

# NANOhiukkanen

■ Ihmisen elimistöön tunkeutuneet nanohiukkaset voivat aiheuttaa Alzheimerin tautia, osoittaa tuore tutkimustulos. Tieto on kuitenkin vain jäävuoren huippu: nanoteknologian riskejä ei vielä tunneta juuri lainkaan.

Jari Koponen

Muutama millimetrin miljoonasosa. Pienenpienen, silmille näkymättömän hitusen ei uskoisi voivan koitua vaaraksi hiirellekään, saati ihmiselle. Koko kuitenkin hämää. Pahaan paikkaan, esimerkiksi aivoihin tunkeutunut nanopartikkeli voi olla piilevä aikapommi.

Aivoissa hiukkasesta saattaa muodostua keskus, joka kerää ympärilleen proteiiniplakkia. Säikeiset plakit puolestaan ovat osallisina monissa vaikeissa sairauksissa, kuten dementiaan johtavassa, parantumattomassa Alzheimerin taudissa.

Hiilinanoputket ja fullereenit on testeissä todettu varsin vaarattomiksi silloin, kun ne eivät hiilen lisäksi sisällä mitään muuta. Normaalisti partikkeleissa on kuitenkin epäpuhtauksia tai niihin kiinnittyneitä yhdisteitä, jotka tekevät ne hyvinkin reaktiivisiksi.

Ongelmia syntyy reaktiivisten nanohiukkasten tuottamista suurista määristä happiyhdisteitä, joita elimistön omat antioksidantit eivät pysty neutraloimaan. Hapetusmyrkytys eli oksidatiivinen stressi

saattaa johtaa soluvaurioihin ja ne puolestaan keuhkotulehduksiin, verenkiertoelimistön häiriöihin ja moniin muihin vakaviin sairauksiin.

Helpoiten nanopartikkelit pääsevät elimistöön keuhkojen kautta. Asia on todennettu eläinkokeissa muun muassa titaani- ja piidioksidi-, metalli- ja metallioksidipartikkelien sekä hiilinanoputkien osalta. Huolta ovat herättäneet erityisesti mangaanihiukkaset, jotka ujuttautuvat nenän hajuepiteelin hermopäätteiden kautta aivoihin.


Jotkut hiukkaset päätyvät suusta ruuansulatuselimiin. Osa kykenee puhkaisemaan itselleen reitin suoraan ihon läpi. Elimistössä hiukkaset kulkeutuvat veren, imunesteen ja hermojen välityksellä kaikkialle.

Nanopartikkelien mahdollisia haittoja on toistaiseksi tutkittu lähinnä soluviljely- ja eläinkokein. Vaikka testien tuloksia ei voidakaan suoraan laajentaa koskemaan ihmisiä, näyttöä nanomateriaalien potentiaalisesta vaarallisuudesta on riittävästi. Nanomateriaaleille tulee siksi luoda samanlaiset turvamääräykset kuin kemikaaleillekin. Toistaiseksi tavoitteesta ollaan vielä kaukana.

### Riskit selville

Nanomateriaalien tuotanto- ja teollisuusikäyttö on vahvassa kasvussa. Tietomme materiaalien terveys- ja ympäristöhaitoista sekä altistusrajoista ovat kuitenkin hyvin vähäiset. Riskit pitäisikin selvittää mahdollisimman kattavasti ennen kuin nanoteknologia ja sen tuotteet tulevat laajamittaiseen kuluttajakäyttöön.

Muutamasta joihinkin satoihin nanometreihin vaihteleva koko antaa hiukkasille ominaisuuksia, joita kemikaaleilla ei ole. Kun kemikaalien riskit voidaan määritellä niiden fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien ja pitoisuuksien avulla, nanopartikkelien riskejä arvioitaessa on otettava huomioon suuri joukko muita ominaisuuksia.



“Aivoihin tunkeutunut nanopartikkeli voi olla piilevä aikapommi.”



