

Juha Pekkanen<sup>1</sup>, Otto Hänninen<sup>1</sup>, Antti Karjalainen<sup>3</sup>, Timo Kauppinen<sup>3</sup>,  
Hannu Komulainen<sup>1</sup>, Päivi Kurttio<sup>2</sup>, Erkki Kuusisto<sup>1</sup>, Olli Leino<sup>1</sup>, Eero Priha<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ympäristöterveyden osasto, Terveyden ja Hyvinvoinnin laitos,  
<sup>2</sup>Säteilyturvakeskus, <sup>3</sup>Työterveyslaitos

# Elin- ja työympäristön altisteet ja terveys Suomessa

## *Käytetyt menetelmät*

STM:n alaisten tutkimuslaitosten selvityksessä arvioitiin elin- ja työympäristön kemiallisten ja fysikaalisten altisteiden aiheuttamia kansanterveyshaittoja ja yksilöriskejä. Tässä esitellään selvityksessä käytetyt rajaukset ja menetelmät ja pohdintaa niiden aiheuttamia monia epävarmuuksia. Selvityksessä annettuihin tarkkoihin lukuarvoihin pitää suhtautua varovasti. Monet epävarmuudet ovat kuitenkin pienempiä kuin valtavat erot eri altisteiden aiheuttamissa terveyshaitoissa. Selvityksessä puuttuu tuhansia altisteita, mutta mukana on keskeiset altisteet. Selvitys antaa hyvän käsityksen elin- ja työympäristön altisteiden aiheuttamista terveyshaitoista Suomessa.

## Johdanto ja tavoitteet

STM:n alaisten tutkimuslaitosten (THL, TTL, STUK) pääjohtajien aloitteesta muodostettiin vuonna 2006 yhteistyöryhmä, joka tuotti kokonaisarvion altistumisesta elin- ja työympäristön kemikaaleille ja säteilylle. Arviot julkaistiin Ympäristö ja Terveys -lehden numerossa 10/2006. Sen jälkeen muodostettiin työryhmä (ns. SETURITYÖRYHMÄ) arvioimaan altisteiden aiheuttamia terveyshaittoja määrällisesti. Keskeiset tulokset tästä arvioinnista julkaistaan esilläolevassa teemanumerossa. Hankkeen tavoitteena on auttaa terveyden edistämiseen tähtäävän ongelmanratkaisun priorisoinnissa, poliittisessa päätöksenteossa ja terveysriskeistä tiedottamisessa. Samalla testattiin ja vertailtiin erilaisia tapoja laskea ja verrata riskejä.

Riskivertailujen takia on välttämätöntä, että kullekin valituista altisteista saadaan laskettua parhaat arviot terveyshaittojen määrästä edes karkeina lukuarvoina. Vaikka lähtötiedoissa voitiin pääosin nojautua julkaistuihin kansainvälisiin ja kansallisiin arvioihin ja lähteisiin, tietoaukkojen vuoksi on paikoin jouduttu käyttämään rohkeatakin asiantuntija-arviointia, jotta laskelmat on saatu toteutettua kaikille altisteille. Yksittäisiä arvioita tärkeämpänä pidettiinkin suuruusluokkavertailua eri altisteiden aiheuttamien terveyshaittojen välillä. On huomattava, että valittu lähestymistapa eroaa suuresti raja-arvotarkasteluista, jotka muodostavat keskeisen osan nykyistä elin- ja työympäristön riskienhallintaa.

## Altisteiden valinta

Tärkein valintaperuste altisteiden valitsemiseksi arvoitiin on työryhmän ennakkonäkemyksistä kansanterveydellisestä merkityksestä. Mukaan haluttiin kuitenkin valita myös altisteita, joiden kansanterveydellinen merkitys ei altistuk-

sen harvinaisuuden takia nouse suureksi, mutta joiden aiheuttama riski on altistuvan yksilön kannalta huomattava. Kolmantena valintaperusteena hyväksyttiin altisteeseen kohdistuva laaja mielenkiinto ja/tai aktiivinen tutkimus.

