

## NANOMATERIAALIT HUOLTOTÖISSÄ – TYÖPERÄISET RISKIT JA NIIDEN EHKÄISEMINEN

Nanoteknologia kehittyi nopeasti, ja nanomateriaalien käyttö yleistyy sekä arkielämässä että työpaikoilla. Yhä useammat huoltotöitä tekevät työntekijät voivat siis altistua nanomateriaaleille. Jatkuvasta tutkimustyöstä huolimatta nanotekniikka kehittyi kuitenkin nopeammin kuin tietoa saadaan nanomateriaalien vaikutuksista terveyteen ja turvallisuuteen. Monet seikat ovat edelleen hämärän peitossa, mikä herättää kysymyksiä työterveyteen ja työturvallisuuteen liittyvien riskien arvioinnista.

Tässä e-Facts-artikkelissa kerrotaan, kuinka työntekijät voivat joutua nanomateriaalien kanssa tekemisiin huoltotöissä, ja annetaan tietoa siitä, mitä mahdollisen altistumisen ehkäisemiseksi kannattaisi tehdä.

### 1 Johdanto

#### 1.1 Mitä nanomateriaalit ovat?

Nanomateriaalit ovat materiaaleja, jotka sisältävät hiukkasia, joiden ulottuvuuksista yksi tai useampi on 1–100 nm<sup>1</sup>. Kokoluokka on verrattavissa atomeihin ja molekyyliin. Ne voivat olla luonnollista materiaalia, kuten tulivuoren tuhkaa, tai ihmisen toiminnasta syntyvää tahatonta sivutuotetta, kuten dieselpakokaasuun sisältyviä nanomateriaaleja. Monia nanomateriaaleja valmistetaan ja myydään kuitenkin tarkoituksellisesti. Tässä e-Facts-artikkelissa käsitellään juuri näitä aineita.

Vaikka nanomateriaalit voivat agglomeroitumalla tai aggregoitumalla tulla suuremmaksi kuin 100 nm, agglomeraatit ja aggregaatit voivat hajota ja vapauttaa nanomateriaaleja. Näin ollen myös agglomeraatit ja aggregaatit olisi otettava huomioon kaikessa nanomateriaaleihin liittyvien riskien arvioinnissa.

Valmistettujen nanomateriaalien erityisominaisuuksista on paljon hyötyä erilaisissa sovelluksissa. Valmistettuja nanomateriaaleja voidaan käyttää joko sellaisenaan tai yhdessä muiden materiaalien kanssa esimerkiksi seuraaviin tarkoituksiin:

1. miniaturisointi (esimerkiksi elektroniset laitteet)
2. keventäminen (materiaalitehokkuuden lisääntymisen tuloksena)
3. materiaalien toimivuuden parantuminen (esimerkiksi parempi kesto, johtavuus, terminen stabiilius, liukoisuus ja pienempi kitka).

Työpaikalla mahdollisesti esiintyvien valmistettujen nanomateriaalien tyyppi riippuu toteutettavien prosessien, valmistettujen tuotteiden ja valmistuksessa tai prosessin apuaineena käytettävien materiaalien tyypistä.

<sup>1</sup> Euroopan komission suosituksen[1] mukaan

– ”Nanomateriaali” tarkoittaa ”luonnollista materiaalia, sivutuotemateriaalia tai valmistettua materiaalia, joka sisältää hiukkasia joko vapaina, agglomeroituneina tai aggregoituneina ja jonka hiukkasista vähintään 50 prosenttia lukumääräperusteisen kokojakauman mukaisesti on kooltaan 1–100 nm tai jonka ulkomitoista yksi tai useampi on 1–100 nm”. Lukumääräperusteinen kokojakauma ilmaistaan tiettyyn kokoluokkaan kuuluvien osien määränä osien kokonaisuudella jaettuna.

– ”Erityistapauksissa ja jos ympäristöön, terveyteen, turvallisuuteen tai kilpailukykyyn liittyvät huolenaiheet sen oikeuttavat, lukumääräperusteisen kokojakauman 50 prosentin kynnysarvo voidaan korvata 1–10 prosentin kynnysarvolla.”

– ”Poiketen [edellisen] kohdan soveltamisesta fullereeneja, grafeenihiutaleita ja yksiseinäisiä hiilinanoputkia, joiden yksi tai useampi ulkomitoista on alle yksi nanometri, olisi pidettävä nanomateriaaleina.”

## 1.2 Huolto

Säännöllinen huolto on tärkeää välineiden, koneiden, rakennusten ja rakennelmien (kuten siltojen ja tunnelien) sekä työympäristön säilyttämiseksi turvallisena ja luotettavana.



Tekijä: Dovile Cizaite

Huoltotöihin kuuluu monenlaista toimintaa monilla hyvin erilaisilla aloilla ja hyvin erityyppisissä työympäristöissä. Huoltotöihin kuuluu tyypillisesti kunnossapitoa, korjaamista, tarkastuksia, testausta, säätöä tai osien korvaamista, ja sen yhteydessä saatetaan esimerkiksi aukaista suljettuja tuotantojärjestelmiä, vaihtaa suodattimia, poistaa maalikerroksia, räjäyttää, jauhaa, hioa, lisätä täyteaineita, maalata, eristää ja korjata sähköjohtoja ja kaasu- tai vesiputkia. Huoltotöitä tehdään jossain määrin kaikilla aloilla ja työpaikoilla, joten huoltotyöntekijät altistuvat muita todennäköisemmin monille erilaisille työpaikalla esiintyville vaaroille.

Huolto voi olla ennakoivaa, jolloin sillä pyritään ehkäisemään koneen tai rakenteen pettäminen ja vaaralliset olosuhteet työpaikalla, tai huoltotöillä voidaan reagoida ongelmaan esimerkiksi korjaamalla välineitä tai rakennusmoduuleja. Huoltotyöt voivat siis kuulua työntekijän päivittäiseen toimintaan (esimerkiksi maaliruisku puhdistetaan ja tarkistetaan työpäivän päätteeksi), tai erityisiä huoltotoimia voidaan toteuttaa, jos välineet tai koneet eivät toimi asianmukaisesti. Huoltotyöt voivat olla rakennustyöntekijöiden pääasiallisia työtehtäviä.

Hyödyllistä tietoa huoltotyöstä sekä työterveydestä ja -turvallisuudesta on EU-OSHA:n verkkosivuilla osoitteessa <https://osha.europa.eu/fi/topics/maintenance>.

## 1.3 Nanomateriaalit huoltotyössä

Vaikka nanoteknologia on verrattain uusi teollisuuden ala, nanomateriaaleilla on jo useita käyttökohteita erityisominaisuuksiensa vuoksi. Mahdollinen altistuminen nanomateriaaleille huoltotöiden aikana on siis otettava huomioon yhä useammalla alalla ja työpaikalla.

Nanomateriaaleja sisältävien valmistettujen tuotteiden määrä todella vain kasvaa, joten työntekijät joutuvat yhä todennäköisemmin huoltamaan tällaisia tuotteita ja saattavat altistua näin nanomateriaaleille. Esimerkkejä nanomateriaaleja sisältävistä tuotteista ovat autot, pienen vierintävästuksen autonrenkaat, elektroniset laitteet ja sähkölaitteet (kuten tehokkaat anturit ja elektroniikka) ja energiantuotantolaitteistot (kuten suuritehoiset ladattavat akkujärjestelmät ja älykkäät ohutkalvoaurinkopaneelit). Myös rakennukset saattavat sisältää nanomateriaaleja.

Lisäksi markkinoilla on yhä enemmän sellaisia huoltotöissä tarvittavia tuotteita, joihin sisältyy valmistettuja nanomateriaaleja. Tällaisia ovat esimerkiksi voiteluaineet, pinnoitteet ja liima-aineet. Ellei asianmukaisia ennalta ehkäiseviä toimenpiteitä toteuteta, työntekijät voivat altistua myös näille aineille.

Valmistettujen nanomateriaalien tietyistä käyttökohteista voi olla huoltotyöntekijöille myös valtavaa hyötyä työterveyden ja -turvallisuuden näkökulmasta katsottuna. Tällaisia ovat esimerkiksi halkeamien tai korroosion havaitsemiseen maalipinnoilta tarkoitettut älykkäät maalit. Älykkäisiin maaleihin sisältyy hiilinanoputkia, jotka johtavat sähköä. Pinnassa olevat viat vaikuttavat niiden sähkönjohtokykyyn, joten näitä maaleja voidaan käyttää mikroskooppisten pienten rakenteellisten ongelmien havaitsemiseen etäältä esimerkiksi silloissa tai tuuliturbiineissa, jolloin rakenteita ei tarvitse tarkistaa nousemalla korkealle.