## ”Riskitutkimus pahasti jäljessä”

Nanoteknologian turvallisuuteen liittyvä tutkimustoiminta on Suomessa paljolti keskittynyt Työterveyslaitokseen (TTL). Uudet teknologiat ja riskit -ryhmän johtajana toimiva professori **Kai Savolainen** on mukana miltei kaikissa alan projekteissa.

Nanoturvallisuuden tutkimusalan hän määrittelee ”nanohiukkasten ihmisten terveydelle tai ympäristölle aiheuttamien mahdollisesti haitallisten vaikutusten tutkimukseksi”. Tätä tutkimustyötä tehdään Savolaisen mukaan Suomessa joko Työterveyslaitoksessa tai sen koordinoimana eri yhteistyökumppanien kanssa.

Tutkimustyön rahoittajia ovat Suomen Akatemia ja Työsuojelurahasto. Tekesin FinNano-ohjelmassa toimii turvallisuus- ja standardisointiryhmä, jonka puheenjohtajana Savolainen toimii.

”Tiedossani ei ole yhtään Tekesin rahoittamaa nanoturvallisuuden tutkimusprojektia”, Savolainen sanoo. ”Se on tietysti ymmärrettävää, koska Tekes rahoittaa sitä, mikä kiinnostaa teollisuutta. Ja teollisuus näkee helposti tämäntapaiset tutkimukset pelkinä kuluerinä.”

### Kansainvälistä yhteistyötä

Työterveyslaitos on mukana myös alan kansainvälisessä yhteistyössä. Laitos koordinoi EU:n edellisen puiteohjelman NanOsh-hanketta, jossa tutkitaan nanopartikkelien aiheuttamia keuhko- ja perimävaurioita. Kyseessä on 2,5 miljoonan euron projekti, jota Kai Savolainen vetää. TTL järjesti viime joulukuussa Helsingissä NanOsh-kongressin, johon otti osaa parisataa alan tutkijaa 29 maasta.

Nykyisessä puiteohjelmassa on juuri hyväksytty rahoitettavaksi Nanodevice-hanke, joka myös on Savolaisen koordinoima. Tässä 9,5 miljoonan euron hankkeessa on mukana on 26 osanottajaa, muun muassa eurooppalainen suuryritys BASF.

Hankkeen tavoitteena on kehittää uusia mittalaitteita, referenssimateriaaleja ja kalibrointeja. Tarkoitus on myös tuot-

taa käsikirja nanoturvallisuudesta ja luoda maailmanlaajuisesti keskustelupaikaksi Nanosafety-foorumi, jossa olisi mukana kolmekymmentä alan organisaatiota ympäri maailmaa.

### Myös teollisuus mukaan

TTL:ssä on alan kansalliselle tutkimukselle määritelty kaksi painopistettä. Ensimmäinen on altistusten tutkiminen ja työssä tarvittavien mittalaitteiden kehittäminen. ”Koska helppokäyttöiset laitteet vielä puuttuvat, hankalammilla laitteilla täytyy tehdä altistusmittauksia niin laajalti kuin mahdollista”, toteaa Savolainen.

Toinen painoalue on nanopartikkelien keuhkoihin ja perimään kohdistuvien vaikutusten tutkiminen. Tätä työtä TTL:ssä tehdään solu- ja eläinkokein. Savolainen uskoo, etteivät suurimmat altistusriskit liity niinkään nanopartikkelien tuotantoon vaan niiden käyttöön esimerkiksi kosmetiikassa, automaalauksessa tai urheiluvälineissä.

Koska nanopartikkelien käyttö yleistyy vääjäämättä myös Suomessa, Savolainen kaipaisi teollisuutta mukaan altistustutkimuksiin jo nyt. ”Riskitutkimus on tätä nykyä ainakin kymmenen vuotta jäljessä nanoteknologian yleisestä kehityksestä. Altistustutkimuksia tarvittaisiin nopeasti, jotta tiedeyhteisö ja viranomaiset pystyisivät määrittelemään riskejä ja niiden rajoja”, Savolainen toteaa ja

perää myös valtioneuvostotasolla päätettävää nanoteknologiastrategiaa Suomelle.

