a. The Right to Healthy Indoor Air. Report on a WHO meeting, Bilthoven, the Netherlands, 15-17. May, 2000. <http://www.euro.who.int/document/e69828.pdf>
3. ECA, 2015. Guidelines for health-based ventilation in Europe (HealthVent). Report nr 30 of European Collaborative Action (ECA), Urban Air, Indoor Environment and Human Exposure. Environment and Quality of Life, EC Joint Research Centre, Ispra, Italy. (in print)
4. WHO, 1987. Air quality guidelines for Europe, World Health Organization, Regional Office for Europe, European series, No 23, Copenhagen, Denmark.
5. EEA 2013. Air quality in Europe. European Environment Agency Report 9/2013, 112 pp. ISSN 1725-9177.
6. WHO, 2000. Air quality guidelines for Europe; Second edition. World Health Organization, Regional Office for Europe, European series No 91, Copenhagen, Denmark, <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf> (accessed 11 June 2009)
7. WHO, 2006. World Health Organisation Air Quality Guidelines, Global Update 2005. Copenhagen. 484 pp. <http://www.euro.who.int/Document/E90038.pdf> (accessed 14 June 2007)
8. WHO, 2009. Dampness and mould. WHO Guidelines for Indoor Air Quality. WHO Regional office for Europe, Copenhagen, xvi+228 pp. ISBN 978 92 890 4168 3. <http://www.euro.who.int/document/E92645.pdf> (accessed 2009-09-01).
9. WHO, 2010. Guidelines for Indoor Air Quality: Selected pollutants. xxv + 454 pages. ISBN 978 92 890 0213 4. World Health Organization, Regional Office for Europe, Copenhagen. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0009/128169/e94535.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/128169/e94535.pdf) (accessed 2011-01-18)
10. Hänninen O, Asikainen A (eds.), 2013. Efficient reduction of indoor exposures: Health benefits from optimizing ventilation, filtration and indoor source controls. National Institute for Health and Welfare (THL). Report 2/2013. 92 pages. Helsinki 2013. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-245-822-3> (Accessed 2015-01-15)
11. Asikainen A ja Hänninen O, 2015. Ilmanvaihdon terveystieteiset ohjeistot: Sisälähteiden rajoittamisen terveyshyödyt Suomessa. Sisäilmastoseminaari, Helsinki, 11.3.2015.