## 2 Nanomateriaaleista huoltotöiden tekijöille aiheutuvat työterveys- ja työturvallisuusriskit

Vaikka nanomateriaaleista on paljon monenlaista hyötyä, jotkin niistä voivat olla haitallisia ihmisten terveydelle ja turvallisuudelle [2–4] ja voivat saattaa huoltotyöntekijät vaaraan.

### 2.1 Vaarat ja altistumisreitit

Turvallisuus voi vaarantua joidenkin nanojauheiden (jauhemaisten nanomateriaalien), etenkin nanojauheen muodossa olevien metallien erittäin herkän räjähtävyyden, syttyvyyden ja katalyyttiominaisuuksien vuoksi.

Nanomateriaaleilla voi olla monia erilaisia toksisia vaikutuksia, vaikkei samalla materiaalilla niitä makrokoossa olisikaan. Tämä johtuu lähinnä esimerkiksi hiukkasten pienestä koosta sekä hiukkasten muodosta, kemiallisista ominaisuuksista, pinnasta (esimerkiksi pinta-ala, pinnan funktionalisointi ja pinnan käsittely) ja aggregoitumis- tai agglomeroitumisasteesta [3, 4].

Tavanomaisissa ympäristöolosuhteissa nanomateriaalit voivat agglomeroitua tai aggregoitua yli 100 nm:n suuruiseksi, jolloin niiden nano-ominaisuudet muuttuvat (mutteivät välttämättä häviä). Nanomateriaaleja voi kuitenkin vapautua jälleen, jos agglomeraatin sidokset ovat löyhät, ja joissakin olosuhteissa niitä voi vapautua myös aggregaateista, joissa sidokset ovat lujemmat. Parhailaan tutkitaan, voiko hengitetyille agglomeraateille tai aggregaateille tapahtua näin keuhkojen nesteessä [3, 4]. Nanomateriaaleja sisältävät agglomeraatit ja aggregaatit olisi näin ollen otettava huomioon työpaikan riskienarvioinnissa.

Kun nanomateriaalit pääsevät sisälle elimistöön, tähän sisäiseen altistumiseen voi liittyä edelleen imeytymistä, leviämistä ja aineenvaihduntaan liittyviä tekijöitä. Joitakin nanomateriaaleja on löydetty esimerkiksi keuhkoista, maksasta, munuaisista, sydäimestä, lisääntymiselimistä, sikiöistä, aivoista, pernasta, luustosta ja pehmytkudoksesta [5]. Monia nanomateriaalien biokertyvyyteen sekä soluista ja elimistä poistumisen mekanismeihin liittyviä kysymyksiä on vielä selvittämättä. Sitä paitsi vaikkei nanomateriaali olisi itse toksinen, se voi toimia eräänlaisena Troijan hevosenä siten, että toksisempaa materiaalia voi kiinnittyä nanomateriaaliin ja päästä sitä kautta elimistön sisälle elimiin tai soluihin [6].

Nanomateriaalien merkittävimpiä haittavaikutuksia on havaittu keuhkoissa. Näitä ovat tulehdukset, kudonsvauriot, oksidatiivinen stressi, krooninen toksisuus, sytotoksisuus, fibroosi ja kasvainten syntyminen. Osa nanomateriaaleista saattaa vaikuttaa myös sydän- ja verenkiertoelimistöön. Valmistettujen nanomateriaalien mahdollisia haitallisia ominaisuuksia tutkitaan jatkuvasti [3, 4].

Taulukossa 1 on esimerkkejä nanomateriaaleista, joille huoltotyöntekijät voivat altistua, sekä niiden terveysvaaroista. Nämä nanomateriaalit ovat erityisen tärkeitä huoltotöiden kannalta, koska niitä käytetään maaleissa, desinfiointiaineissa, puhdistusaineissa ja muissa huoltotöiden yhteydessä yleisesti käytettävissä aineissa.

**Taulukko 1: Esimerkkejä nanomateriaaleista, joille huoltotyöntekijät voivat altistua, ja niiden mahdollisista terveyshaitoista**

Nanomateriaalin tyyppi	Terveyshaitat
Nanohopeahiukkaset	Nanohopeahiukkasten käytöstä saattaa olla vaaraa ihmisten terveydelle [8]. EU:n kehityksessä olevia ja vastikään havaittuja terveysriskejä käsittelevältä tiedekomitealta onkin pyydetty tieteellistä lausuntoa nanohopean vaikutuksesta turvallisuuteen, terveyteen ja ympäristöön sekä sen roolista mikrobilääkeresistenssissä. Nanomateriaalien pelätään aiheuttavan vakavia terveyshaittoja, kuten allergioita [10], keuhkoödeemaa [11] ja argyriaa tai argyroosia (ihon, kynsien, silmien, limakalvojen tai sisäelinten värjäytymistä harmaaksi tai harmaansiniseksi taikka pigmentin muuttumista mustaksi hopean kertymisen vaikutuksesta), jota ei voida palauttaa ennalleen eikä

Nanomateriaalin tyyppi	Terveyshaitat
	parantaa [12]. Rottatutkimuksissa on havaittu myös, että nanohopeahiukkaset voivat kulkeutua aivoihin ylähengitysteitä pitkin [13].
Titaanidioksidin (TiO <sub>2</sub> ) nanohiukkaset	Titaanidioksidishiukkaset on luokiteltu hengitettyinä kansainvälisen syöpätutkimuslaitoksen (International Agency for Research on Cancer, IARC) mukaan mahdollisesti ihmiselle syöpää aiheuttaviksi (ryhmän 2B karsinogeeni) [14]. Yhdysvaltain kansallinen työterveys- ja työturvallisuuslaitos (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) on suositellut titaanidioksidin ultrapienille hiukkasille alempaa altistumisen raja-arvoa, joka on 0,3 mg/m <sup>3</sup> titaanidioksidin nanohiukkasille (< 100 nm), kun se on 2,4 mg/m <sup>3</sup> pienille hiukkasille (> 100 nm) [15].
Piidioksidin nanohiukkaset	Nanopiidioksidin toksisuudesta saatavissa olevat tutkimukset perustuvat piidioksidin terveysvaikutuksiin hengitysteiden kautta tapahtuvassa akuutissa tai subakuutissa altistumisessa. Tutkimuksissa havaittuja terveyshaittoja olivat keuhkotulehdus, granuloomien muodostuminen ja fokaalinen emfyseema [16].

Nanomateriaaleille altistuminen työpaikalla tapahtuu pääasiassa kolmea mahdollista kautta [2, 3, 6, 17–19]:

- **Hengittäminen** on tavallisin tapa altistua ilmassa kulkeutuville nanohiukkasille työpaikalla. Hengitettyjä nanohiukkasia voi kertyä hengitysteihin ja keuhkoihin riippuen siitä, minkä muotoisia ja kokoisia ne ovat. Hengityksen jälkeen ne saattavat läpäistä keuhkojen epiteelikudoksen ja päästä sitä kautta verenkiertoon ja muihin elimiin ja kudoksiin. Osan hengitettyistä nanomateriaaleista on havaittu kulkeutuvan aivoihin hajuhermoa pitkin.
- **Ruoansulatuskanavan** kautta altistuminen voi tapahtua tahattomasti hiukkasten siirtyessä kädestä suuhun saastuneilta pinnoilta tai saastunutta ruokaa tai juomaa nauttimalla. Ruoansulatuskanavan kautta altistumista voi tapahtua myös nanomateriaalien hengittämisen seurauksena, kun hengitysteitä puhdistavat värekarvat kuljettavat nanohiukkasia liman mukana kohti nielua, josta ne niellään. Osa niellyistä nanohiukkasista saattaa läpäistä suoliston epiteelikudoksen ja päästä sitä kautta verenkiertoon ja muihin elimiin ja kudoksiin.
- **Ihon** kautta elimistöön pääsyä tutkitaan edelleen [2, 18]. Ehjä iho näyttää suojaavan elimistöä hyvin nanomateriaaleilta [20]. Rikkoutunut iho ei näytä kuitenkaan antavan yhtä tehokasta suojaa, mutta elimistöön sisään pääsevän nanomateriaalin määrä on todennäköisesti pienempi kuin hengitettäessä [20]. Tästä huolimatta myös ihokosketusta olisi syytä ehkäistä ja siltä olisi suojauduttava.

Altistumisen mahdollisuus riippuu siis pääasiassa siitä, miten todennäköisesti nanomateriaalit kulkeutuvat ilmassa jauheena tai hiukkassuihkuna, mikä aiheuttaa suuremman riskin kuin nesteeseen, tahnaan, rakeiseen materiaaliin tai komposiittiin suspensoitunut nanomateriaali. Sen sijaan nesteissä olevat nanomateriaalit ovat suurempi riski kuin sitoutuneet tai kiinnittyneet nanorakenteet, kuten polymeerimatriisissa olevat nanomateriaalit [21].