”Nanoteknologian kasvu on ollut ennusteita nopeampaa. Poliitikoille ei ilmeisesti ole vielä valjennut, että myös selvittämättä jäävien riskien määrä kasvaa samaa vauhtia. Kansallisella strategialla voitaisiin myös riskitutkimukselle taata sen ansaitsema asema nanoteknologian kehityksessä.”



Tuulikki Holopainen

**Kai Savolainen vaatii korkean tason kansallista nanoteknologiastrategiaa. ”Alan kasvu on ollut nopeaa. Poliitikoille ei ilmeisesti ole vielä valjennut, että selvittämättä jäävien riskien määrä kasvaa samaa vauhtia.”**

## ”Ympäristön kautta altistuminen voi pahimmillaan tavoittaa koko väestön.”



Tällaisia ominaisuuksia, jotka voivat vaihdella myös saman materiaalin eri kokoluokissa, ovat muun muassa muoto, kiderakenne, varaus, reaktiivisuus, pintaan kiinnittyneet yhdisteet, liukoisuus sekä taipumus muodostaa suurempia ryppäitä joko samanlaisten tai erilaisten hiukkasten kanssa. Samastakin materiaalista valmistetuille partikkelityypeille on riskit arvioitava jokaiselle erikseen.

Myös materiaalin elinkaaren kaikille vaiheille tulee luoda omat turvanorminsa. Ensimmäisessä ja toisessa vaiheessa eli materiaalien valmistuksessa ja siirrossa tuotantoprosesseihin mahdollinen altistumiskohde on suppea työntekijäjoukko. Vastuu sen turvallisuuden valvonnasta kuuluu työsuojeluviranomaisille. Kolmannessa vaiheessa tapahtuu jakelu kuluttajille ja tuotteen käyttö. Viimeisenä vaiheena on tuotteen poistaminen jätteestä.

Materiaalin käyttöturvallisuus, päätöt ympäristöön ja ympäristövaikutukset on kyettävä kartoittamaan joka vaiheessa. Nanotuotteiden käyttäjät muodostavat työntekijöitä paljon suuremman ryhmän, ja ympäristön kautta altistuminen voi pahimmillaan tavoittaa koko väestön.

### Vaarat hallintaan

Vaarallisuus on materiaalin ominaisuus, johon ei voida vaikuttaa. Esimerkiksi rikkihappo on sinänsä vaarallinen aine. Vaarallisia ovat lumihiuhtaleetkin; tappavathan lumivyöryt ihmisiä.

Vaarallisuuden aiheuttamia vahinkoja voidaan säädellä riskienhallinnan avulla eli vahingon todennäköisyyden minimoinnilla: rikkihappoa on säilytettävä ja käsiteltävä oikein, ja lumivyöryvaroitukset on syytä ottaa tosissaan.

Kun nanomateriaalin vaarallisuus on todettu esimerkiksi toksikologisilla kokeilla, voidaan siirtyä riskienhallintaan. Nanomateriaalien yhteydessä se tarkoittaa aineelle altistumisen todennäköisyyttä yhdistettynä altistusannosten suuruuteen ja altistustuheyteen. Altistuminen on vaarallisen aineen pitoisuuden ja altistumisajan yhdistelmä, ja annos puolestaan biologiseen systeemiin päätyvän vaarallisen aineen määrä.

Kaikki kemikaaleille kehitetyt riskienhallintamenetelmät eivät kuitenkaan sellaisinaan sovi nanomateriaaleille. Kemikaaleilla esimerkiksi annos määritellään painoyksikköinä tilavuudessa. Nanomateriaaleilla altistuminen korreloikin usein

## EU:n myllyt jauhavat hitaasti

Euroopan unionissa nanoteknologian riskien arviointi kuuluu Terveystieteiden ja kuluttajansuojelun pääosastolle, jonka organisaatiossa on useita itsenäisiä tieteellisiä komiteoita. Ne antavat lausuntoja komissiolle, joka taas esittää tarpeelliseksi katsomansa toimenpiteet hyväksyttäväksi EU:n parlamentille.

