

Epävarmuus ja nanomateriaalit

■ Arho Toikka, Nina Honkela ja Janne I. Hukkinen

Työterveyslaitoksen tutkimusprofessori Kai Savolainen kirjoitti oivallisesti teollisesti tuotetuista nanomateriaaleista ja niihin liittyvistä riskeistä (*Tieteessä tapahtuu* 1/2013). Savolainen on oikeassa siinä, että riskitutkimus laahaa perässä eikä nykyisillä menetelmillä saada kerättyä sääntelyn vaatimia todisteita materiaalin turvallisuudesta tai turvattomuudesta. Turvallisuuteen tähtäävä lainsäädäntömme ja erityisesti Euroopan unionin kemikaalilainsäädäntö REACH on rakennettu oletukselle epätietoisuuden kutistamisesta riskiksi, eli tarkaksi laskelmaksi haitallisista vaikutuksista ja niiden todennäköisyyksistä.

Todellisuudessa Savolaisen kuvaama ongelma, eli riskitutkimuksen jääminen jälkeen tieteen ja teollisuuden tuotoksista, on kuitenkin krooninen tila. Esitämme perustelut tälle diagnoosille sekä luonnostelemme hoitosuunnitelmaa. Diagnoosin perusteena on ymmärrys siitä, kuinka moniulotteinen ilmiö epätietoisuus itse asiassa on. Lääkkeenä on parempi ymmärrys siitä, millaisia luontaisia kykyjä ihmisillä on toimia epätäydellisen tiedon vallitessa.

Sussexin yliopiston tiede- ja teknologiapolitiikan professori Andrew Stirling jakaa epävarmuuden kahteen ulottuvuuteen sen mukaan, liittyykö tilanteeseen epätietoisuutta lopputulmien vai todennäköisyyksien suhteen (taulukko 1). Kemikaalilainsäädännön ja myös Savolaisen tekstin ongelmat liittyvät siihen, että 1) oletetaan, että epävarmuuden haltuunotto riskinä on aina mahdollista tai 2) käyttäydytään ikään kuin tieto toisenlaisessa tilanteessa vaatisi vain yksinkertaista riskinhallintaa.

Nanomateriaaleihin liittyy kuitenkin muutakin epätietoisuutta. Joissain tapauksissa mahdolliset haitat tunnetaan, mutta niiden toteutumisen todennäköisyydestä ei ole esittäviä perusteltuja arvioita (lohko 2 taulukossa 1). Nanomaailmassa esimerkkejä tämääntyypillisistä tilanteista on esimerkiksi nanohiiliputkien ja asbestin samankaltaisuudesta nousevat huolet tai nanohopean päätyminen ympäristöön ja jätevesilietteeseen. Näissä tapauksissa epätietoisuus voidaan usein palauttaa riskiksi (ongelma 1), mutta riskinhallinnassa ei voida olettaa, että näin olisi jo tehty (ongelma 2). Nanohiiliputkista tiedetään jo, minkälaiset putket voivat aiheuttaa haittoja, vaikka eläinkokeilla saadusta tiedosta ei vielä pystytä arvioimaan työterveystason todennäköisyyksiä. Nanohopean tiedetään olevan antibakteerista. Tätä ominaisuutta käytetään monissa kuluttajatuotteissa, kuten sukissa, joista se voi päätyä vesihuoltoon. Jäteveden puhdistus taas perustuu bakteereihin, ja on epävarmaa, voisiko nanohopea kertyä puhdistamoihin sellaisissa määrin, että nämä hyödylliset bakteerit tapettaisiin. Erilaisilla elinkaarianalyysillä saadaan tärkeää tietoa nanohopean kulkeutumisesta, mutta tarkat todennäköisyydet jäävät määrittelemättä: kahdessa antibakteerisessa sukassa saattaa olla sama määrä hopeaa, mutta toinen päästää kaiken hopean ensimmäisessä pesussa, kun taas toisessa hopea on ja pysyy kankaassa itsessään.

REACHin lähestymistapa on virallisesti varovaisuusperiaatteen mukainen ”No data, no market” -periaate. Todellisuudessa periaatteen tiukka soveltaminen ei ole mahdollista, koska se

Taulukko 1. Nanomateriaaleihin liittyvien epävarmuuksien käsitteellistämistä Stirlingin ja Geen (2002) jaottelun mukaan.

Epävarmuuden luokittelu	Lopputulemat tunnettuja	Lopputulemat tuntemattomia
Todennäköisyydet tunnettuja	1. Riski	3. Monitulkintaisuus Nanomateriaalin hallinnollinen määrittely
Todennäköisyydet tuntemattomia	2. Epätietoisuus Nanohiiliputket ja asbesti Nanohopea ja jätevesiliite	4. Tietämättömyys Tuntemattomat elinkaaret Veri-aivoesteen läpäisy? Harmaa mönjä -skenaariot?

johtaisi joko markkinoiden tai lainsäädännön täydelliseen pysähtymiseen. Hyvän riskinhallinnan kannalta olisikin ensiarvoisen tärkeää panostaa parempien analyysitekniikoiden ohella myös parempaan epävarmuuden ymmärtämiseen esimerkiksi herkkyysanalyysillä ja monipuolisempaan tiedon käyttöön esimerkiksi laajemmilla skenaarioanalyysillä. Skenaariot kuvaavat vaihtoehtoisia polkuja tulevien epävarmuuksien toteutumiselle.

