

## **ILMANVAIHDON TERVEYSPERUSTEISET OHJEARVOT: SISÄLÄHTEIDEN RAJOITTAMISEN TERVEYSHYÖDYT SUOMESSA**

Arja Asikainen, Otto Hänninen

Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

### **TIIVISTELMÄ**

Ilmanvaihdon terveysperusteisten ohjearvojen määrittelytyössä EU:n HEALTHVENT-hankeessa päästölähteiden rajoitusvaihtoehtojen vaikutusta päästöihin ja terveyteen tarkasteltiin karkealla tasolla. Sisälähteiden osalta altistuksen alentamistoimien osana oletettiin, että radonista, hiilimonoksidista (CO) ja sisätupakoinnista voitaisiin poistaa 90%, hiilivetyjen (VOC) sisälähteistä ja kosteusvaurioista puolet ja hiukkasten sisälähteistä 25%. Arvion perusteella sisälähteiden aiheuttama tautitaakka vuonna 2010 peruslähtötilanteessa oli 5 500 DALY, josta ohjearvoilla esitettiin olevan poistettavissa maksimissaan 54%. Tässä tarkennamme Suomen osalta kuvaa päästövähennystoimien kohdentamisesta ja merkityksestä altisteittain.

### **JOHDANTO**

Sisätiloissa altistutaan tekijöille, jotka ovat lähtöisin joko sisätilassa sijaitsevasta lähteestä tai ulkoilmasta, josta ne kulkeutuvat sisätiloihin. Suomessa ulkoilma täyttää pääosin WHO:n ohjearvot pienhiukkasille (vuosipitoisuus  $\leq 10 \mu\text{g m}^{-3}$ ), mutta sisälähteiden vaikutuksesta altistus sisällä voi silti nousta yli ohjearvon. Pienhiukkasten terveysvaikutuksille ei kuitenkaan ole havaittu turvallista alarajaa ja siten ohjearvon alapuolellakin olevat altistustasot aiheuttavat huomattavia kansanterveyshaittoja.

Sisälähteiden osalta radon ja formaldehydi ylittävät Suomessa eurooppalaiset keskimääräiset altistukset, mutta formaldehydin terveysvaikutukset jäävät kuitenkin valtitsevilla altistustasoilla lieviksi. Lisäksi merkittäviä terveyshaittoja aiheutuu erityisesti sisälähteistä peräisin olevista pienhiukkasista, passiivitupakoinnista ja hiilimonoksidista. Biologisten hiukkasten kuten siitepölyn ja kosteusvaurioihin liittyvien altisteiden (mikrobit, fragmentit, toksiinit) terveysvaikutukset tunnistetaan erityisen hyvin niihin liittyvien akuuttien oireiden vuoksi. Kansanterveyshyötyjen maksimoimiseksi näihin altisteisiin kohdistuvien korjaustoimien yhteydessä tulee huomioida myös muut altisteet.

EU:n toimesta vaatimukset terveysperusteisille ilmanvaihdon ohjearvoille tuotettiin HEALTHVENT-projektissa /1/ ja ohjearvojen perusteet esitellään rinnakkaisessa artikkelissa /2/. Ilmanvaihdon ohjearvojen kehitystyön aikana arvioitiin erilaisia skenaariovaihtoehtoja, joissa tarkasteltiin ilmavaihdon tason säätämisen, ulkoilmailman suodattamisen ja sisälähteiden rajoittamisen vaikutuksia suomalaisten ja 25 muun EU-maan tautitaakkaan /3/. Näitä tuloksia esiteltiin viime vuoden Sisäilmastoseminaarissa /4/.

Terveysperusteisten ilmanvaihdon ohjearvojen mukaan sisälähteiden hallinta on keskeinen keino terveysvaikutusten minimoimiseen. Ilmavaihdon alin hyväksytty taso on 4 l/s/henkilö, olettaen, että ihmisen lisäksi mitään muita merkittäviä sisälähteitä ei esiinny. Silloin kun sisä- ja ulkolähteitä käytännössä on, tulee ilmanvaihtojärjestelmä suodatuksineen ja ilmanvaihtotasoinen suunnitella siten, että WHO:n ilmanlaadun ohjearvot kaikissa tilanteissa saavutetaan.