Riskeihin komissio on ottanut kantaa Nanoteknologian toimintasuunnitelmassa 2005–2009. Siinä komissio katsoo välttämättömäksi, että nanoteknologiaan liittyvät turvallisuusongelmat yksilöidään ja niihin puututaan mahdollisimman varhaisessa vaiheessa.

Lisäksi komissio tukee riskejä selvittävää tutkimusta ja haluaa kansainvälisen yhteistyön avulla kehittää riskinar-

vointi- ja -hallintamenettelyjä. Komissio aikoo myös esittää tarpeellisia muutoksia EU-säädöksiin.

Tarvittavaa tietoa tuotetaan toimintaelimissä. Niitä ovat muun muassa uusia terveysriskejä käsittelevä tiedekomitea SCENHIR ja kulutustavaroiden tiedekomitea SCCP.

Alan tutkimusta tehdään komission tutkimuskeskuksessa. Seitsemännessä puiteohjelmassa nanoriskien tutkimusta rahoitetaan noin 30 miljoonalla eurolla.

Ohjelman ensimmäisen seurantaraportin mukaan useimmat tavoitteista ovat vielä harkinta-asteella. Esimerkiksi uusin sääntelytoimenpiteiden tarpeen osalta on päädytty siihen, että periaatteessa nykyinen lainsäädäntö on kattava, mutta sitä

## Viisi haastetta

Nanoriskien kartoitus on edellyttänyt teidenvälisiä yhteistyötä ja laajaa kansainvälistä yhteistoimintaa. Tunnettu tutkija **Andrew Maynard** kollegoineen julkaisi hiljattain alan viisi suurinta haastetta, jotka tulisi ratkaista viiden toista seuraavan vuoden aikana.

Ensimmäinen, välitön haaste on luoda laajoja strategisia ohjelmia. Ohjelmien on perustuttava kansainväliselle yhteistyölle ja koordinaatiolle sekä laajapohjaiselle tiedonvälitykselle.

Toisena haasteena on kehittää laitteita nanopartikkelien mittaamiseksi ilmassa ja vedestä. Emme vielä edes varmasti tiedä, mikä kulloinkin olisi tärkein mitattava ominaisuus: lukumäärä, pinta-ala, massa vai jokin muu.

Eniten tarvitaan halpoja, helposti liikuteltavia altistusta mittaavia laitteita työterveystutkimuksiin. Kipeä tarve on myös laitteille, joilla mitataan nanohiukkasia ympäristöstä. Ilman niitä nanomateriaalien ympäristövaikutusten arviointi on mahdotonta.

Tulevaisuudessa tarvitaan myös automatisoituja sensorisysteemejä, jotka

tarkkailevat esimerkiksi ilman tai veden nanohiukkaspitoisuuksia ja antavat raja-arvojen ylittyttyä hälytyksen.

Kolmantena haasteena on rakentaa luotettavia menetelmiä nanomateriaalien ympäristövaikutusten arvioimiseksi niiden koko elinkaareltä raaka-aineen tuotannosta jätteeksi.

Neljäs suuri haaste on kehittää uusia myrkyllisyydestejä. Niihin kuuluvat muun muassa nopeat seulontamenetelmät, joilla voidaan testata tuhansien erilaisten partikkelien toksisuutta.

Viimeisenä tulee toksisuusmallien luominen. Niiden avulla voitaisiin tulevaisuudessa ennustaa partikkelien myrkyllisyyttä.

Viiteen haasteeseen vastaaminen on edellytys turvallisen nanoteknologian synnylle. Turvallisuustutkimukseen käytetään kuitenkin vain muutama prosentti nanoteknologian kokonaisrahoituksesta. Sillä ei tavoitteeseen päästä.

Asbestin myrkyllisyyden kaltaisten yllätysten toistumiseen ei kuitenkaan luulisi enää olevan varaa.