## 2.2 Nanomateriaaleille altistumisen riski huoltotöissä

Huoltotyöntekijät voivat altistua valmistetuille nanomateriaaleille seuraavissa tilanteissa:

- käyttäessään nanomateriaaleja sisältäviä huoltotuotteita
- huoltaessaan laitteistoja, joihin liittyy nanomateriaaleja, kuten tuotantolinjaa, jolla käytetään tai prosessoidaan nanomateriaaleja tai nanomateriaaleja sisältäviä tuotteita, tai kun tällaisia nanomateriaaleja on esimerkiksi kertynyt huollettavan laitteiston pinnalle
- kun varsinaisessa huoltoprosessissa syntyy nanomateriaaleja esimerkiksi hionnan tai kiillottamisen yhteydessä.

Taulukossa 2 on esimerkkejä huoltotyöntekijöiden käyttämisestä, käsittelemisestä ja prosessoimisesta tuotteista, joihin sisältyy nanomateriaaleja, joille työntekijät voivat altistua työssään.

**Taulukko 2: Esimerkkejä huoltotoissa käytettävistä nanomateriaaleista sisältävistä tuotteista**

Pääasialliset nanomateriaalit	Esimerkkejä huoltotoissa käytettävistä tuotteista
Titaanidioksidi (TiO <sub>2</sub> )	Maalit, antibakteeriset pinnoitteet, puhdistusaineet, sementit, kaakelit, seinäpaperit, likaa hylkivät ikkunoiden pinnoitteet, autojen pinnoitteet (kaikissa näissä tuotteissa käytetään nanokokoisen titaanidioksidin sterilioivia, hajua poistavia, huurtumista estäviä ja itsepuhdistavia ominaisuuksia) ja lasi, jossa hyödynnetään väriä valon vaikutuksesta vaihtavaa ominaisuutta [6, 22–24].
Piidioksidi (SiO <sub>2</sub> )	Maalit, betoni ja puhdistusaineet [6, 23]
Nanohopeahiukkaset	Käytetään biosideinä väreissä ja maaleissa sekä lakoissa, polymeereissä, altaissa ja saniteettitilojen keramiikassa sekä erilaisissa kulutushyödykkeissä, kuten desinfiointi- ja puhdistusaineissa [6].
Hiilinanoputket	Maalit [23], kevytrakenteet
Hiilimusta	Pigmentit
Karbidit (esim. WC, TiC, SiC), nitridit (esim. TiN, CrN), metallit (esim. W, Ti, Mo) tai keramiikka (esim. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	Tribologiset pinnoitteet, joita käytetään osien pinnalla suojaamaan niitä hankautumiselta ja kulumiselta [25].
Rautaoksidit	Liiman lisäaineet sekä formulaatiot, joissa nanomateriaalin sitoutuminen tai sidoksen irtoaminen voidaan aiheuttaa halutessa [25].
Zirkoniumdioksidi	Sementin lisäaineet, muovin lisäaineet
Kuparioksidit	Puunsuoja-aineet
Nanokultahiukkaset	Autot ja voiteluaineet [26]

Työntekijät saattavat altistua nanomateriaaleille esimerkiksi seuraavissa huoltotoissa:

- **Nanomateriaaleja sisältävien nestemäisten tuotteiden käyttö:**
  - Nestemäisten tuotteiden (esimerkiksi voiteluaineiden, maalien, pinnoiteaineiden ja liima-aineiden) käsittely tai läikkyneen aineen puhdistus, jossa suojaamaton iho voi altistua.
  - Joissakin olosuhteissa huoltotöihin liittyy nestemäisten tuotteiden valmistamista, ja tähän voi sisältyä kaatamista tai sekoittamista ja voimakasta ravistelua, jolloin voi syntyä aerosoleja, joita saatetaan hengittää (jolloin ne voivat ajautua ruoansulatuskanavaan) tai jotka saattavat kertyä suojaamattomalle iholle ja aiheuttaa näin ihoaltistuksen.
  - Esimerkiksi eristävän nanopinnoitteen tai nanomaalin ruiskuttamisesta voi seurata hengityksen, ruoansulatuskanavan tai ihon kautta altistuminen.
  - Syttyvän nestemäisen nanomateriaalin ruiskuttaminen lisää myös räjähdyksen tai tulipalon vaaraa.
- **Nanojauheiden käyttö:**
  - Nanomateriaaleja sisältävien jauheiden käsittelyssä (esimerkiksi punnitseminen, kaataminen tai sekoittaminen) valmistettaessa huoltotoissa tarvittavia tuotteita voi aiheutua nanomateriaalien kulkeutumista ilmassa, mikä voi johtaa ihon, ruoansulatuskanavan tai hengityksen kautta altistumiseen.

- **Sitoutuneiden tai kiinnittyneiden nanorakenteiden (polymeerimatriisi) käyttö:**
  - Koneella työstäminen, hiominen, poraaminen tai muu matriisin rakennetta mahdollisesti vahingoittava toiminta voi saada nanohiukkasia vapautumaan ilmaan, josta ne voivat päästä elimistöön ihon, hengityksen tai ruoansulatuskanavan kautta. Matriisista irti hankautuvat nanomateriaalit eivät vapaudu välttämättä primäärihiukkasina, sillä ne voivat sitoutua muihin prosessissa syntyviin aerosolihiukkasiin. On kuitenkin mahdollista, että hengityksen kautta elimistöön päässeet sitoutuneet nanomateriaalit vapautuvat irtoamalla aerosolihiukkasista elimistössä.
- **Nanomateriaalien tai niitä sisältävien tuotteiden valmistamiseen tai prosessointiin käytettävien laitteiden huolto:**
  - Nanomateriaaleja voi vapautua joskus tahattomasti, jolloin on vaara altistua ihon, hengityksen tai ruoansulatuskanavan kautta.
- **Nanomateriaalien keräämiseen käytettyjen pölynkeräysjärjestelmien puhdistus:**
  - Työntekijät voivat altistua kertyneille tai ilmassa kulkeutuville nanomateriaaleille suurina pitoisuuksina, jolloin altistus voi tapahtua ihon, hengityksen tai ruoansulatuskanavan kautta.
- **Läikkyneen nanomateriaalin puhdistaminen:**
  - Altistuminen voi tapahtua ihon, hengityksen ja ruoansulatuskanavan kautta.
- **Nanomateriaaleja sisältävän jäteaineen kuljetus ja hävittäminen:**
  - Altistuminen voi tapahtua ihon, hengityksen ja ruoansulatuskanavan kautta.

Lisäksi nanojauheen leviäminen ilmassa lisää räjähdys- tai tulipalon vaaraa.

Altistumisen taso kasvaa työskenneltäessä suljetussa tilassa, kuten säiliössä, ilman asianmukaisia suoja-toimenpiteitä.

### 3 Ennaltaehkäiseminen

EU:n direktiivin 89/391/ETY[5] mukaisesti työnantajien on tehtävä työpaikalla säännöllisin väliajoin riskinarviointit ja otettava käyttöön asianmukaiset ennalta ehkäisevät toimenpiteet. Tämä koskee myös työpaikalla esiintyviin nanomateriaaleihin liittyviä mahdollisia riskejä. Lisäksi työpaikalla esiintyvistä kemiallisista tekijöistä annetussa direktiivissä 98/24/EY[27] on tiukemmat säännökset, jotka koskevat työpaikalla esiintyvistä aineista aiheutuvien riskien hallintaa. Nämäkin säännökset koskevat nanomateriaaleja, sillä aineiden määrittelmä kattaa nanomateriaalit. Lisäksi jos nanomateriaali tai saman yhdistelmän makrokoon materiaali on syöpää tai perimän muutoksia aiheuttava, on noudatettava syöpäsairauden vaaraa tai perimän muutoksia aiheuttavia aineita työssä koskevan direktiivin 2004/37/EY[28] säännöksiä. Kansallisessa lainsäädännössä voi kuitenkin olla tiukempia säännöksiä, joten sekin kannattaa tarkistaa.

Koska nanomateriaalit katsotaan aineiksi, myös REACH-asetus (kemikaalien rekisteröinti, arviointi ja lupamenettely)[29] ja CLP-asetus (aineiden ja seosten luokitus, merkinnät ja pakkaaminen)[30] ovat yhtä asiaankuuluvia.