Selvityksessä päätettiin lähteä yksittäisistä fysikaalisista ja kemiallisista altisteista, sen sijaan että olisi tarkasteltu varsinaisia altistumisen määreitä, kuten esimerkiksi liikennettä tai kaupunkirakennetta. Lähtökohtaisena tavoitteena oli rajoittua kemikaaleihin ja säteilyyn, mutta selvityksen kuluessa mukaan liitettiin ympäristö- ja työpaikkamelu sekä muutamia mikrobiologisia tekijöitä (kosteusvauriot, vesi- ja ruokavälitteiset epidemiat) niiden kansanterveydellisen merkityksen vuoksi. Mukaan otettiin myös muutamia monimutkaisia seoksia, kuten työperäiset pölyt, kaasut ja huurut sekä ulkoilman pienhiukkaset. Selvityksen ulkopuolelle jätettiin siis elintapojen vaikutukset terveyteen, ergonomia sekä psykososiaaliset tekijät.

Koska tavoitteena oli laskea terveyshaittoja, mukaan voitiin ottaa vain niitä altisteita ja niitä altisteiden aiheuttamia terveyshaittoja, joiden syy-seuraussuhteesta ja annosvasteesta on olemassa varsin hyvät tiedot. Mm. syöpää aiheuttavista työperäisistä kemikaaleista otettiin mukaan vain IARC luokkien 1 ja 2A aineet (varma ja todennäköinen karsinogeeni). Mukaan otettiin kuitenkin joitain altiste-vaikutuspareja, joissa kausaalisuus oli epävarmempi ja jotka on merkitty erikseen alaviitteellä. Moniin valituista altisteista on tutkimuksissa liitetty useita erilaisia terveysvaikutuksia. Kullekin valituista altisteista keskityttiin keskeisimpiin ja parhaiten tunnettuihin terveyshaittoihin.

## Laskenta

Altistus arvioitiin vastaamaan mahdollisuuksien mukaan vuoden 2006 (tai myöhempää) tilannetta.



Vastaavasti käytettiin vuoden 2006 sairaustilastoja. Laskelmissa ei huomioitu muutoksia altistumisessa, väestössä tai sairastuvuudessa tulevaisuudessa.

Kullekin altisteelle laskettiin sen aiheuttamiksi katsottavat, ts. periaatteessa ehkäistävässä olevat vuosittaiset terveyshaitat Suomessa, jos altistuminen laskisi ns. vertailu-altistuksen tasolle. Työaltisteista voitaisiin useimmat teoriassa poistaa täysin, joten niille vertailu-altistus on nolla. Osalle ympäristöaltisteista luonnollinen tausta-altistus muodostaa vähimmäistason, joka säilyisi myös vertailu-altistustilanteessa (esim. radonin taustapitoisuus ulkoilmassa n. 5 Bq/m<sup>3</sup>). Matemaattisesti samaan tapaan kuin tausta-altistustaso voidaan käsitellä vaikutuksen mahdollinen kynnsarvo, ts. se altistumistaso, jonka alapuolella altistuksen madaltaminen ei enää vähennä terveyshaittoja. Perustuen joko tausta-altistumiseen tai kynnsarvoon, kullekin altisteelle on siis määriteltävä tietty vertailu-altistus, johon nykyaltistumista verrataan.

Vaikka terveyshaitat arvioitiin koko Suomelle, käytännössä haittoja laskettaessa rajauduttiin vain tiettyihin esim. työntekijäryhmiin tai asuntoihin, joissa altistus on riittävän suurta aiheuttamaan kyseistä terveyshaittaa ("altistuneet"). Terveyshaitta laskettiin joko luokitellulle altistumisella tai käyttämällä altistumisen keskiarvoa, joka suoraviivaisen annosvastefunktion tapauksessa antaa arvion koko altistumisjakauksen aiheuttamasta terveyshaitasta (Armstrong ja Darnton 2008). Altistusvastefunktioiden valinnassa tukeuduttiin kansainvälisiin järjestelmällisiin katsauksiin ja muuhun tieteelliseen kirjallisuuteen. Arvioidulle terveyshaitalle laskettiin myös karkeat alarajat ja ylärajat.