Tässä työssä tarkastellaan, kuinka terveyshyödyt jakautuvat Suomessa eri sisälähteisiin kohdistuvien toimien kesken ja mihin sisälähteisiin ensisijaisesti kannattaisi puuttua. Lisäksi pohdimme alustavasti konkreettisia toimenpiteitä, joita kuhunkin sisälähteeseen voitaisiin kohdentaa.

## SISÄLÄHTEIDEN RAJOITTAMISEN TOIMENPITEET

Alkuperäisessä ilmanvaihdon ohjearvojen kehitystyössä määriteltiin karkeat arviot sisälähteiden rajoittamispotentiaaleiksi määriteltyjen toimenpiteiden avulla (taulukko 1). Tarkempi toimenpiteiden tarkastelu on kuitenkin osoittanut, että erityisesti radoniin liittyvä 90% alenema on käytännössä hyvin epärealistinen, ja tästä syystä tässä julkaisussa esitetään radonille vaihtoehtoisia toimenpiteitä realistisemmilla alentamispotentiaaleilla. Muiden altisteiden toimenpiteitä ja niiden alentamispotentiaaleja tarkastellaan lisää erillisessä kappaleessa.

*Taulukko 1. Ohjearvojen suunnittelussa arvioidut sisälähteiden rajoittamisosuudet ja joitakin mahdollisia toimenpiteitä joilla näihin voitaisiin pyrkiä.*

Altiste	Ohjearvojen arvioima alentamistavoite	Mahdollisia toimenpiteitä
PM <sub>2.5</sub> sisälähteistä	25%	liesituulettimet ja kohdepoistot (+) sisäilman suodatus (?) sisäilman puhdistimet (?)
Radon	90%	rakennusten mittausvaatimukset (++) radonkorjaukset (++) radonturvallinen rakentaminen (++)
VOC sisälähteistä	50%	vähäpäästöiset materiaalit ja päästöluokitukset (++)
Hiilimonoksidi	90%	hiilimonoksidivaroittimet (++) tekniset ratkaisut (+)
Kosteusvauriot	50%	vauriokorjaukset(+) rakentamisen valvonta (++) kosteusilmaisimet (+, ++) huolto ja seuranta (++)
Passiivitupakointi	90%	tupakoinnin vähentäminen (+) tupakointikiellot (++)

++ vaikuttavuus altistukseen hyvä ja + kohtuullinen; ? toteutettavuus tai merkitys epäselvä

Alkuperäinen oletus, että radonin keskimääräisestä väestöaltituksesta saataisiin vähennettyä 90% ei Suomessa ole käytännössä mahdollista, koska jo tällä hetkellä noin 70% suomalaisista asuu asunnoissa, joissa radonin taso on alle WHO:n referenssitason 100 Bq/m<sup>3</sup>, ja yli kolmasosa keuhkosityövistä kuitenkin syntyy tässä joukossa, pääosin tupakoitsijoille, joiden riskiä radon entisestään lisää /5/. Lienee siis epärealistista olettaa, että näiden asuntojen radonpitoisuuteen puututtaisiin, vaikka radonin terveysvaikutuksia päätettäisiinkin alentaa.

Radonille laskettiin vaihtoehtoisia toimenpideskenaarioita, joissa testattiin kolmea altistuksen raja-arvoa: 100 Bq/m<sup>3</sup> (WHO:n referenssitaso /2/), 200 Bq/m<sup>3</sup> (voimassa Suomessa uudisrakentamisessa) ja 400 Bq/m<sup>3</sup> (voimassa Suomessa olemassa olevissa rakennuksissa). Skenaarioissa oletettiin, että kaikkien tällä hetkellä raja-arvon ylittävien

asuntojen pitoisuus lasketaan valittuun raja-arvoon. Laskelmassa käytettiin radonin otantatutkimusaineistoa /6/.