#### 3.1 Huoltotöissä esiintyviin nanomateriaaleihin liittyvien riskien ehkäisemisen haasteet

Työpaikalla esiintyviin nanomateriaaleihin liittyvien riskien arviointi voi olla yleensä hankalaa seuraavien nykyisten rajoitusten vuoksi:

1. Nanomateriaalien haitallisista ominaisuuksista on vain vähän tietoa.
2. Nanomateriaalien ja niiden lähteiden tunnistamiseen sekä altistumisen tason mittaamiseen käytettävissä olevat menetelmät ja laitteet ovat vielä puutteellisia.
3. Nanomateriaalien esiintymisestä etenkin seoksissa tai esineissä ei ole tarpeeksi tietoa, eikä tietoa ole tarpeeksi myöskään käyttäjätetun loppupäästä, jossa nanomateriaaleja tai nanomateriaaleja sisältäviä tuotteita käytetään ja prosessoidaan.

Käyttöturvallisuustiedotteet (KTT) ovat tärkeitä tiedonlähteitä työpaikalla esiintyviin vaarallisiin aineisiin liittyvien riskien ehkäisemisestä, mutta ne sisältävät yleensä vähän jos lainkaan tietoa

nanomateriaalien esiintymisestä ja niiden ominaisuuksista, työntekijöille aiheutuvista riskeistä ja niiden ehkäisemisestä [31–34]. Tämä on erityisen ongelmallista alempana toimitus- tai alihankintaketjussa. Esimerkiksi noin 75 prosenttia rakennusalan työntekijöistä ja työnantajista ei ole tietoinen nanotuotteiden esiintymisestä työpaikallaan [35]. Organisaatioita neuvotaan näin ollen pyytämään lisätietoja suoraan tavarantoimittajalta. Käytettävissä on myös monia hyödyllisiä tietokantoja, joissa on lueteltu nanomateriaaleja sisältäviä kaupallisia tuotteita [36–38]. Lisäksi REACH-asetuksen liitteeseen II [39] tehtyjen muutosten, käyttöturvallisuustiedotteita koskevan lainsäädännön sekä Euroopan kemikaaliviraston (ECHA) antamien toimintaohjeiden [40], jotka koskevat nanomateriaalien ominaisuuksista tiedottamista käyttöturvallisuustiedotteissa, odotetaan parantavan käyttöturvallisuustiedotteisiin sisältyvien tietojen laatua.

E-Facts-artikkelissa nro 72 (<https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures>) esitellään ohjeita ja välineitä, joita nykyään on saatavissa nanomateriaaleihin liittyvien riskien hallinnan avuksi. Nanomateriaaleihin liittyvien riskien hallinta ja työntekijöiden suojeleminen huoltotöiden yhteydessä voi kuitenkin aiheuttaa lisähaasteita.

Huoltotöiden teettäminen alihankintana on hyvin yleistä. Alihankkijat tekevät työnsä useimmiten tiloissa, joita he eivät tunne. Jos heille ei anneta riittävästi tietoa, he saattavat tietämättään altistaa nanomateriaaleille. Huollettavissa koneissa (esimerkiksi tuotantolinjoilla, joilla käytetään tai prosessoidaan nanomateriaaleja tai nanomateriaaleja sisältäviä tuotteita), laitteistoissa (esimerkiksi imujärjestelmissä) tai rakennuksissa (esimerkiksi nanomateriaalia sisältävillä maaleilla maalatuilla pinnoilla) mahdollisesti esiintyvistä nanomateriaaleista ei ole riittävästi tietoa, joten riskejä on vaikea arvioida ja ehkäistä asianmukaisesti. Tällaiset tilanteet johtuvat pääasiassa huonosti suunnitellusta toiminnasta, huonosta työn organisoinnista ja heikosta tiedonkulusta molempiin suuntiin alihankintaketjua.

Toinen haaste liittyy siihen, että huoltotilanteissa toimintaolosuhteet ja laitteistojen käyttö poikkeavat usein normaalista. Riskinhallintatoimenpiteet otetaan joskus pois käytöstä huoltotöiden ajaksi, esimerkiksi kun suljettu järjestelmä avataan, jotta työntekijät pääsisivät huoltamaan nanomateriaalien valmistuksessa tai prosessoinnissa käytettyä konetta, tai kun huolletaan itse teknisessä suojaamisessa käytettyä laitetta. Nanomateriaaleista aiheutuvien työterveys- ja työturvallisuusriskien ehkäisemiseksi saatavissa olevat ohjeet koskevat yleensä tavanomaisia toimintaolosuhteita. Työntekijöiden altistuminen huoltotöiden aikaisissa normaalista poikkeavissa olosuhteissa voi kuitenkin olla merkittävästi erilaista. Jos asianmukaiset suojoitimet eivät ole huoltotöiden aikana käytössä, huoltotyöntekijät ovat luonnollisesti vaarassa, mutta lisäksi vaarassa voivat olla myös työn tilanteen yrityksen työntekijät.

Mahdolliset nanomateriaaleihin liittyvät työperäiset riskit on määritettävä ja arvioitava asianmukaisesti ja niistä on tiedotettava asianmukaisesti ennen huoltotöiden (mahdollisesti alihankintana teetetävien) suunnittelua ja toteutusta [41]. On tärkeää, että huoltotyöntekijöille ilmoitetaan asianmukaisesti huoltotöiden toteuttamispaikalla käytettävien, käsiteltävien tai prosessoitavien nanomateriaalien esiintymisestä ja ominaisuuksista sekä niihin mahdollisesti liittyvistä riskeistä ja asianmukaisista ehkäisevistä toimenpiteistä sekä myös kaikista muista työpaikalla esiintyvistä vaaroista. Työntekijöiden asianmukainen koulutus ja työskentelyohjeet ovat samoin tärkeitä.

## 3.2 Ehkäisevät toimenpiteet

Ehkäisevien toimenpiteiden valinnan tulisi perustua työpaikalla tehtyyn riskinarviointiin, ja toimenpiteet olisi valittava riskinhallinnan toimenpiteiden tärkeysjärjestyksen mukaisesti. Ensimmäisiä toimenpiteitä ovat vaarallisen aineen poistaminen ja korvaaminen toisella, seuraavaksi tärkeimpiä ovat lähteessä toteutettavat tekniset toimenpiteet ja organisaatioon liittyvät toimenpiteet ja vasta viimeisenä tulee henkilösuojainten käyttö. Jos nanomateriaaleihin liittyvien riskien suhteen on epäselvyyttä, altistumisen välttämiseen tähtäävät ehkäisevät toimenpiteet valitaan varovaisuusperiaatetta noudattaen.

### 3.2.1 Aineen poistaminen ja korvaaminen toisella

Vaarallisten nanomateriaalien poistamisen tai korvaamisen mahdollisuuksia olisi pohdittava sen yrityksen kanssa, jossa huoltotyöt aiotaan suorittaa. Jos huoltotöitä tehdään työtiloissa, joissa nanomateriaaleja syntyy tai käytetään tiettyjen nano-ominaisuuksien hyödyntämiseksi, tai jos huoltotöitä tehdään sellaisissa rakennuksissa tai rakennelmissa, jotka sisältävät nanomateriaaleja, aineen poistaminen tai korvaaminen toisella ei ehkä ole mahdollista. Aina on kuitenkin syytä pitää

mielessä yhtäältä toivottujen ominaisuuksien ja vaikutusten ja toisaalta terveystarpeiden välinen tasapaino, ja aineen poistamista ja korvaamista toisella kannattaa harkita perin pohjin. Jos esimerkiksi puhdistuksessa tai korjaamisessa käytettäviin tuotteisiin sisältyy haitallisia nanomateriaaleja, tulisi vähemmän vaarallisten vaihtoehtojen saatavuutta arvioida.

Joka tapauksessa kaikki ilmassa kulkeutuvat nanomateriaalien muodot (esimerkiksi jauheet) olisi korvattava liuotetuilla tai nestemäisillä, rakeisilla, tahnamaisilla tai kiinteisiin aineisiin sitoutuneilla nanomateriaaleilla. Jauheiden käyttöä tulisi välttää aina kun mahdollista.

Nanomateriaalin vaarallista ominaisuutta voi olla mahdollista vähentää muuttamalla sitä, esimerkiksi pinnoittamalla se pölyämisen, liukenevuuden ja muiden ominaisuuksien muuttamiseksi.

Korvaavia vaihtoehtoja voi etsiä asiaan erikoistuneista www-pohjaisista tietotyökaluista, joita ovat esimerkiksi Stoffenmanager [42] tai GISBAU [43].

### 3.2.2 Tekniset suojatoimenpiteet

Teknisiä ehkäisytoimenpiteitä olisi toteutettava nanomateriaalien lähteessä. Tehokkain lähteessä käytettävä tekninen suojatoimenpide on suojaaminen suljetun järjestelmän ja koteloidun laitteiston avulla. Jos sulkeminen tai kotelointi ei ole mahdollista, myös sopivan tehokas paikallinen imujärjestelmä, jossa on tehokas hiukkassuodatin (HEPA- tai ULPA-suodatin), kerää nanomateriaaleja tehokkaasti niiden lähteessä.

