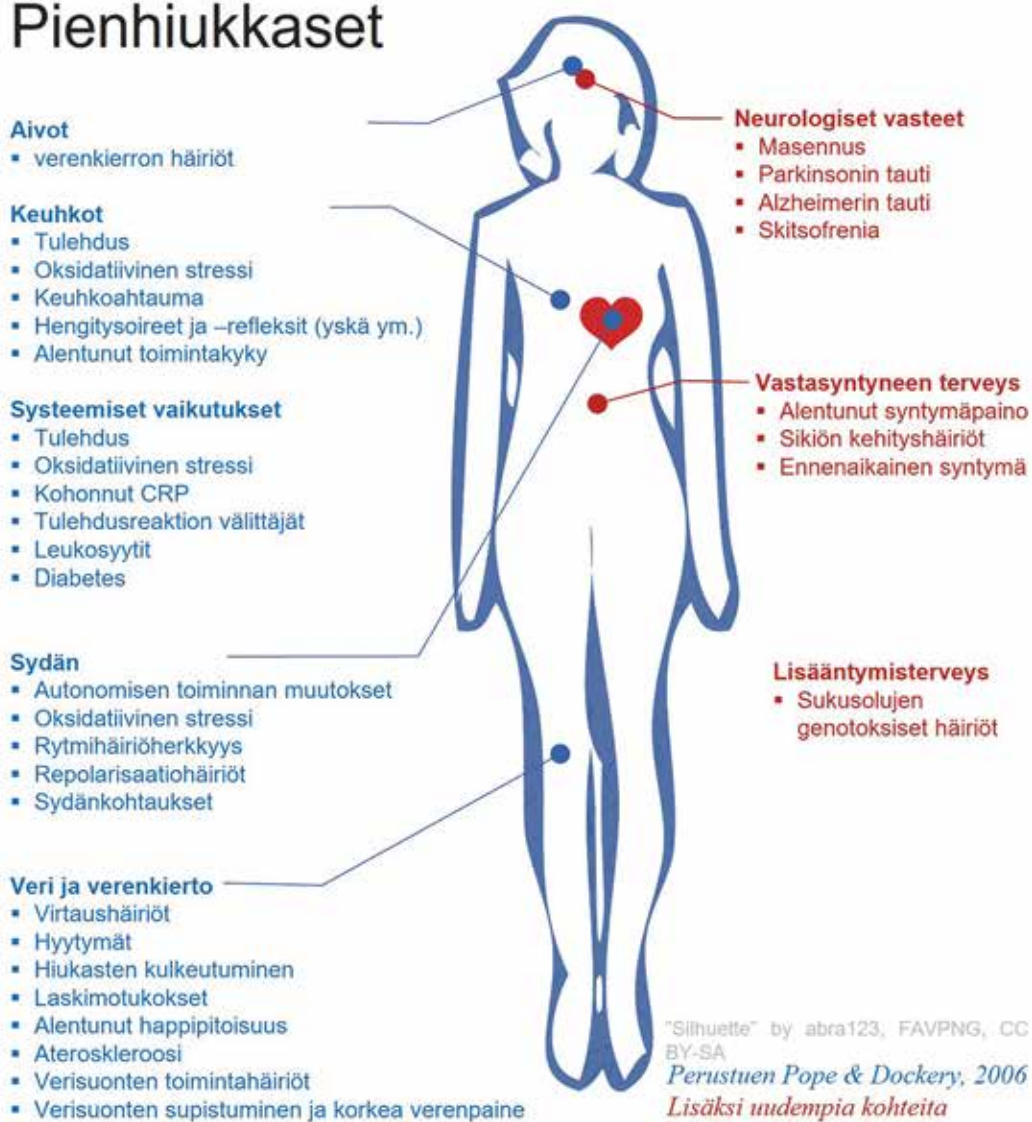


# ILMANSAASTEIDEN TAUTITAAKKA

– alhainen altistus arvioitua  
suurempi terveysriski?