## TERVEYSHYÖDYT ALTISTEITTAIN

Terveysvaikutuksia verrataan lähtötilanteeseen vuonna 2010. Vaikutukset laskettiin ottaen huomioon muutokset sisälähteissä ja ilmanvaihdossa, laskentamenetelmät on kuvattu aiemmin /3/. Terveysvaikutukset laskettiin tautitaakkana, jonka mittayksikkönä käytetään haittapainotettuja elinvuosia (DALY/vuosi). Ilmanvaihdon ohjearvojen terveyshyödyn laskemiseksi sisälähteitä rajoitettiin taulukon 1 mukaisesti ja määritettiin tarvittava ilmanvaihto ohjearvomääritysten perusteella.

Lähtötilanteessa vuonna 2010 sisälähteiden aiheuttama tautitaakka Suomessa oli 5 531 DALY (taulukko 2 ja kuva 1), joka on sisäaltistusten kokonaistautitaakasta n. 42%. Ohjearvon mukaisessa optimitilanteessa sisälähteiden osuudesta saataisiin vähennettyä yhteensä n. 2 500 DALY eli 54%.

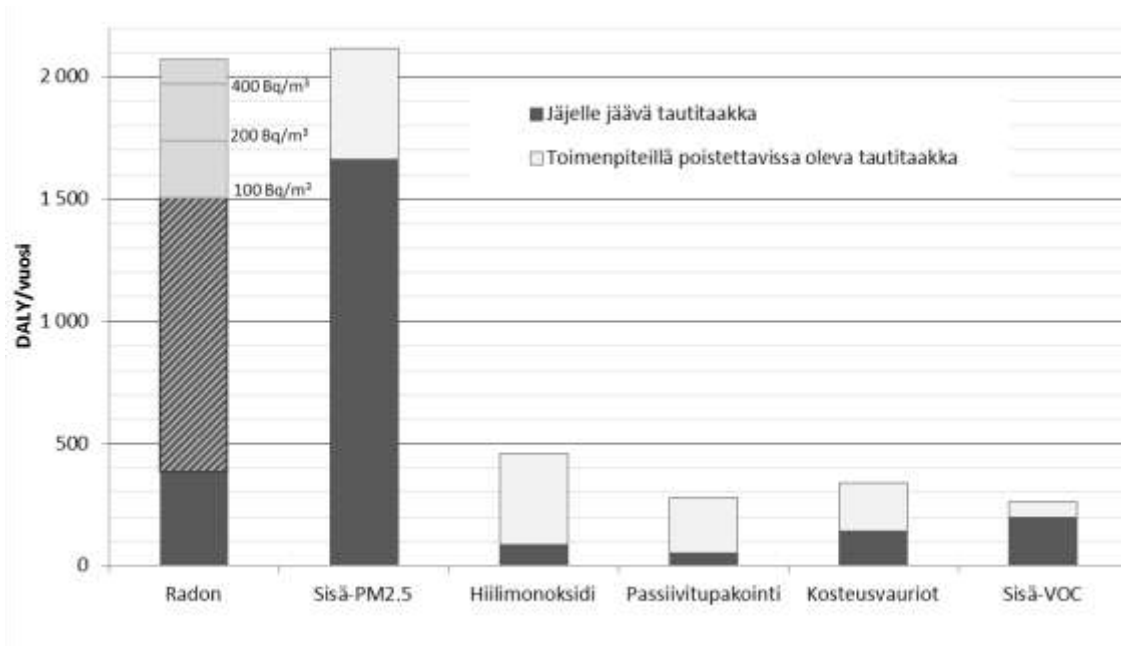
*Taulukko 2. Sisälähteiden aiheuttama vuotuinen tautitaakka lähtötilanteessa 2010 ja vastaava alentamispotentiaali.*