Toisinaan huoltotyöhön kuuluvana tehtävänä voi kuitenkin olla näiden teknisten suojatoimenpiteiden tarkastaminen ja korjaaminen, jolloin teknisen suojatoimenpiteen ennalta ehkäisevä toiminto voidaan joutua kytkemään pois päältä. Esimerkiksi kun nanomateriaalien tuotantoastia (tavallisesti suljettu järjestelmä) avataan huoltoa varten ja imujärjestelmä kytketään tätä varten pois päältä, huoltotyöntekijän on käytettävä henkilösuojaimia (ks. 3.2.4 kohta).

Paikalliset (siirrettävät) imujärjestelmät voivat olla erityisen hyödyllisiä suojattaessa työntekijöitä huoltotöiden aikaiselta altistumiselta esimerkiksi poistettaessa pinnoilta maalia, jolloin muodostuu hiukkasia. Paikallisen imujärjestelmän imuteho on nanomateriaalien osalta yhtä hyvä kuin karkeiden materiaalien osalta. Siirrettäviä imujärjestelmiä käytettäessä on huolehdittava siitä, ettei työntekijöiden hengitysalue jää ilmapirran kulkureitille mahdollisen nanomateriaalien lähteen ja imujärjestelmän välillä.

Nanomateriaaleille altistumiselta suojaamiseen käytettävissä ilmanpoistojärjestelmissä tulee olla monitasoiset suodattimet, joissa viimeisenä suodattimena on HEPA- (H14) tai ULPA-suodatin. Suodatinmateriaalien tehokkuudesta nanohiukkasten ja aerosolien osalta toteutetussa tutkimuksessa kävi ilmi, että monissa tapauksissa lasikuidusta tehdyt perinteiset suodattimet ja elektreettisuoatimet ovat yleisesti tehokkaita nanohiukkasten ja aerosolien kohdalla.

Suljetuissa tiloissa pois imetty ilma on korvattava puhtaalla tuloilmalla.

### 3.2.3 Organisaatioon liittyvät toimenpiteet

Organisaatioon liittyvillä toimenpiteillä on tärkeä merkitys ennaltaehkäisyssä. Koska huoltotöitä on monenlaisia ja niitä suoritetaan monenlaisissa tiloissa, huoltoprosessin asianmukainen suunnittelu ja muut organisaatioon liittyvät toimenpiteet ovat erittäin tärkeitä. Näihin sisältyy seuraavaa:

- Osoitetaan erilliset alueet sellaisia huoltotöitä varten, joissa voi vapautua nanomateriaaleja (joko huollon aikana käytettävistä tuotteista tai huollettavista esineistä). Nämä alueet olisi eristettävä tai erotettava esimerkiksi seinillä muista työtiloista, ja ne olisi merkittävä asianmukaisin varoituskyltein.
- Minimoidaan mahdollisesti vaarassa olevien työntekijöiden määrä ja nanomateriaaleille altistumisen kesto.
- Kielletään asiattomien henkilöiden pääsy tiloihin, joissa huoltotöitä tehdään, esimerkiksi kiinnittämällä varoituskylttejä tai rajaamalla alue.
- Puhdistetaan säännöllisesti (pyyhitään kostealla) työskentelyalue, jolla nanomateriaaleja käytetään tai käsitellään.
- Seurataan ilman pitoisuuksia esimerkiksi vertaamalla niitä pitoisuuksiin, jotka on mitattu silloin, kun nanomateriaaleja ei käsitellä.

Koska tällä hetkellä ei ole olemassa vakiomuotoista menettelytapaa varoituskylttien käyttöä tai nanomateriaaleja sisältävien työpisteiden tai säiliöiden merkitsemistä varten, on suositeltavaa



noudattaa varovaisuuteen perustuvaa lähestymistapaa ja käyttää aineiden ja seosten luokituksista, merkinnöistä ja pakkaamisesta annetun EU:n asetuksen (CLP-asetuksen) [30] vaara- ja turvalausekkeita sekä varoituskylttejä, joiden avulla voidaan antaa riittävää, asianmukaista ja yksityiskohtaista tietoa mistä tahansa nanomateriaalien käyttöön tai käsittelyyn liittyvästä todellisesta tai mahdollisesta terveys- ja turvallisuusriskistä.

Huoltotöissä tulisi noudattaa seuraavia yleisiä periaatteita, joita sovelletaan nanomateriaalien esiintymisestä riippumatta:

- Huoltotöiden suunnittelun tulisi perustua riskinarviointiin, ja työntekijä on otettava suunnitteluun mukaan. Jos huolto suoritetaan työpisteissä, joissa käsitellään sellaisia nanomateriaaleja, joiden toksisuudesta ja käyttäytymisestä ei ole tietoa, tämä seikka on otettava huomioon. Riskinarvioinnissa tulisi priorisoida tunnettujen riskien lisäksi sellaisten työpaikalla esiintyvien nanomateriaalien arviointia ja hallintaa, joista ei ole saatavilla tietoa tai tiedot ovat puutteellisia tai epävarmoja.
- Kiireestä aiheutuvaa painetta on syytä välttää varaamalla huoltotöihin riittävästi aikaa.
- On annettava riittävästi koulutusta sen varmistamiseksi, että huoltotyöntekijöillä on turvalliseen työskentelyyn tarvittavat tiedot ja taidot ja että työntekijät osaavat suojautua vapautuville nanomateriaaleille altistumiselta.
- Huolto-ohjeet ja -tiedot olisi annettava aina kaikille huoltotyöntekijöille, erityisesti kun työntekijöitä palkataan tekemään ainoastaan kyseinen tietty tehtävä tai kun työntekijät eivät tunne yleisesti kemikaaleihin liittyviä riskejä eivätkä erityisesti nanomateriaaleihin liittyviä riskejä. Nämä tiedot olisi kirjattava myös työpaikan ohjeisiin.
- Varovaisuuteen perustuvan lähestymistavan soveltaminen nanomateriaaleihin liittyvien riskien hallinnassa merkitsee, että kaikki käytettävissä olevat toimenpiteet olisi toteutettava ennalta ehkäisevien toimenpiteiden tärkeysjärjestyksen mukaisesti nanomateriaalien vapautumisen vähentämiseksi.
- Huoltotöiden päätyttyä työtila on puhdistettava ja koko huoltoprosessi dokumentoitava.

Vaarallisille nanomateriaaleille huoltotöiden aikana altistuvat työntekijät olisi otettava mukaan terveydenhuollon seurantaohjelmiin, ja altistumistilanteet olisi dokumentoitava asianmukaisesti.

### 3.2.4 Henkilösuojaimet

Henkilösuojaimia olisi käytettävä viimeisenä keinona, jos altistumista ei pystytä vähentämään riittävän tehokkaasti muilla edellä mainituilla toimenpiteillä. Jos henkilösuojaimet katsotaan riskienarvioinnissa välttämättömiksi, tulisi laatia henkilösuojainten käyttöä koskeva ohjelma. Hyvä henkilösuojainten käytön ohjelma sisältää seuraavaa: asianmukaisen henkilösuojaimen valinta, sovitus, koulutus ja henkilösuojainten huolto.

Nanomateriaaleilta suojaavia varusteita koskevat suositukset ovat tällä hetkellä samat kuin pölylle ja aerosoleille altistumiselta suojaavien varusteiden suositukset tai ihoaltistusta koskevat suositukset riippuen siitä, minkä tyyppisestä altistuksesta on kyse [44]. Näiden suojatoimenpiteiden uskotaan suojaavan yhtä tehokkaasti nanomateriaaleilta.

Henkilösuojainten käyttäjän työtahtia ja fyysistä kuntoa on arvioitava sen varmistamiseksi, että henkilösuojaimet antavat riittävän suojan ja että niitä voidaan käyttää asianmukaisesti. Henkilösuojaimilla tehdyillä kokeiluilla tulisi varmistaa, että suojaimen käyttäjät pystyvät tekemään työnsä turvallisesti henkilösuojainta käyttäen ja että käyttäjä pystyy käyttämään samaan aikaan myös muita tarvittavia välineitä (kuten silmälasia) tai työkaluja tarpeen mukaan. On syytä pitää mielessä, että henkilösuojainten antaman suojan taso voi heikentyä käytettäessä samaan aikaan monia eri henkilösuojaimia. Myös muut riskit kuin nanomateriaaleihin liittyvät riskit voivat häiritä ja heikentää henkilösuojainten tehoa. Henkilösuojainta valittaessa on siis otettava huomioon kaikki työpaikan vaarat. Kaikissa käytettävissä henkilösuojaimissa on oltava CE-merkintä, ja niitä on käytettävä valmistajan ohjeiden mukaan mitään muuttamatta.