Yksilöön kohdistuvan, altisteesta aiheutuvan riskin luonnehtimiseksi laskettiin keskimääräisesti altistuvan elinaikainen lisäriski, joka kuvaa altisteesta johtuvaa (ylimääräistä) riskiä saada kyseinen sairaus elinaikana. Esimerkiksi "1 %:n elinaikainen lisäriski" tarkoittaa, että altistuttaessa koko elämänsä tietylle pitoisuudelle keskimäärin yksi henkilö sadasta sairastuu elinaikanaan

altistumisesta johtuen. Laskentatapaa on käytetty erityisesti kemikaalien aiheuttaman elinaikaisen syöpäriskin arvioinnissa. Toisaalta tietyt terveyshaitat ilmenevät vain tarkemmissä ikäryhmissä, kuten vaikka lasten astma alle 15-vuotiailla. Näissäkin tapauksissa käytettiin yhtenäisyyden vuoksi termiä "elinaikainen lisäriski". Tällöin elinaikainen lisäriski saada lapsuusiän astma on täsmälleen yhtä suuri kuin riski 0–14 vuoden iässä. Nämä rajaukset on pyritty taulukoissa ilmoittamaan.

Lopullisessa laskennassa käytettiin pääosin muutamaa, alla kuvattavaa menetelmää. Väestösyysuus on yleinen, epidemiologisiin tutkimuksiin perustuva laskentamenetelmä (Levin 1953, Nurminen ja Karjalainen, 2001; Steenland ja Armstrong, 2006). Laskennassa käytetään tietoa altistuksen yleisyydestä ja sen riskisuhteesta eli kuinka monikertaiseksi altiste nostaa tautiriskin. Tällä perusteella arvioidaan väestösyysuus (PAF) eli kuinka suuri osuus (prosenttia) väestön sairastuvuudesta liittyy ao. altistumiseen. Väestösyysuuden yhtälö on:

$$PAF = p \times (RR-1) / [p \times (RR-1) + 1],$$

jossa  $p$  on altistuvien osuus lähdeväestössä ja  $RR$  on vakioitu suhteellinen riski. Kertomalla esim. rekistereistä otettu sairastapausten määrä väestösyysuudella antaa tulokseksi arvion altistumisen aiheuttamasta sairastuvuudesta. Näin voidaan laskea sekä uusia tautitapauksia että esim. oireiden vallitsevuutta.

"Unit risk" on yleinen, pääosin koe-eläintutkimuksiin perustuva laskentamenetelmä. Laskenta perustuu erityisesti U.S.EPA:n IRIS-tietokannassa arvioituihin yksikköriskikertoimiin (US EPA 2010). Myös WHO on määritellyt yksikköriskikertoimia joillekin yhdyskuntailman altisteille (WHO 2000). Yksikköriskilaskennassa keskimääräinen altistuminen kerrotaan unit risk-kertoimella (esim. elinaikainen lisäriski per 1 ug/m<sup>3</sup>) ja altistuneiden määrällä, joka antaa suoraan altistumisen aiheuttaman ylimääräisten tautitapausten määrän altistuneille ja siten

koko Suomelle. Vuosittainen tapausmäärä saadaan jakamalla tämä luku eliniän (70v) tai työuran (50v) pituudella.

Myös muita laskentatapoja käytettiin, jotka pohjimmiltaan perustuvat yo. periaatteisiin. Esim. UV-säteilylle käytettiin aiemmin julkaistuja väestösyösuuksia. Ympäristömelun häiritsevyysoikutuksille sovellettiin kyselytutkimuspohjaisia altistusvastefunktioita, jotka ilmaisevat altistumiseen liittyvän koetun terveyshaitan vallitsevuuden kullekin melutasolle melulajeittain (Berry and Flindell 2009). Metyylielohopealle käytettiin WHO:n julkaisemaa uusinta laskentamenetelmää (Poulin ja Gibb 2008). Meluvamman osalta käytettiin hyväksi ISO 1999 standardissa määritettyä kuulovaurion riskiä. Menetelmä on periaatteessa yksikköriskin perustuva menetelmä kuten ionisoivan säteilyn kohdalla, jossa riski on määritelty ICRP:n toimesta (1 Sv kumulatiivinen annos aiheuttaa noin 5 % syöpäkuoleman riskin).

