

## Nanohiukkaspäästöistä altistumiseen – uusia työkaluja työympäristöjen turvallisuuteen

*"Near-Source Dispersion of Engineered and Incidental Nanoparticles:  
from Emissions to Exposure and Risk Assessment"*



Työsuojelurahasto  
Arbetskyddsfonden  
The Finnish Work Environment Fund

### Tiivistelmä

Työympäristöissä syntyy ultrapieniä hiukkasia eli nanohiukkasia sekä tarkoituksellisesti tuotettuina nanomateriaaleina että monien prosessien sivutuotteina. Nanohiukkasaltistumisen arviointi on kuitenkin ollut vaikeaa, koska päästöistä on vielä vähän tietoa eivätkä tavanomaiset mallit kuvaa lähteen lähellä esiintyviä pitoisuushuippuja riittävän tarkasti. Väitöstyössä kehitettiin arviointiketju, joka yhdistää nanohiukkaspäästöjen mittaamisen sekä leviämismallinnuksen altistumisen ja terveysriskien arviointiin. Työssä tutkittiin erityisesti 3D-tulostusta ja grafeenimateriaalien käsittelyä. Tulokset auttavat työpaikkoja tunnistamaan työvaiheet, joissa altistuminen on suurinta, ja siten kohdentamaan torjuntatoimia tehokkaammin.

### Lähtökohdat

Nanohiukkaset voivat kulkeutua työpaikan ilmaan nanomateriaalien käsittelystä sekä monista työprosesseista ja -koneista. Pienen kokonsa vuoksi ne voivat päästä syvälle hengitysteihin, joten altistumisen arviointi on tärkeää työterveyden kannalta. Väitöstyön tavoitteena oli yhdistää päästöjen määrittäminen, leviämismallinnus, altistumisen arviointi ja riskinarviointi samaan kokonaisuuteen. Uutta työssä ovat kehitetyt altistuksen arviointimallit ja tieto uudenlaisista nanohiukkaspäästölähteistä.

### Aineisto

Työssä kerättiin laajasti sekä mittaus- että mallinnusaineistoa. Mukana oli päästö- ja altistumismittauksia mm. 3D-tulostuksesta ja grafeenipohjaisten jauheiden käsittelystä työpaikoilla. Aineisto sisälsi kammiokokeita, pölyävyydestauksia, työpaikkamittauksia ja laskennallisia skenaarioita nykyisistä ja tulevista työtilanteista. Lisäksi hyödynnettiin tieteelliseen kirjallisuuteen pohjautuvaa tietoa nanohiukkasten terveysvaikutuksista sekä altistumisen viitearvoista riskinarvioinnin pohjaksi.

### Menetelmät

Työssä yhdistettiin kokeellisia ja laskennallisia menetelmiä. Nanohiukkaspäästöjä määritettiin kammiokokeilla ja kuivien jauheiden osalta pölyävyydestauksella. Altistumista arvioitiin työpaikkamittauksilla ja leviämismalleilla, jotka kuvaavat hiukkasten kulkeutumista lähteen lähellä. Lisäksi mallinnettiin hiukkasten kertymistä keuhkoihin ja verrattiin altistumista terveysperusteisiin viitearvoihin riskinarvioinnissa. Menetelmillä tarkasteltiin nykyisiä ja tulevaisuuden tuotantoskenaarioita.

### Tulokset ja johtopäätökset

Keskeinen johtopäätös oli, että nanohiukkasaltistumista voidaan arvioida realistisemmin, kun päästöjä, leviämistä, altistumista ja riskiä tarkastellaan yhtenä ketjuna. Mittaukset osoittivat, että hyvin pienet, alle 3 nanometrin hiukkaset muodostavat suuren osan 3D-tulostuksen päästöistä. Leviämismallinnus osoitti altistumisen korostuvan lähteen lähellä, suurissa päästöissä ja heikosti tuuletetuissa tiloissa. Erityisesti pölyävien grafeenijauheiden käsittely voi aiheuttaa kohonneen terveysriskin.

### Uutuusarvo ja sovellettavuus

Tutkimuksen uutuusarvo on siinä, että se kokoaa päästöjen määrityksen, leviämismallinnuksen, altistumisen arvioinnin ja riskinarvioinnin yhdeksi käytännössä sovellettavaksi arviointikehykseksi. Menetelmiä voidaan hyödyntää suomalaisilla työpaikoilla, joissa käsitellään nanomateriaaleja tai syntyy ultrapieniä hiukkasia prosessien sivutuotteena. Kehys auttaa tunnistamaan kriittiset työvaiheet ja valitsemaan niihin sopivat torjuntakeinot turvallisempien työolojen tueksi.