Huoltotyöntekijät saattavat joutua pitämään sellaisia henkilösuojaimia, joita ei tarvita normaalisti siinä työpisteessä, jossa huoltotöitä tehdään. Jos esimerkiksi nanomateriaaleja sisältävien maalien sekoittamisessa käytettävä tuotantoastia avataan, työntekijällä on oltava nanomateriaalien hengittämisen estämiseksi hengityssuojain, jossa on ulkoinen ilmasyöttö. Tavanomaisen toiminnan aikana astiat ovat suljettuja eikä hengityssuojaimia tarvita.

## ▪ Hengityksen suojaaminen

Jos ilmassa kulkeutuville nanomateriaaleille altistumista ei voida välttää edellä 3.2.1–3.2.3 kohdassa mainituilla ennalta ehkäisevillä toimenpiteillä, asianmukaisten hengityssuojainten käyttö on tällaisessa tilanteessa suositeltavaa. Hengityssuojaimet voivat olla puolinaamareita tai kokonaamareita, joissa on P3/FFP3- tai P2/FFP2-suodatin; hiukkassuodattimia, joihin on yhdistetty raitisilmaletku ja kypärä (TH2P tai MH3P), tai hiukkassuodattimia, joihin on yhdistetty raitisilmaletku sekä koko- tai puolinaamari (TM2P ja TM3P)<sup>2</sup> [45].

HEPA-suodattimia, suodatinrasialla varustettuja hengityssuojaimia ja kuitusuodattimella varustettuja naamareita pidetään tehokkaimpina nanomateriaalien kohdalla.

Hengityssuojaimen valinnassa on otettava huomioon

- ilmassa kulkeutuvien nanomateriaalihiukkasten tyyppi, koko ja pitoisuus
- hengityssuojaimen ilmoitetut suojaominaisuudet (joissa yhdistetään suodattimen tehokkuus ja istuvuus kasvoilla)
- työskentelyolosuhteet.

Hengityssuojainten ja suodatinten suodatustehokkuus on yksi tärkeistä tekijöistä hengityssuojaimia arvioitaessa. Myös muut tekijät, kuten istuvuus kasvoille, käyttöajan pituus ja henkilösuojaimen asianmukainen huolto, voivat vaikuttaa altistumisen vähentymiseen. Puolinaamareiden kohdalla suurimmaksi riskitekijäksi on havaittu naamarin huono istuvuus kasvoilla [44]. Altistumisen vähentämistä olisi tarkasteltava aina suodattimen tehokkuuden ja hengityssuojaimen käyttöominaisuuksien yhdistelmän kannalta. Nämä ilmaistaan niin kutsutuilla hengityssuojaintekijöillä joissakin EU-maissa.

Jos hengityssuojain ei kata silmiä, on lisäksi käytettävä myös silmänsuojaimia (hyvin istuvia suojalaseja).

## ▪ Suojavaatteet

Suojavaatteissa kannattaa suosia kuitutekstiilejä (ilmatiiviitä materiaaleja) kuten suurtiheyspolyeteeniä (alhainen pölynsidonta ja alhainen pölyävyys) kudottujen kankaiden sijaan. On suositeltavaa välttää käyttämästä puuvillakankaasta tehtyjä suojavaatteita [44].

Uudelleen käytettävien suojavaatteiden kuten haalareiden osalta tulisi sopia säännöllisin väliajoin suoritettavasta pesusta ja sekundaarisen altistumisen ehkäisemisestä. On sovittava, että puhtaat haalarit ja suojatakkit voidaan pukea päälle ja likaiset ottaa pois päältä siten, etteivät yksittäiset henkilöt tai yleisesti koko työtila altistu.

## ▪ Suojakäsineet

Suojakäsineet ovat erityisen tärkeitä huoltotyössä, sillä työntekijät ovat usein suoraan kosketuksissa nanomateriaaleihin joko käyttämiensä tuotteiden välityksellä tai huoltamiensa esineiden ja materiaalien välityksellä. Kuten kemikaalien kanssa yleensä, suojamateriaalin tehokkuus riippuu nanomateriaalin ominaisuuksista. Tiettyä nanomateriaalia koskevat tavarantoimittajan suositukset, jotka on annettu esimerkiksi käyttöturvallisuustiedotteessa, olisi otettava huomioon. Titaanidioksidin ja platinan hiukkasten osalta nitriliin, lateksiin ja neopreeniin on todettu olevan tehokkaita [44]. Käsineiden materiaalin paksuus on merkittävä tekijä nanomateriaalin leviämistä määrittäessä. Näin ollen kahden käsineparin käyttö samanaikaisesti on suositeltavaa [46].

Tämä ei kuitenkaan vaikuta käsineiden tehokkuuteen nesteitä tai kolloideja käsiteltäessä. Käsineiden teho tietyn nanomateriaalin osalta siinä muodossa, jossa kyseistä nanomateriaalia esiintyy työpaikalla (pöly, nesteet jne.), tulisi tarkistaa erikseen käsineiden toimittajalta.

<sup>2</sup> Tutkimusten mukaan kaliumkloridin nanohiukkasten läpäisevyys on P2-suodattimilla 0,2 prosenttia ja P3-suodattimilla 0,011 prosenttia. Erikoisilla grafiittihiukkasilla tehdyissä testeissä läpäisevyys on ollut enintään 8 prosenttia. Tämän perusteella P3-suodattimet antavat paremman suojan, mutta tuloksia ei voi kuitenkaan yleistää kaikkiin nanohiukkasiin (ks. [45]).

### 3.3 Räjähdyksen ja/tai tulipalon ehkäiseminen

Pienen kokonsa vuoksi jauhemaiset nanomateriaalit voivat aiheuttaa räjähdysvaaran, vaikeivat niitä vastaavat rakeiset materiaalit sitä välttämättä aiheuttaisi<sup>3</sup> [47]. Nanojauheita käsiteltäessä tai tuotettaessa, kuten jauhettaessa, hiottaessa tai kiillotettaessa nanomateriaaleja sisältäviä materiaaleja, on siis oltava huolellinen.

Jauheena esiintyviä nanomateriaaleja koskevat ehkäisevät toimenpiteet ovat pääosin samoja, joita toteutettaisiin minkä tahansa räjähtävän tai helposti syttyvän rakeisen materiaalin ja räjähtävän pölypilven osalta. Niissä on noudatettava vähimmäisvaatimuksista räjähdyskelpoisten ilmaseosten aiheuttamalle vaaralle mahdollisesti alttiiksi joutuvien työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden suojelun parantamisesta annetussa direktiivissä 99/92/EY säädettyjä vaatimuksia. Näihin kuuluu muun muassa seuraavaa:

- Käsittelyn tulisi rajoittua mahdollisuuksien mukaan tiettyihin räjähdysvaarallisiin tiloihin ja se olisi toteutettava inertissä ympäristössä.
- Materiaalit tulisi liuottaa työskentelytilat kastelemalla (pölyjen ehkäiseminen).
- Kipinöivät laitteet ja muut syttymislähteet tai sähköstaattisen varauksen syntymistä edistävät olosuhteet olisi poistettava työtilasta. Sen sijaan luonnostaan vaarattomia laitteistoja (heikkovirralla ja pienjännitteellä toimivat merkinanto- ja ohjauspiirit) olisi käytettävä aina kun mahdollista.
- Pölykerrokset olisi poistettava kostealla pyyhkimällä.
- Räjähtäviä tai helposti syttyviä materiaaleja olisi säilytettävä työtiloissa mahdollisimman vähän. Antistaattisia pusseja voidaan käyttää.

### 3.4 Ehkäisevien toimenpiteiden tehokkuuden tarkistaminen

Riskinarviointia tulisi tarkistaa säännöllisin väliajoin ja riskinhallintatoimenpiteiden valintaa ja toteutusta olisi valvottava ja tarkistettava säännöllisesti niiden tehokkuuden kannalta. Tämä tarkoittaa, että kaikkien suojavälineiden, kuten vetokaappien tai laminaarivirtauskaappien asianmukainen toiminta on varmistettava, ja kaikki ilmanvaihtolaitteistot ja niiden suodatinjärjestelmät on tarkastettava säännöllisesti. Lisäksi henkilösuojainten soveltuvuus on tarkistettava ja niitä on päivitettävä tarvittaessa.

Riskien vähentämiseen tähtävien toimenpiteiden tehokkuutta voidaan lisäksi arvioida analysoimalla nanomateriaalien pitoisuutta ilmassa ennen ennalta ehkäisevää toimenpidettä ja sen jälkeen. Mitatut altistumistasot riskinhallintatoimenpiteitä toteutettaessa eivät saisi erota merkittävästi vertailupitoisuuksista, jotka on mitattu, kun valmistettujen nanomateriaalien lähdettä ei ole. Ehkäisevien teknisten toimenpiteiden tehokkuutta voidaan selvittää myös käyttämällä muitakin välillisiä mittaamenetelmiä, kuten savutestejä ja/tai virtausnopeuden mittausta.