Joissain tapauksissa käytettiin hyväksi suoraan rekisteritietoa mm. kotien häikämyrkytykset, sekä ruoka- ja vesivälitteisissä epidemioissa sairastuneiden määrä. Työterveyslaitoksen Työperäisten sairauksien rekisteristä oli myös saatavissa suoraan tietoja esimerkiksi ammatti-ihotautien lukumääristä (Karjalainen ym. 2008). Itse raportoitua haittaa työssä mm. liuotainaineissa arvioitiin suoraan survey datan perusteella (Perkiö-Mäkelä ym. 2006).

## Pohdinta

Selvityksessä pyrittiin laskemaan parhaat arviot altisteiden aiheuttamista terveyshaitoista ja riskeistä Suomessa. Tämä lähestymistapa on hyvin erilainen kuin erilaiset raja-arvotarkastelut, joihin elin- ja työympäristön riskien hallinta pääosin perustuu. Yleinen tulkinta, että raja-arvon ylittäminen merkitsee terveyshaittaa tai sen alittaminen suojaa terveyshaitalta ei ole totta. Raja-arvoksi voi valikoitua hyvinkin erilainen taso riippuen siitä, miten suuria turvamarginaaleja on käytetty, miten luotettavan tiedon perusteella raja-arvo on asetettu (pelkkä koe-eläintutkimus, epidemiologinen tutki-

mus) ja millä politiikka-alueella toimitaan (elinympäristö, työympäristö ja kansanterveysyö). Raja-arvon valintaan vaikuttavat terveyshaittojen lisäksi monet poliittiset kysymykset, kuten altistumisen vapaaehtoisuus, altisteen koettu vaarallisuus sekä onko raja-arvojen saavuttaminen mahdollista ja millä kustannuksella. Siksi raja-arvoihin perustuva terveysvaaran arviointi voi olla erittäin harhaanjohtavaa.

Elin- ja työympäristössä on kymmeniä tuhansia kemiallisia ja fysikaalisia altisteita, joista tässä selvityksessä on vain osa. Selvityksessä on myös rajoitettu vain tunnetuihin ja kohtuullisen varmoinhin terveyshaittoihin, joita valitut yksittäiset altisteet aiheuttavat. Mahdollisia yhteisvaikutuksia ei ole huomioitu. Sen takia selvitys ei anna täyttä kuvaa elin- ja työympäristön aiheuttamista terveyshaitoista Suomessa.

Tulosten tulkitsemisen kannalta merkittävä raja on, että selvityksessä ei ole arvioitu ehkäistävyden toteutettavuutta. Tämä koskee erityisesti kaikkein suurimpia terveyshaittoja aiheuttavia altisteita.

Selvitykseen voitiin ottaa vain altisteita, joiden terveyshaitat tunnetaan hyvin. Tällainen lähtökohta johtaa välttämättä aliarvion siinä, mikä on elin- ja työympäristön kaikkien altisteiden kansanterveydellinen kokonaismerkitys. Käytetyt altistuneiden määrät, altistetaset ja altiste-vastefunktiot otettiin kansallisista ja kansainvälisistä lähteistä ja sovellettiin kirjoittajien parhaan taidon mukaan vastaamaan v. 2006 olosuhteita. Käytetyt laskentamenetelmät ovat yleisesti käytössä olevia ja joissakin tapauksissa voitiin verrata rinnakkaisia laskentatapoja. Laskelmat tehtiin varsin karkealla tavalla, mm. ilman probabilistista mallitusta, mutta laskelmien karkeudesta johtuva virhe on todennäköisesti pienempi kuin altistuksen ja altistevastefunktion arvioinnin epävarmuuksien vaikutus tulokseen.