## Pienhiukkaset



Kuva 1. Pienhiukkasiin liitettyjä kehon järjestelmiä ja niiden häiriöitä.

Lainsäädäntö säätelee kaikkiaan viidentoista ilmansaasteen pitoisuuksia ulkoilmassa. Ilma on Suomessa kansainvälisesti vertaillen erittäin puhdasta. Terveyden ja hyvinvoinnin laitoksen viimeisin vertailu eri ympäristötekijöiden aiheuttamasta tautitaakasta on vuodelta 2020. Tämän jälkeen näyttö erityisesti pienhiukkasten yhteydestä terveyshaittoihin myös alhaisilla altistustasoilla on lisääntynyt ja muun muassa WHO on puolittanut terveysperusteisen ohjearvonsa. Ulkoilman saasteiden rooli Suomessa on edelleen terveyden kannalta huomionarvoinen ja tautitaakka voi olla suurempi, kuin aikaisemmin on arvioitu.

Otto Hänninen, johtava tutkija, Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

Heli Lehtomäki, tutkija, Terveyden ja hyvinvoinnin laitos

Ilmansuojelulainsäädäntö rakentui pääosin 1980-luvulla, ennen tautitaakkamenetelmien kehittämistä. EU-jäsenyyden myötä ilmansuojeluasetus on harmonisoitu EU:n direktiivin kanssa, mutta itse säädeltyjen ilmansaasteiden luettelo tai tasot eivät ole vuosikymmeniin merkittävästi muuttuneet. Nyt lopultakin on meneillään EU:n ilmanlaatudirektiivin uudistus, minkä myötä on tulossa päivityksiä myös kotimaiseen lainsäädäntöön. Vuonna 2015 Terveyden ja hyvinvoinnin laitos (THL) arvioi Ympäristöministeriön toimeksiannosta kaikkien säädeltyjen ilmansaasteiden kansanterveysvaikutukset (Hänninen ym. 2016). Ilmansaasteiden arvioitiin vuonna 2013, 10 vuotta sitten, aiheuttaneen noin 1600 kuolemantapausta vuositasolla ja 33 000 haittapainotetun elinvuoden menetyksen (DALY). Ilmanlaatu on arvion jälkeen edelleen hitaasti parantunut (Korhonen ym. 2023).

Pienhiukkaset (PM<sub>2,5</sub>) on liitetty ennenaikaisen kuolleisuuden lisäksi moniin sairauksiin (kuva 1). Näitä ovat erityisesti sydän- ja verenkiertoelimestön sairaudet ja keuhkosityöpä, mutta myös astma ja muut hengityselimistön sairaudet, diabetes, lisääntymisterveyteen liittyvät tekijät, neurologiset sairaudet sekä syntymäaikaan saadut alhainen syntymäpaino. Pienhiukkasten on osoitettu kulkeutuvan keuhkojen kautta verenkiertoon ja muun muassa hajuhermosolujen kautta suoraan nenästä keskushermostoon. Hiukkaset aiheuttavat oksidatiivista stressiä ja tulehdusreaktioita, jotka ovat keskeisessä roolissa erityisesti sydän- ja verisuonielimistöön kohdistuvien vaikutusten synnyssä. Kaikkia hiukkasten vaikutusmekanismeja ei kuitenkaan ole voitu vielä tyhjentävästi selvittää.

***Ilmansaasteiden arvioitiin 2013 aiheuttaneen noin 1600 kuolemantapausta vuositasolla ja 33 000 haittapainotetun elinvuoden menetyksen.***