Nanomateriaalien työperäisen altistuksen raja-arvoja<sup>4</sup> [48] voidaan laatia tulevaisuudessa. Työpaikan riskinhallinnan ensisijaisena tavoitteena olisi kuitenkin oltava altistumisen mahdollisimman tehokas vähentäminen, joten pelkkä työperäisen altistuksen raja-arvossa pysyminen ei riitä.

## Lähdeluettelo

1. Komission suositus, annettu 18 päivänä lokakuuta 2011, nanomateriaalien määritelmästä, EUVL L 275, s. 38–40. Saatavana osoitteessa <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:FI:PDF>.
2. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, Yhdysvaltain kansallinen työterveys- ja työturvallisuuslaitos), *Approaches to Safe Nanotechnology – Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials*, Department of

<sup>3</sup> Useimpien orgaanisten pölyjen ja monien metallipölyjen räjähtävyys kasvaa hiukkaskoon pienenemyssä. 500 µm vaikuttaa olevan räjähdysalttiin pölypilven hiukkaskoon yläraja. Tällä hetkellä koolle ei ole määritetty mitään alarajaa, jonka alittuessa pölyn räjähtäminen voitaisiin sulkea pois (ks. [47]).

<sup>4</sup> Ks. esimerkiksi Alankomaiden sosiaali- ja talousneuvosto (SER) [48], Provisional nano reference values for engineered nanomaterials, 2012, ja Nanowerk [42], SAFENANO team complete BSI British Standards guide to safe handling of nanomaterials, 2012.

- Health and Human Services (terveyspalveluvirasto), Centers for Disease Control and Prevention (tartuntatautien valvonta- ja ehkäisykeskukset), julkaisu nro 2009–125, 2009.
3. Euroopan komissio, *Commission Staff Working Paper: Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects. Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials*, SWD(2012) 288 final, Bryssel, 2012. Saatavana osoitteessa <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>.
  4. Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA), *Workplace Exposure to Nanoparticles*, Euroopan riskienseurantakeskus, kirjallisuuskatsaus, 2009. Saatavana osoitteessa [http://osha.europa.eu/en/publications/literature\\_reviews/workplace\\_exposure\\_to\\_nanoparticles](http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles).
  5. Neuvoston direktiivi 89/391/ETY, annettu 12 päivänä kesäkuuta 1989, toimenpiteistä työntekijöiden turvallisuuden ja terveyden parantamisen edistämiseksi työssä, EYVL L 183, 29.6.1989. Saatavana osoitteessa <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31989L0391:FI:NOT>.
  6. Senjen, R., "Nanomaterials – Health and Environmental Concerns", *Nanotechnologies in the 21<sup>st</sup> century*, Euroopan ympäristötoimisto, nro 2, heinäkuu 2009. Saatavana osoitteessa <http://www.eeb.org/?LinkServID=540E4DA2-D449-3BEB-90855B4AE64E8CE6&showMeta=0>.
  7. Nanowerk, *Introduction to Nanotechnology*, 2012. Saatavana osoitteessa [http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction\\_to\\_nanotechnology\\_1.php](http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_1.php) (19. lokakuuta 2012).
  8. ENRHES-hanke, *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES)*, 2009. Saatavana osoitteessa <http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/whats-new/enhres-final-report> (29. huhtikuuta 2013).
  9. Kehittymässä olevia ja vastikään havaittuja terveysriskejä käsittelevä tiedekomitea, *Request for a Scientific Opinion on Nanosilver: Safety, Health and Environmental Effects and Role in Antimicrobial Resistance*, 2012. Saatavana osoitteessa [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenih\\_r\\_q\\_027.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenih_r_q_027.pdf).
  10. Bundesministerium für Gesundheit (Itävallan terveysministeriö), *Nanosilber in Kosmetika, Hygieneartikeln und Lebensmittelkontaktmaterialien – Produkte, gesundheitliche und regulatorische Aspekte*, Wien, 2010. Saatavana osoitteessa [http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/9/7/2/CH1180/CMS1288805248274/bmg\\_nanosilber\\_fassung\\_veroeffentlichung\\_final\\_mit\\_deckblaetter1.pdf](http://bmg.gv.at/cms/home/attachments/9/7/2/CH1180/CMS1288805248274/bmg_nanosilber_fassung_veroeffentlichung_final_mit_deckblaetter1.pdf).
  11. Euroopan komissio, *Commission Staff Working Paper: Types and Uses of Nanomaterials, Including Safety Aspects Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials*, SWD(2012) 288 final, Bryssel, 3. lokakuuta 2012. Saatavana osoitteessa <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>.
  12. Luoma, S. N., *Silver Nanotechnologies and the Environment: Old Problems or New Challenges?*, the Pew Charitable Trust & the Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2008. Saatavana osoitteessa [http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano\\_pen\\_15\\_final.pdf](http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf).
  13. Haase, A., Rott, S., Manton, A., Graf, P., Plendl, J., Thünemann, A.F., Meier, W.P., Taubert, A., Luch, A., Reiser, G., "Effects of silver nanoparticles on primary mixed neural cell cultures: uptake, oxidative stress and acute calcium responses", *Toxicology Science*, 2012, 126(2), s. 457–468.
  14. Maailman terveysjärjestö (WHO), "Carbon Black, Titanium Dioxide and Talc", *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans*, vol. 93, 2010. Saatavana osoitteessa <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol93/mono93.pdf>.
  15. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, Yhdysvaltain kansallinen työterveys- ja työturvallisuuslaitos, "Occupational exposure to titanium dioxide", *Current Intelligence Bulletin* 63, 2011. Saatavana osoitteessa <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/>.

16. Napierska, D., Thomassen, L. C. J., Lison, D., Martens, J. A., Hoet, P. H., "The nanosilica hazard: another variable entity", *Particle and Fibre Toxicology*, 2010, 7, s. 39.
17. Lauterwasser, C., *Small Size that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies*, Allianz Center for Technology -keskuksen & OECD:n yhteinen raportti, ei päiväystä. Saatavana osoitteessa <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>.
18. Murashov, V., "Occupational exposure to nanomedical applications", *WIREs Nanomed Nanobiotechnol*, 2009, 1, s. 203–213.
19. Hanson, N., Harris, J., Joseph, L. A., Ramakrishnan, K., Thompson, T., *EPA Needs to Manage Nanomaterial Risks More Effectively*, U.S. Environmental Protection Agency (Yhdysvaltain ympäristövirasto), raportti nro 12-P-0162, 2011. Saatavana osoitteessa <http://www.epa.gov/oig/reports/2012/20121229-12-P-0162.pdf>.
20. Gratieri, T., Schaefer, U. F., Jing, L., Gao, M., Kostka, K. H., Lopez, R. F. V., Schneider, M., "Penetration of quantum dot particles through human skin", *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2010, 6(5), s. 586–595.
21. The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH, Yhdysvaltain kansallinen työterveys- ja työturvallisuuslaitos), *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories*, Department Of Health And Human Services (terveyspalveluvirasto), julkaisu nro 2012–147, 2012.
22. Elvin, G., *Nanotechnology for Green Building*, Green Technology Forum, 2007. Saatavana osoitteessa [http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/mangematin/Nano\\_Green\\_Building55ex.pdf](http://esonn.fr/esonn2010/xlectures/mangematin/Nano_Green_Building55ex.pdf).
23. Responsible Nano Forum, *Nano Products – Where and How Nanotechnologies are Used Now*, ei päiväystä. Saatavana osoitteessa <http://www.nanoandme.org/nano-products/> (19. lokakuuta 2012).
24. United States Government Accountability Office (GAO, Yhdysvaltain liittovaltion tarkastusvirasto), *Nanotechnology – Improved Performance Information Needed for Environmental, Health, and Safety Research* (2012). Saatavana osoitteessa <http://www.gao.gov/assets/600/591007.pdf> (19. lokakuuta 2012).
25. Observatory NANO, *Coatings, Adhesives and Sealants for the Transport Industry*, 2010. Saatavana osoitteessa [http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/NOB\\_coating\\_adhesives\\_sealants\\_transport\\_final.pdf](http://www.observatorynano.eu/project/filesystem/files/NOB_coating_adhesives_sealants_transport_final.pdf) (19. lokakuuta 2012).
26. Sung, J. H., Ji, J. H., Park, J. D., Song, M. Y., Song, K. S., Ryu, H. R., Yoon, J. U., Jeon, K. S., Jeong, J., Han, B. S., Chung, Y. H., Chang, H. K., Lee, J. H., Kim, D. W., Kelman, B. J., Yu, I. J., "Subchronic inhalation toxicity of gold nanoparticles", *Particle and Fibre Toxicology*, 2011, 8, s. 16.
27. Neuvoston direktiivi 98/24/EY, annettu 7 päivänä huhtikuuta 1998, työntekijöiden terveyden ja turvallisuuden suojelemisesta työpaikalla esiintyviin kemiallisiin tekijöihin liittyviltä riskeiltä (neljästoista direktiivin 89/391/ETY 16 artiklan 1 kohdassa tarkoitettu erityisdirektiivi), EYVL L 131, 5.5.1998. Saatavana osoitteessa <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:FI:PDF>.
28. Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2004/37/EY, annettu 29 päivänä huhtikuuta 2004, työntekijöiden suojelemisesta syöpäsairaudesta aiheuttaville tekijöille tai perimän muutoksia aiheuttaville aineille altistumiseen työssä liittyviltä vaaroilta (kuudes neuvoston direktiivin 89/391/ETY 16 artiklan 1 kohdassa tarkoitettu erityisdirektiivi), EUVL L 158, 30.4.2004. Saatavana osoitteessa [http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R\(01\):FI:NOT](http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R(01):FI:NOT).
29. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1907/2006, annettu 18 päivänä joulukuuta 2006, kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista (REACH), Euroopan kemikaaliviraston perustamisesta, direktiivin 1999/45/EY muuttamisesta sekä neuvoston asetuksen (ETY) N:o 793/93, komission asetuksen (EY) N:o 1488/94, neuvoston direktiivin 76/769/ETY ja komission direktiivien 91/155/ETY, 93/67/ETY, 93/105/EY ja 2000/21/EY kumoamisesta, EUVL L 369, 30.12.2006. Saatavana osoitteessa <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:fi:NOT>.
30. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1272/2008, annettu 16 päivänä joulukuuta 2008, aineiden ja seosten luokituksista, merkinnöistä ja pakkaamisesta sekä direktiivien 67/548/ETY ja 1999/45/EY muuttamisesta ja kumoamisesta ja asetuksen (EY) N:o