Altiste	Lähtötilanne 2010 (DALY)	Ohjearvotilanne (DALY)	Muutos (DALY)	Vähennys %
Sisä-PM <sub>2,5</sub>	2 116	1 662	-454	21
Radon	2 074			
400Bq/m <sup>3</sup>		1 971	-103	5
200 Bq/m <sup>3</sup>		1 742	-332	16
100 Bq/m <sup>3</sup>		1 504	-570	28
-90%		383	-1 691	82
Sisä-VOC	261	197	-65	25
Hiilimonoksidi	461	88	-373	81
Kosteusvauriot	340	144	-196	58
Passiivitupakointi	278	53	-225	81
<b>Yhteensä</b>	<b>5 531</b>			
<b>min</b>		<b>2 144</b>	<b>- 1 416</b>	<b>26</b>
<b>max</b>		<b>2 528</b>	<b>-3 004</b>	<b>54</b>

Pienhiukkaset ja radon dominoivat sisälähteiden tautitaakkaa lähtötilanteessa. Tarkastelun perusteella hiilimonoksidin ja passiivitupakoinnin tautitaakasta olisi poistettavissa huomattava osa, mutta niiden vaikutus koko sisälähteiden tautitaakkaan jää pieneksi.

Radonille muodostetut ohjearvoehdotusta realistisemmat ja olemassa oleviin kotimaisiin raja-arvoihin ja WHO:n referenssitason perustuvat skenaariot osoittavat, että radonin tautitaakan alentamispotentiaali oli huomattavasti yliarvioitu. Jos oletetaan, että kaikkien suomalaisten asuntojen radon-pitoisuus jäisi alle WHO:n referenssitason 100 Bq/m<sup>3</sup>, olisi radonin tautitaakka edelleen 1 504 DALY/vuosi ja lähtötilanteeseen verrattuna saavutettaisiin n. 570 DALY terveyshyöty (taulukko 2).

Jos radonin torjunta rajataan jo asetettuihin raja-arvotasoihin, saavutettavat terveyshyödyt jäävät huomattavasti vaatimattomammiksi kuin optimitilanteessa (kuva 1). Nämä realistisemmat raja-arvo tarkastelut osoittavat, että radon jäisi merkittäväksi tekijäksi sisälähteiden aiheuttaman tautitaakan osalta, ja sen osuus olisi edelleen samalla tasolla sisälähteistä peräisin olevien pienhiukkasten kanssa.



Kuva 1. Altisteiden aiheuttama tautitaakka lähtötilanteessa 2010, optimaalisessa tilanteessa ohjearvojen toteuttamisen jälkeen sekä vaihtuvilla radonin raja-arvoilla.

## TOIMENPITEIDEN TOTEUTETTAVUUS

Pienihiukkasten sisälähteitä Suomessa ovat mm. polttolaitteet, ruoanlaitto, pyykinpesuainejäämät tekstiileissä, kynttilät ja maaperäiset hiukkaset jalkineista. Puun polton päästöihin voidaan vaikuttaa paremmilla polttolaitteilla ja vastaavasti kynttilöiden päästöihin vähentämällä niiden käyttöä. Mahdollisten toimenpiteiden todellista alentamispotentiaalia on vaikea arvioida.

Jos radon voitaisiin laskea WHO:n suosittelemalle referenssitasolle  $100 \text{ Bq/m}^3$ , olisi se toimenpiteistä tehokkain vähentäen kokonaistautitaakkaa hieman enemmän kuin sisälähteiden pienihiukkasten oletettu 25%:n altistuksen alentaminen. Radonin  $400 \text{ Bq/m}^3$  raja-arvolla toimenpiteen tehokkuus laskisi siten, että ainoastaan sisä-VOC-altistusten vähentäminen jäisi tehottomammaksi tautitaakan näkökulmasta. Alkuperäisessä tarkastelussa käytettyä 90%:n radon-altistuksen alenemaa vastaava tautitaakan vähenemä olisi käytännössä mahdollista saavuttaa ainoastaan alentamalla lisäksi tupakointia, jolla on radonin kanssa yhteisvaikutus keuhkosityövän kehittymisessä. Toisaalta siis nykyiset tupakoinnin vähentämiseen tähtäävät tavoitteet vähentäisivät osaltaan myös radonille altistuvien tupakoitsijoiden syöpäriskiä.