#### **Vertailevaa riskinarviointia**

Vuonna 2020 julkaistussa ympäristöriskitekijöiden tautitaakka-arvioiden vertailussa ilmansaasteet olivat keskeisessä roolissa. Ulkoilman hiukkaset olivat kärkipai-

kalla – sisäilman radon ja sisälähteiden pienhiukkaset kaukana perässään (Hänninen ym. 2020). Neljäntenä oli ympäristömelu, jonka ehdottomasti tärkein aiheuttaja on liikenne. Kahdentoista tärkeimmän ympäristöaltisteen joukkoon nousivat myös auringon uv-säteily, passiivitupakointi, typpidioksidi, muut ulkoilmasaasteet, kotien kosteusvauriot, otsoni, metyylielohopea ja lyijy, mainitussa järjestyksessä. Ulkoilman hiukkasten johtoasema on tässä vertailussa noin viisinkertainen seuraavana tulevaan radoniin. Vertailussa mukana olevat vaikutukset voitaisiin suhteellisen kattavasti kuvata myös kuolleisuudella, paitsi ympäristömelun ja kotien kosteusvaurioiden osalta.

### ***Pienhiukkasten on osoitettu kulkeutuvan keuhkojen kautta verenkiertoon ja hajuhermosolujen kautta nenästä keskushermostoon.***

Eri altisteiden vaikutukset ovat hyvin erityyppisiä: esimerkiksi liikennemelu aiheuttaa unihäiriöitä ja kosteusvauriot astmaa. Pienhiukkaset, radon ja tupakointi aiheuttavat keuhkosityöpää, jonka tapausmäärät ovat unihäiriöihin tai astmaan verrattuna pieniä, mutta joka sairautena on paljon vakavampi ja johtaa usein kuolemaan. Erilaisten sairauksien vaikutuksen vertaaminen edellyttää siten mittareita, joilla voidaan yhteismittalistaa vaikutukset. Maailman terveysjärjestön johdolla 1990-luvulla kehitettiin tautitaakka-käsite (burden of disease, BOD), joka huomioi ennenaikaisen kuolleisuuden vuoksi menetettyjen elinvuosien (years of life lost, YLL) lisäksi haittapainokertoimien sekä sairauden keston avulla sairauden vuoksi menetetyt terveet elinvuodet (years lived with a disability, YLD).

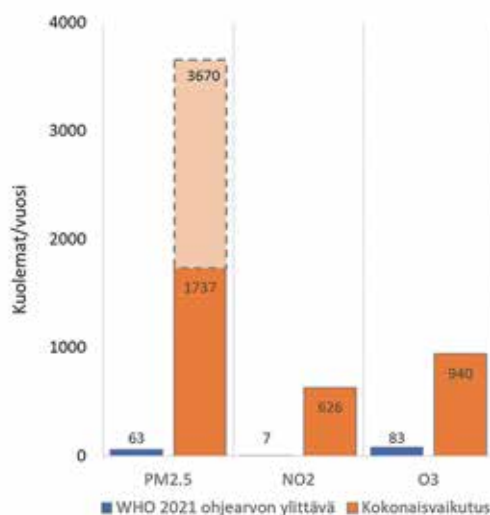
Nämä tautitaakkamittarit antavat mahdollisuuden verrata terveyshaittoja, jotka sisältävät sekä lievempiin, mutta kenties hyvin yleisiin, vaikutuksiin liittyvän sairastavuuden että vakavat kuolleisuusvaikutukset. Tautitaakkamittarit mahdollistavat erilaisten riskien vertailun lisäksi myös riski-hyötyarviot. Suomessa ympäristöriskien lisäksi tautitaakkamenetelmää on käytetty muun muassa liikenteen terveyshaittojen sekä aktiivisen liikkumisen terveyshyötyjen arvioimiseen (Lehtomäki ym. 2020).

## Mitä alemmalla altistustasolla tutkimukset tehtiin, sitä korkeammaksi pienhiukkasten aiheuttama kuolleisuusriski kohosi.