- 1907/2006 muuttamisesta (CLP-asetus), EUVL L 353, 31.12.2008. Saatavana osoitteessa <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp/legislation>.
31. Schneider, T., Jansson, A., Jensen, K. A., Kristjansson, V., Luotamo, M., Nygren, O., Skaug, V., Thomassen, Y., Tossavainen, A., Tuomi, T., Wallin, H., "Evaluation and control of occupational health risks from nanoparticles", *TemaNord* 2007: 581, Pohjoismaiden ministerineuvosto, Kööpenhamina, 2007. Saatavana osoitteessa [http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at\\_download/publicationfile](http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile).
  32. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands*, julkaistu Nano4All-sivustolla, 15. lokakuuta 2008.
  33. Itävallan työsuojelulaitos (ACLI), *Use of Nano at the Workplace*, 2009. Saatavana osoitteessa [http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano\\_Untersuchung.pdf](http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano_Untersuchung.pdf).
  34. SafeWork Australia, *An Evaluation of MSDS and Labels associated with the use of Engineered Nanomaterials*, 2010. Saatavana osoitteessa <http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP201006EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx>.
  35. van Broekhuizen, F. A., van Broekhuizen, J. C., *Nanotechnology in the European Construction Industry – State of the art 2009 – Executive Summary*, Euroopan rakennus- ja puutyöväen liitto (EFBWW), Euroopan rakennusteollisuuden liitto (FIEC), Amsterdam, 2009. Saatavana osoitteessa <http://www.efbww.org/pdfs/Nano%20-%20GB%20Summary.pdf>.
  36. Euroopan kuluttajaliitto (BEUC), *Inventory of Products Claiming to Contain Nano-silver Particles Available on the EU Market*, 2012. Saatavana osoitteessa <http://www.beuc.org/beucnoframe/Common/GetFile.asp?PortalSource=2530&DocID=24222&mfd=off&pdoc=1> (19. lokakuuta 2012).
  37. National Library of Medicine, Consumer Product Information Database, *The Household Products Database*, 2011. Saatavana osoitteessa <http://www.beuc.org/beucnoframe/Common/GetFile.asp?PortalSource=2530&DocID=24222&mfd=off&pdoc=1> (19. lokakuuta 2012).
  38. Euroopan komissio, *Commission Staff Working Paper - Types and uses of nanomaterials, including safety aspects - Accompanying the Communication from the Commission to the European Parliament, the Council and the European Economic and Social Committee on the Second Regulatory Review on Nanomaterials*, SWD(2012) 288 final, 2012. Saatavana osoitteessa <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>.
  39. Komission asetus (EU) N:o 453/2010, annettu 20 päivänä toukokuuta 2010, kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista annetun Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EY) N:o 1907/2006 (REACH) muuttamisesta, EUVL L 133, 31.5.2010.
  40. Euroopan kemikaalivirasto (ECHA), Käyttöturvallisuustiedotteiden laatimista koskevat ohjeet, joulukuu 2011. Saatavana osoitteessa [http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds\\_fi.pdf](http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds_fi.pdf).
  41. Nunes, I. L., "The nexus between OSH and subcontracting", *Work: A Journal of Prevention, Assessment and Rehabilitation*, 2012, 41, liite 1, s. 3062–3068.
  42. Alankomaiden sosiaali- ja työministeriö, *Stoffenmanager 4.5*, ei päiväystä. Saatavana osoitteessa <https://www.stoffenmanager.nl/> (hollanti, englantia ja suomi), 3. joulukuuta 2012.
  43. Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft (BG BAU), *Gefahrstoff-Informationssystem der BG BAU – GISBAU* (BG-BAU:n varallisten aineiden tietokanta). Saatavana osoitteessa <http://www.gisbau.de/index.html> (3. joulukuuta 2012).
  44. Golanski, L., Guillot, A., Tardif, F., *Are Conventional Protective Devices such as Fibrous Filter Media, Respirator Cartridges, Protective Clothing and Gloves also Efficient for Nanoaerosols?*, DR-325/326-200801-1, Nanosafe2, 2008. Saatavana osoitteessa [http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf).
  45. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, "Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche – Ein Betriebsleitfaden", *Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech*, Band 11, 2009. Saatavana osoitteessa [www.hessen-nanotech.de](http://www.hessen-nanotech.de).

46. Klenke, M., *First Results for Safe Procedures for Handling Nanoparticles*, DR-331 200810–6, Nanosafe2, 2008. Saatavana osoitteessa [http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf).
47. Dyrba, B., *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben (Explosion Protection: Need for Action for Nano Dusts)*, ei päiväystä. Saatavana osoitteessa <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (3. joulukuuta 2012).
48. Institute of Technology (OAWITA), *Assessment of the Austrian Academy of Science*, 2010. Saatavana osoitteessa <http://epub.oeaw.ac.at/ita/nanotrust-dossiers/dossier016en.pdf> (10. kesäkuuta 2011).

## Lisätietoa

- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA), Tapaustutkimusten verkkotietokanta, 2012. Saatavana osoitteessa [http://osha.europa.eu/en/practical-solutions/case-studies/index\\_html/practical\\_solution?SearchableText=&is\\_search\\_expanded=True&getRemoteLanguage=en&keywords%3Alist=nanotechnology&nace%3Adefault=&multilingual\\_thesaurus%3Adefault=&submit=Search](http://osha.europa.eu/en/practical-solutions/case-studies/index_html/practical_solution?SearchableText=&is_search_expanded=True&getRemoteLanguage=en&keywords%3Alist=nanotechnology&nace%3Adefault=&multilingual_thesaurus%3Adefault=&submit=Search) (23. heinäkuuta 2012).
- Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IGBCE), *Nanomaterialien – Herausforderung für Arbeits- und Gesundheitsschutz*, Hauptvorstand, 2011. Saatavana osoitteessa <http://www.igbce.de/download/15044-15052/2/nanomaterialien.pdf>.
- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA), *Safe Maintenance in Practice*, 2010. Saatavana osoitteessa <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/safe-maintenance-TEWE10003ENC/view>.
- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA), *Magazine 12. – Healthy Workplaces. A European Campaign on Safe Maintenance*, 2011. Saatavana osoitteessa <http://osha.europa.eu/en/publications/magazine/12/view>.
- Euroopan työterveys- ja työturvallisuusvirasto (EU-OSHA), "Kunnossapidon turvallisuus ja työnantajat – Turvallinen työ: selvää säästöä", *Facts 89*, 2011. Saatavana osoitteessa <https://osha.europa.eu/fi/publications/factsheets/89>.
- Health and Safety Executive (HSE), *Risk Management of Carbon Nanotubes*, Crown, 2009. Saatavana osoitteessa [www.hse.gov.uk/pubns/web38.pdf](http://www.hse.gov.uk/pubns/web38.pdf).