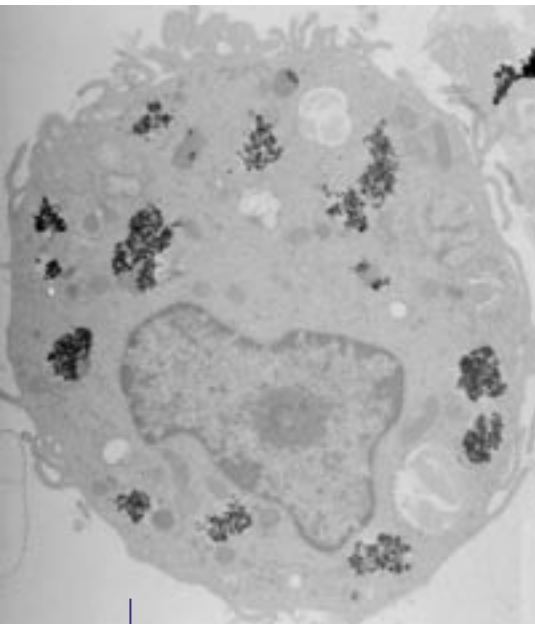
massan sijasta partikkelien pinta-alaan.

Nanohiukkaset ovat samaa kokoluokkaa kuin monet biologiset perusrakenteet, ja niillä on paljon biologisesti vaikuttavia ominaisuuksia. Hiukkasilla voi siten olla lukemattomia erilaisia vaikutuksia elimistössä, mikä tekee niiden toksikologian hankalaksi.

Kun kemikaalien toksikologisissa tes-

teissä normaalisti riittää kahden tai kolmen fysikaaliskemiallisen ominaisuuden huomioiminen, nanopartikkeleille on ehdotettu jopa kuudentoista ominaisuuden selvittämistä.

Jari Koponen on kemisti, tietokirjoittaja ja nanoteknologiaan erikoistunut vapaa toimittaja.



Työterveyslaitos

Elektronimikroskooppikuva keuhkojen makrofagista eli elimistön puolustuksessa toimivasta suuri-kokoisesta syöjäsolusta. Mustat kerääntymät koostuvat nanokokoisista titaanioksidipartikkeleista.

on täydennettävä.

Varausklausuulissa annetaan kuitenkin mahdollisuus ehdottaa muutoksia, jos riittävän painavia tieteellisiä näyttöjä ilmenee.