Tässä selvityksessä ei päästy laskemaan eri altisteiden aiheuttamaa tautitaakkaa yhteismitallisella indikaattorilla, esimerkiksi DALY (disability adjusted life years), jolloin eri sairauksia (esim. syöpä, astma, kuulovaurio) ja kuolleisuutta olisi päästy

vielä paremmin vertailemaan. Suurimpana esteenä oli, että Suomessa ei ole laskettu kaikille selvityksen sairausmuuttujille tautitaakka-arvioita. Tämä jää jatkotyöstettäväksi. Elinympäristöpuolella tämä työ on jo alkanut eurooppalaisessa mittakaavassa (Ebode 2010).

On huomattava, että tulokset käsittelevät nykyhetken (v. 2006) altistumisesta aiheutuvaa sairastuvuutta. Esimerkiksi nykyisin ilmaantuvista keuhkosityövistä noin 100 ja mesoteliomasta noin 50 johtuu vanhasta asbestialtistumisesta, kun taas tämän hetken asbestialtistuminen on huomattavasti matalampaa ja sen vaikutukseksi arvioitiin noin 1 syöpä vuodessa. Selvityksessä ei myöskään ole huomioitu tulevaisuuden muutoksia väestörakenteessa ja sairastuvuudessa.

Yksilökohtaiset elinaikaiset riskit on laskettu altistuneiden keskimääräiselle altistumistasolle. Erityisesti työympäristöissä, mutta joskus myös elinympäristössä, jotkut henkilöt altistuvat huomattavasti enemmän, jolloin heidän elinaikainen riskinsä voi olla keskimääräiseen verrattuna moninkertainen. Astmaan ja ihotauteihin liittyy satoja työaltisteita, joita ei voida arvioida erikseen, niinpä ne on käsitelty ammatitautien yhdessä. Arvioitu kansanterveysvaikutus on oikeaa suurusluokkaa, mutta yksittäisissä altistustilanteissa (esimerkiksi isosyanaatti, jauhopöly, eläinpeiteeli, epoksihartsit) yksilöriski voi olla huomattavasti suurempi.

Suhteellisen riskin estimaatit varsinkin pitkän viiveajan altisteissa perustuvat vanhoihin aineistoihin. Näissä aineistoissa käytettyjen altistustilanteiden soveltaminen nykyolosuhteisiin luo virhettä. Laskelmissa esimerkiksi kaikkia nikkelille altistuvia ei ole luokiteltu altistuneiksi, vaan ainoastaan henkilöt, jotka altistuvat niin voimakkaasti kuin näissä vanhoissa aineistossa käytetyt altistumistasot. Altistumistasojen pitkän ajan trendit vaikuttavat myös esimerkiksi passiivisen tupakoinnin vaikutuksen arviointiin. Annosvasteet perustuvat aiempina vuosikymmeninä havaittuihin yhteyksiin raportoidun altistuksen (kyllä/ei) ja havaitun terveysvaikutuksen suhteesta. Kun terveyskasvatus ja lainsäädännön kehittäminen on johtanut sisätupakoinnin vähentämiseen monissa ympäristöissä, on mahdollista, että nykyisin raportoitu altistus (kyllä-vastaus) liittyy alhaisempiin haitta-ainepitoisuuksiin kuin 1980-luvulla.

Kynnysarvon valinta on myös ongelmallinen monissa altisteissa, mm. formaldehydi ja lyijy. Formaldehydin aiheuttamaa syöpäriskiä on perinteisesti arvioitu lineaarisesti ekstrapoloimalla noltaan korkeista työperäisistä altistuksista ja korkeista annoksista eläinkokeissa. Lineaarinen ekstrapolaatio on tavallista genotoksisille karsinogeenille, koska mahdollista kynnysarvoa ei useimmiten tiedetä. Nykytiedon mukaan formaldehydi on ensi sijassa sytotoksinen karsinogeeni vaikka sillä onkin myös



genotoksisen karsinogeenin piirteitä. Useat asiantuntijaelimet ovat esittäneet, että syöpävaikutukselle voidaan käyttää kynnysarvoa (WHO, 2000; SCOEL, 2008). Tässä hankkeessa ympäristöperäisessä riskinarviossa käytettiin formaldehydille kynnysarvoa, jolloin arvioitu syöpätapausten määrä laskee useista kymmenistä nolnaan. Työperäiselle altistumiselle kummatkin laskutavat tuottavat pienen tapausmäärän (alle 0,5 syöpätapausta/vuosi).