### Spesifinen toksisuus vastaan massapitoisuus

Toistuvasti on esitetty, että koska hiukkaset poikkeavat toisistaan merkittävästi lähteiltään, kemialliselta koostumukseltaan ja fysikaalisilta ominaisuuksiltaan; kuten haihtuvuus, vesiliukoisuus ja hiukkaskoko; myös niiden terveysvaikutusten täytyy poiketa toisistaan. Viimeisen kahdenkymmenen vuoden aikana tämä on ollut yksi johtavista tutkimusteemoista, mutta tieteellinen näyttö eroista hiukkasten haitallisuudessa on jäänyt ohueksi. Samoin kuin kaksi edellistäkin WHO:n ohjearvoa, myös uusin ohjearvo asetettiin pienhiukkasten massapitoisuuksille, vaikka samalla suositeltiin vaihtoehtoisten mittausten laajentamista (WHO 2021).

EU LIFE Index-Air-hankkeessa saimme tilaisuuden testata hypoteesia, että hiukkasten terveyshaittojen täytyy pääasiassa selittyä tunnettujen toksisten komponenttien vaikutuksilla. Kreetan teknisessä yliopistossa professuuria hoitava, aikanaan Kuopiossakin opiskellut, Mihalis Lazaridis ryhmineen rakensi yksityiskohtaisen aerosolipohjaisen mikroympäristömallin laskeakseen hiukkasten ja niiden toksisiksi tunnettujen raskasmetallien ja PAH-yhdisteiden keuhkodeposition määrää. Vertasimme näistä saatuihin syöpäaste-estimaatteihin epidemiologisia kuolleisuuksia ja havaitsimme, että vain alle sadasosa kuolleisuudesta voitaisiin selittää spesifisesti tunnettujen karsinogeenien syöpävaikutuksilla (Chalvatzaki ym. 2019). Siten ainakin toistaiseksi näyttää siltä, että parhaiten hiukkasten terveystaakkaa voidaan kvantifioida käyttäen epidemiologisia riskisuhteita massapitoisuudelle.



Kuva 2. EEA:n arvio ulkoilmansaasteiden vaikutuksesta suomalaisten kuolleisuuteen vuonna 2020. Siniset pylväät kuvaavat WHO:n 2021 ohjearvon ylittävän altistuksen aiheuttamia kuolemantapauksia ja oranssit pylväät kokonaisvaikutusta. Katkoviivalla on esitetty pienhiukkasilta kuolleisuus Chenin & Hoekin (2020) matalan altistustason ( $<10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) riskisuhteella (17 %) laskettuna.

### Euroopan ympäristöviraston kuolleisuusestimaatit

Euroopan ympäristövirasto (EEA) päivitti WHO:n ohjearvopäivityksen mukaisesti vaikutusarvionsa tärkeimmille ilmansaasteille ( $\text{PM}_{2,5}$ ,  $\text{O}_3$  ja  $\text{NO}_2$ ) (Soares ym. 2022). Terveiden kannalta merkittävin muutos oli hiukkasten haitallisuuden kasvu systemaattisen kirjallisuuskatsauksen ja sen osana tehdyn meta-analyysin pohjalta (Chen ja Hoek 2020). Pienhiukkasten kuolleisuuden riskiestimaatti  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ulkoilmapitoisuutta kohti kasvoi aiemmasta 6 %:sta 8 %:iin. Toisaalta EEA raportoi pääarvioinaan kokonaiskuolleisuuden sijasta kuolleisuuden WHO:n uusien ohjearvojen ( $\text{PM}_{2,5}$ :  $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ,  $\text{NO}_2$ :  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ja  $\text{O}_3$ :  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) ylittäviltä pitoisuuksilta eli kuolemat, jotka voitaisiin välttää, jos ilmanlaatu olisi ohjearvon mukainen (kuva 2). EEA raportoi kuitenkin herkkyytarkasteluna myös kokonaisvaikutukset ilman kynnystasoa. Suomessa ja muissa Pohjoismaissa sekä Virossa alhaisten altistustasojen vuoksi kynnystasolla on huomattavan suuri vaikutus raportoituun kuolleisuuteen, joka tulosten tulkinnassa on syytä ottaa huomioon.