Hiilimonoksidivaroittimen vaatiminen palovaroittimen ohella olisi yksinkertainen ja toimiva ratkaisu hiilimonoksiditapaturmien ja -kuolintapausten estämiseksi. Hiilimonoksidivaroittimet kaikkiin asuntoihin ja vapaa-ajanrakennuksiin maksaisivat n. 80 M€. Vaatimalla varoittin vain asuntoihin, joissa on tulisija tai kaasukäyttöinen laite sekä kaikkiin vapaa-ajankiinteistöihin, olisivat kustannukset n. 40 M€. Varoittimen vähittäishinnat alkavat tällä hetkellä noin 25 eurosta ja kysynnän laajentuessa hinnan aleneminen olisi todennäköistä.

Kosteusvaurioihin liittyvien terveyshaittojen poistamisen kannalta ratkaisevaa on korjauksin ja uudisrakentamisella saatujen parannusten pysyvyys. Osana kansallisia hometalkoita on arvioitu, että käytössä olevien kosteusvaurioituneiden rakennusten korjaus

maksaisi 10-50 Mrd€ /7/. Kosteusvauroiden kestävä torjunta edellyttää parempaa rakentamisen laatua, huolto- ja valvontajärjestelmiä sekä kosteusvaurioiden estämiseen kehitettyä tekniikkaa. Viimeaikainen kehitys viittaa siihen, että tietoisuus kosteusvaurioiden tiimoilta on lisääntynyt kansallisten työryhmien selvitysten myötä ja valtiollinen panostus tulisi tulevina vuosina lisääntymään korjausrakentamisessa.

Passiivitupakoinnin vähentäminen on Suomessa ollut aktiivista jo vuosikymmeniä. Altistuksen alentaminen edelleen vaatii kohdennettuja ponnistuksia valistuksen lisäksi. Tällaisia voisivat olla esimerkiksi parveketupakoinnin kieltäminen, sisätupakointikielto tiloissa joissa on sivullisia sekä tupakointikielto yksityisajoneuvoissa, joissa on sivullisia. Tupakkalain Savuton Suomi 2040 tähtäävät tupakoinnin vähentämistoimet todennäköisesti myös vähentävät samalla sivullisten altistumista. Nykyisellään Suomessa vain n. 2% tupakoimattomasta väestöstä altistuu merkittävästi tupakansavulle /8/. Sisätupakoinnista aiheutuvan passiivitupakoinnin vaikutus sisälähteiden kokonaistautitaakkaan on kuitenkin kaiken kaikkiaan sen verran matala, että tämän arvion vähentämispotentialin taso ei suuresti vaikuta sisälähteiden kokonaistautitaakka koskeviin johtopäätöksiin.

Arviossa käytetty sisä-VOC-altistustaso on Suomen osalta peräisin vuosien 1996-97 EXPOLIS-mittauksista /9/ eli vuoden 2010 lähtötilanteessa esitetty tautitaakka kuvaa oikeastaan huomattavasti vanhempaa tilannetta. Arviossa käytettiin sisälähteiden keskimääräisenä TVOC-pitoisuutena  $226 \mu\text{g m}^{-3}$ . Viime vuosikymmenen aikana on tullut käyttöön sisätiloissa käytettävien materiaalien päästöluokitukset sekä rakentamiseen liittyviä ohjeistuksia, joilla pyritään rajoittamaan sisälähteiden VOC-päästöjä /10/. Sisä-VOC-yhdisteiden aiheuttama osuus sisälähteiden tautitaakasta on kuitenkin pieni, vain 5%.

## JOHTOPÄÄTÖKSET

EU:n terveysperusteisten ilmanvaihdon ohjearvojen käyttöönotto voisi Suomessakin alentaa ilmansaastealtistuksia ja parantaa huomattavasti ympäristöterveyttä. Tässä esitetyt sisälähteisiin kohdistuvat toimenpiteet alentaisivat vuotuista tautitaakkaa n. 2 000 - 3 000 tervettä elinvuotta (DALY). Edellä esitetyt lyhyet johdantoluonteiset pohdinnat osoittavat, että merkittäviin altistuksen alennuksiin pääseminen edellyttää kuitenkin kohdennettuja ponnistuksia ja laaja-alaista sisäilmaosaamista.