Metyylielohopea- ja lyijyaltistuminen vaikuttavat lasten neurologiseen kehitykseen ja aiheuttavat pientä älykkyydosamäärän (ÄÖ) laskua kaikille altistuneille. Tätä on vaikea ottaa huomioon nykyisentyypisessä selvityksessä, joka keskittyy sairastuvuuteen. Vaikutus laskettiin arvioimalla kuinka moni lapsi putoaa tämän älykkyydosamäärän laskun takia alle 70 ÄÖ pisteen, joka on määritetty lievän kehityshäiriön rajaksi. Laskenta aliarvioi metyylielohopea- ja lyijyaltistumisen kokonaisvaikutusta väestössä.

Selvityksessä annettuihin tarkkoihin lukuarvoihin pitää suhtautua varovasti, koska kaikkiin laskelmiin sisältyy epävarmuuksia. Esimerkiksi altistuvien lukumäärä on jouduttu useille altisteille karkeasti arvioimaan. Epävarmuudet laskelmissa ovat kuitenkin todennäköisesti pienempiä kuin valtavat erot eri altisteiden aiheuttamissa terveyshaitoissa ja yksilöriskeissä, jotka vaihtelivat yli kymmentuhattkertaisesti. Tulokset antavatkin hyvän käsityksen keskeisten elin- ja työympäristön altisteiden aiheuttamien terveyshaittojen suuruusluokasta Suomessa.

## Viitteet

Armstrong BG, Darnton A. Estimating reduction in occupational disease burden following reduction in exposure *Occup Environ Med* 2008;65:592–596

Berry BF, Flindell IH, 2009. Estimating Dose-Response Relationships between Noise Exposure and Human Health Impacts in the UK. Berry Environmental Ltd, Technical report 2009–02.

EBoDE, 2010. Julkinen verkkosivu kehitteillä osoitteeseen <http://en.opasnet.org/w/Ebode>

ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the

International Commission on Radiological Protection. International Commission on Radiological Protection, *Annals of the ICRP* 2007; 36 (2–4).

ISO 1999:1990 Acoustics -- Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. Standardi.

Karjalainen A, Palo L, Saalo A, Jolanki R, Mäkinen I, Kauppinen T, 2008. Ammattitaudit ja ammattitautiepäilyt 2006. Työterveyslaitos, Helsinki.

Levin ML, 1953. Tehe occurrence of lung cancer in man. *Acta Unio Internationalis Contra Cancrum* 9:531–541.

Nurminen M, Karjalainen A, 2001. Epidemiologic estimate of the proportion of fatalities related to occupational factors in Finland. *Scand J Work Environ Health* 27(3):161–213.

Perkiö-Mäkelä M, Hirvonen M, Elo A-L, ym, 2006. Työ ja terveysterveys haastattelututkimus 2006. Taulukkoraportti. Työterveyslaitos, Helsinki.

Poulin J ja Gibb H. 2008. Mercury: Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Editor, Prüss-Üstün A. World Health Organization, Geneva, 2008. (WHO Environmental Burden of Disease Series No. 16).

SCOEL (Scientific committee on occupational exposure limits), 2008. Recommendation from the Scientific Committee on Occupational Exposure Limits for Formaldehyde. Luettavissa: [ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=3863&langId=en](http://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=3863&langId=en)

Steenland K, Armsrong B, 2006. An Overview of Methods for Calculating the Burden of Disease Due to Specific Risk Factors. *Epidemiology* 17:512–519.

Schutz H, Wiedeman PM, Hennings W, Mertens J, Clauberg, 2006. Comparative risk assessment - concepts, Problems and Applications. Wiley - VCH, Weinheim. 194 p.

U.S. EPA, 2010. IRIS (Integrated Risk Information System). Luettavissa: <http://www.epa.gov/iris/>

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)

Ympäristö ja Terveysterveys 10:2006, 37 vsk. Suomalaisen altistuminen kemiallisille aineille ja säteilylle (teemanumero). ■