Chen ja Hoek (2020) tarkastelivat katsauksessaan erikseen myös osakohortteja, joissa altistustasot olivat alhaisempia. He havaitsivat, että mitä alemmalla altistustasolla tutkimukset tehtiin, sitä korkeammaksi pienhiukkasten aiheuttama kuolleisuusriski kohosi (taulukko 1). Suomi kuuluu tässä alimpaan (alle  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) altistusluokkaan, jossa havaittu kuolleisuuden lisäriske oli 17 %, siis noin kaksinkertainen globaaliin pääestimaattiin (8 %) verrattuna. Myös useissa muissa viimeaikaisissa tutkimuksissa on havaittu suurempia riskisuhteita alhaisilla pitoisuuksilla (esim. Brauer et al. 2022 ja Strak et al. 2021).

Aiemmin korkein kansainvälinen arvio pienhiukkaskuolleisuudesta Suomessa oli Lelieveld ym. 2019 julkaisema estimaatti, noin 4000 kuollutta, joka perustui lyhytikäiseksi jääneeseen GEMM-annosvasteeseen ja käsityksemme mukaan hiukan yliarvioituun altistustasoon. Nyt siis uusimman WHO-työryhmän meta-analyysin mukaan se voisi olla osuvin arvio. Aiemmat kotimaiset estimaatit ovat olleet tasolla 1000–2000 kuolemantapausta.

Vaikka kuolleisuus on yleisimmin käytetty ilmansaasteidenkin tautitaakan mittari, se ei kuitenkaan juuri kuvaa sellaisia riskejä, joiden vaikutukset ovat lievempiä – astmaa, keskittymisvaikeuksia, hengitystie-

***Terveyden edistämistä varten tarvittaisiin parempi kuva tekijöistä, jotka vaikuttavat lasten, nuorten ja työikäisten terveyteen.***

| ALTISTUS<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | RISKIESTIMAATTI   |       |   |       | TUTKIMUKSIA |
|----------------------------------|-------------------|-------|---|-------|-------------|
|                                  | RR (95 % CI)      |       |   |       | kpl         |
| 0–10                             | 1.17 <sup>a</sup> | (1.12 | - | 1.23) | 5           |
| 10–12                            | 1.12              | (1.08 | - | 1.17) | 9           |
| 12–15                            | 1.10              | (1.08 | - | 1.13) | 14          |
| 15–20                            | 1.09              | (1.07 | - | 1.11) | 19          |
| 20–25                            | 1.09              | (1.06 | - | 1.11) | 20          |
| 25–                              | 1.08 <sup>b</sup> | (1.06 | - | 1.09) | 25          |

<sup>a</sup> Riskiestimaatti Suomen altistustasolla

<sup>b</sup> Globaali riskiestimaatti

Taulukko 1. Systemaattisessa katsauksessa havaittu kuolleisuuden suhteellisen riskin (RR, per 10 µg/m<sup>3</sup>) kasvu matalamman PM<sub>2.5</sub> altistuksen osakohorteissa (perustuen Chenin ja Hoekin 2020 liiteaineistoon).

infektioita. Terveyden edistämistä ja hyvinvointia varten tarvittaisiin kenties parempi kuva niistä tekijöistä, jotka vaikuttavat enemmän lasten, nuorten ja työikäisten terveyteen. Tautitaakkaan sisältyy kyllä sairastavuuskomponentti (YLD), mutta se ei ole erityisen herkkä ja olisikin perusteltua kehittää sitä.

### Päätelmiä

Ilmansaasteet, erityisesti ulkoilman pienhiukkaset, ovat edelleen tärkein terveyshaittoja aiheuttava ympäristötekijä myös Suomessa. Tutkimusnäyttö pienhiukkasten ja terveyshaittojen suhteesta myös alhaisilla altistustasoilla lisääntyy ja pitoisuusvaste-suhde

näyttäisi kasvavan jyrkemmin alhaisilla altistustasoilla ja tasaantuvan korkeammilla pitoisuuksilla. Uusimman systemaattisen katsauksen mukaan riskisuhde alle 10 µg/m<sup>3</sup> pitoisuuksilla on kaksinkertainen globaaliin estimaattiin verrattuna. Nämä tulokset korostavat edelleen ilmansuojelun tärkeyttä myös Suomessa. Ilmanlaadun hitaasti parantuessa ja tieteellisen näytön kehittyessä arvioita on säännöllisesti seurattava.