Tarkastelun perusteella sisälähteiden kokonaistautitaakkaa dominoivat pienhiukkaset ja radon, jotka aiheuttavat lähtötilanteessa 76 % tautitaakasta. Näiden kahden tekijän hallintaan on olemassa keinoja, joilla niiden aiheuttamasta tautitaakasta voitaisiin poistaa luontevasti neljännes ja maksimissaan noin puolet.

Tarkastelussa mukana olleet muut neljä sisälähteistä peräisin olevaa altistetta aiheuttavat n. 25% lähtötilanteen sisäilmaaltistuksen tautitaakasta, joten niiden torjunnan vaikutukset jäävät kokonaisuuden kannalta pienehköksi vaikka niiden hallintaan vaikuttaisi olevan suhteellisesti tehokkaampia keinoja.

Eriyisesti hiilimonoksidi-altistuksen aiheuttama tautitaakka olisi torjuttavissa tehokkaasti ja torjuttavan tautitaakan taso nousee lähes yhtä suureksi kuin radonin  $100 \text{ Bq/m}^3$  raja-arvolla torjuttava tautitaakka. Hiilimonoksidimyrkytysten vaikutukset kohdistuvat osittain myös lapsiin ja työikäiseen väestöön, jolloin kuolemaan johtavien myrkytysten aiheuttama elinvuosien menetys on huomattava.

**LÄHDELUETTELO**

1. 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)
2. Hänninen, O., Asikainen, A., Carrer, P., Kephelopoulos, S., de Oliveira Fernandes, E., Wargocki, P. (2015). Ilmanvaihdon terveysterveystieteiset EU-ohjeet. Sisäilmastoseminaari, 2015-03-11, Helsinki.
3. 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>
4. Hänninen, O. ja Asikainen, A. (2014). Terveysterveystieteiset ilmanvaihdon ohjeet Euroopalle ja vaikutukset sisäilman terveysterveystieteisiin Suomessa. Sisäilmastoseminaari 2014. SIY Raportti 32: 19-24.
5. Mäkeläinen, I. (2010). Kuka saa syövän radonista? Ympäristö ja Terveys 41(3): 60–63.
6. Mäkeläinen, I., Kinnunen, T., Reisbacka, H., Valmari, T., Arvela, H. (2009). Radon suomalaisissa asunnoissa: Otantatutkimus 2006. STUK-A242. [http://www.stuk.fi/julkaisut\\_maaraykset/tiivistelmat/a\\_sarja/fi\\_FI/stuk-a242/\\_files/82960641985937432/default/stuk-a242.pdf](http://www.stuk.fi/julkaisut_maaraykset/tiivistelmat/a_sarja/fi_FI/stuk-a242/_files/82960641985937432/default/stuk-a242.pdf)
7. Reijula, K., Ahonen, G., Alenius, H., Holopainen, R., Lappalainen, S., Palomäki, E., Reiman, M. (2012). Rakennusten kosteus- ja homeongelmat. Eduskunnan tarkastusvaliokunnan julkaisu 1/2012. <http://web.eduskunta.fi/dman/Document.php?documentId=er28612160849612&cmd=download>
8. Flash Eurobarometer. Survey on tobacco: Analytical report. (2009). Flash EB Series #253. [http://ec.europa.eu/public\\_opinion/flash/fl\\_253\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/public_opinion/flash/fl_253_en.pdf)
9. Hänninen, O.O., Alm, S., Katsouyanni, K., Künzli, N., Maroni, M., Nieuwenhuijsen, M.J., Saarela, K., Srám, R.J., Zmirou, D., Jantunen, M.J. (2004). The EXPOLIS Study: Implications for exposure research and environmental policy in Europe. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 14: 440-456.
10. Asumisterveysopas (2009). Sosiaali- ja terveysterveystieteiden Asumisterveysohjeen soveltamisopas. Ympäristö ja terveys lehti. Pori 2009.