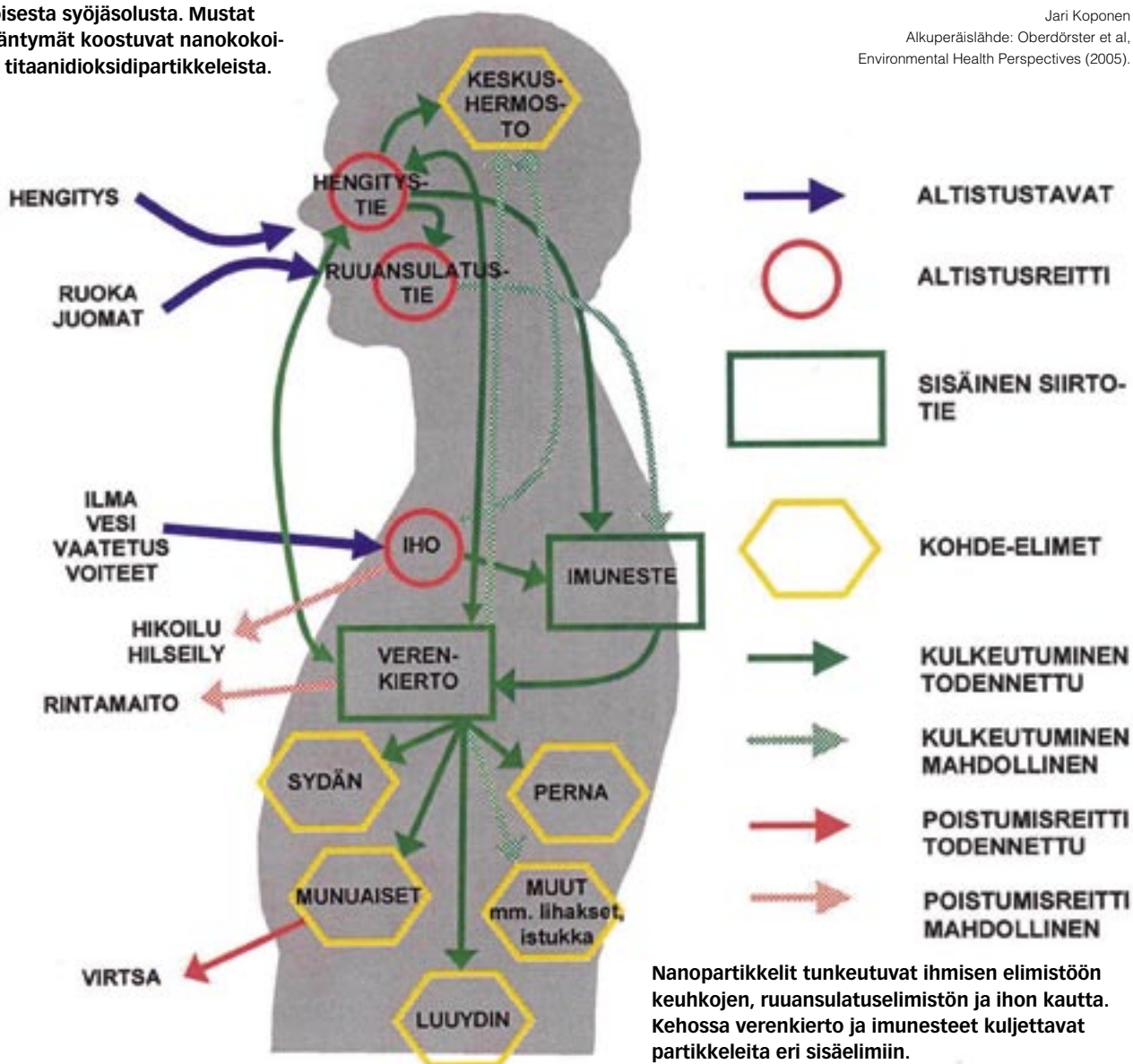
### Aseeton Reach

SCENHIRIN mukaan nykyisissä riskinarviointimenetelmissä on puutteita, jotka on korjattava. Erityisesti nykytiedot nanohiukkasten toksikologiasta ja ympäristötoksikologiasta ovat puutteelliset. SCCP suosittelee, että aurinkovoiteissa käytettävien nanomateriaalien turvallisuutta on uusien tietojen perusteella arvioitava uudelleen.

Nanomateriaalit kuuluvat periaatteessa kemikaaliasetus Reachin piiriin. Kemikaalien valmistajia ja maahantuojia koskeva säännöstö on kuitenkin käytännössä niiden suhteen voimaton, sillä arviointiin tarvittavia tietoja ei ole saatavilla.

Reach onkin toistaiseksi odottavalla kannalla, ja esimerkiksi hiilinanoputkia voidaan edelleen käyttää kuten grafiittia – ovathan molemmat hiiltä.

Kaikki eivät kuitenkaan odottele lainsäädännön pakkoa: jotkin yritykset ovat vapaaehtoisesti luoneet nanomateriaalien turvallista käyttöä koskevia käytäntöjä ja ohjeita. Edelläkävijöitä ovat suuret eurooppalaiset BASF ja Bayer, Suomessa esimerkiksi käy Beneq. □



Jari Koponen  
Alkuperäislähde: Oberdörster et al, Environmental Health Perspectives (2005).

Nanopartikkelit tunkeutuvat ihmisen elimistöön keuhkojen, ruuansulatuselimistön ja ihon kautta. Kehossa verenkierto ja immunesteet kuljettavat partikkeleita eri sisäelimiin.