**Rahoitus:** Tässä artikkelissa esitettyjen aineistojen tuottamista ovat rahoittaneet EU LIFE-ohjelma (Index-Air), Nordforsk (NordicWelfAir), Suomen Akatemia (APPEAL) ja EU Horizon 2020 ohjelma (ULTR-HAS, BEST-COST).

### Lähteet:

Brauer M, Brook JR, Christidis T, Chu Y, Crouse DL, Erickson A, et al. 2022. Mortality–Air Pollution Associations in Low Exposure Environments (MAPLE): Phase 2. Research Report 212. Boston, MA: Health Effects Institute. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9556709/pdf/hei-2022-212.pdf>

Chalvatzaki E, Chatoutsidou S, Lehtomäki H, Almeida SM, Eleftheriadis K, Hänninen O, Lazaridis M, 2019. Characterization of human health risks from particulate air pollution in selected European cities. *Atmosphere* 10:96; doi:10.3390/atmos10020096. <https://www.mdpi.com/2073-4433/10/2/96>

Chen and Hoek, 2020. Long-term exposure to PM and all-cause and cause-specific mortality: A systematic review and meta-analysis. *Environment International*, *Environment International* 143 (2020) 105974. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105974>

Hänninen O (ed), Korhonen A, Lehtomäki H, Asikainen A, Rumrich I, 2016. Ilmansaasteiden terveysvaikutukset. Ympäristöministeriön raportteja 16/2016. ISBN 978-952-11-4604-6 (pdf). 29 ss. Helsinki. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-4604-6>

Hänninen O, Lehtomäki H, Korhonen A, 2020. Ilmansaasteet ja kuolleisuus kärjessä, tautitaakka yli kaksinkertainen: Ympäristö-altisteiden kansanterveysvaikutukset. *Ympäristö ja Terveys-lehti*, 1/2020 ss. 6-13. <http://urn.fi/URN:NBN:fi-fe202002246282>

Korhonen A, Lehtomäki Zrim H, Roponen M, Rumrich I, Hänninen O, 2023. Suomalaisten pienhiukkasantistuksen kehitys 1979–

2021. *Ilmansuojelu* 1/2023:19-23.

Lehtomäki, H., Karvosenoja, N., Paunu, V-V., Korhonen, A., Hänninen, O., Tuomisto, J., Karppinen, A., Kukkonen, J. & Tainio, M. 2021. Liikenteen terveysvaikutukset Suomessa ja suurimmissa kaupungeissa. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 16/2021. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-11-5386-0>

Lelieveld J, Klingmüller K, Pozzer A, Burnett RT, Haines A, Ramanathan V. Effects of fossil fuel and total anthropogenic emission removal on public health and climate. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2019 Apr 9;116(15):7192-7197. doi: 10.1073/pnas.1819989116. Epub 2019 Mar 25. PMID: 30910976; PMCID: PMC6462052.

Soares, J., González Ortiz, A., Gsell, A., Horálek, J., Plass, D. & Kienzler, S. (2022). Health risk assessment of air pollution and the impact of the new WHO guidelines (Eionet Report – ETC HE 2022/10). European Topic Centre on Human Health and the Environment. <https://www.eionet.europa.eu/etcs/all-etc-reports>.

Strak, M., Weinmayr, G., Rodopoulou, S., Chen, J., De Hoogh, K., Andersen, Z. J., ... & Samoli, E. (2021). Long term exposure to low level air pollution and mortality in eight European cohorts within the ELAPSE project: pooled analysis. *bmj*, 374. doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.n1904>.

WHO, 2021. Global air quality guidelines. Particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. World Health Organization, Geneva, Switzerland. 300 pp. ISBN 978-92-4-003422-8 (electronic version)