Vielä hankalampi tilanne on kuitenkin silloin, kun on epäselvää, mitä haitalliset vaikutukset mahdollisesti voisivat olla (lohko 3 taulukossa 1). Joskus riskiarviot ja toksikologinen testaaminen ovat mahdollisia, vaikka tarkkaa kuvaa siitä, mitä testataan ja miksi, ei ole vielä muodostunut. Nanotutkimuksessa tämä erikoinen tilanne syntyy nanomateriaalien hallinnollisen määrittelyn vaikeudesta. Toksikologinen sääntely perustuu perinteisesti kemialliseen koostumukseen, jolloin kaksi ainetta luokitellaan samaksi tai eri aineeksi koostumuksen perusteella. Nanomateriaaleissa tämä tunniste ei kuitenkaan toimi: luokittelut eivät erottele riskiprofililtaan erilaisia saman aineen muotoja, kuten esimerkiksi hiilen monipuolisia muokkausvaihtoehtoja. Nanomateriaalien hallintaan onkin ehdotettu käytettäväksi painon rinnalle jopa kymmentä eri ominaisuutta kynnysarvoineen riskinhallintatoimenpiteiden käynnistäjäksi (Malkiewicz ym. 2011). REACHin soveltuvuutta nanomateriaaleihin pohtimaan asetettiin työryhmiä, joista yhden tehtäväksi tuli määrittellä tiettyjä nanomateriaaleja hallinnollisiin tarkoituksiin (RIP-oN 1

2011). Kolmessa tapaustutkimuksessa neljästä asiantuntijaryhmä ei kuitenkaan saavuttanut tieteeseen nojaavaa yksimielisyyttä siitä, millä kriteereillä nanoversiot pitäisi erotella saman aineen normaaliversioista. Tämä ei tietenkään tarkoita, ettei nanotitaanidioksidi olisi todellinen tai ettei purkillista ainetta voisi tilata laboratorioon kokeita varten – tulokset eivät vain ole yleistettävissä hallinnon ja sääntelyn vaatimalla tavalla.

Asiantuntijaryhmän johtopäätös onkin tyylikäs esimerkki siitä, mitä tapahtuu, kun epävarmuus on monitulkintaista. Ongelmia ei voi ratkaista vain teknisin tai tieteellisin perustein, vaan ne ovat pohjimmiltaan poliittisia kysymyksiä (RIP-oN 1 2011, 65). Arvokeskustelu ei ole erotettavissa sääntelyä koskevasta keskustelusta.

Vielä hankalampia ovat tilanteet, joissa sekä lopputulokset että todennäköisyydet ovat hämärän peitossa (lohko 4 taulukossa 1). Riskinhallinnan ”mustat joutsenet” (Taleb 2010) ovat hyvin epätodennäköisiä mutta vaikutuksiltaan valtavia tapahtumia, jotka vasta jälkikäteen näyttävät selitettäviltä ja ennustettavilta. Nanoteknologian alalla potentiaalisia mustia joutsenia on etsitty tieteiskirjallisuudelta kuulostavista skenaarioista, joissa esimerkiksi itseään loputtomasti monistavat nanorobotit peittävät maan harmaana mönjänä (Drexler 1986). Vaikka ajatusleikin toteutuminen on epätodennäköistä, nanotutkijat ovat harmistuneet skenaarion saamasta julkisuudesta (Giles 2004). Luultavasti jokin tällä hetkellä tuntematon nanohaitta on kuitenkin todellinen. Dystopiat voivat olla hyödyllisiä työkaluja varautumisessa.

Uskottavampia skenaarioita nanomaailman mustille joutsenille on etsitty esimerkiksi veri-aivoesteen läpäisystä ja ympäristötoksikologialle aiemmin tuntemattomista kulkeutumispoluista. Näillä keinoilla nanoaineet voisivat päätyä paikkoihin, joissa niiden vaikutuksia ei ole voitu testata. Tuntematon voi olla myös aivan silmiemme alla, sillä nykyiset testausmenetelmät voivat tuottaa täysin päinvastaisia tuloksia nimellisesti samalle materiaalille (*Nature Nanotechnology* 2011). Oli tuntematon mekanismi mikä hyvänsä, se asettaa tiukasti tiedepohjaisen sääntelyn kyseenalaiseksi. Jos voidaan varautua vain tunnettuihin riskeihin, aina jotakin livahtaa läpi.

REACHin varovaisuusperiaatteen sovellus ja tiettyjen haitallisten ominaisuuksien perusteella vaadittavat tiukemmat testit yrittävät ottaa tätä tuntematonta maailmaa haltuun, mutta ainoastaan palauttamalla sitä väkipakolla tunnettuun. Rikkaampi ja totuudenmukaisempi lähestymistapa voisi löytyä esimerkiksi European Environmental Agencyn uudesta *Late Lessons from Early Warning II* -raportista (2013), joka kuvaa, miten aikaisemmista riskinhallinnan epäonnistumisista voitaisiin ottaa opiksi. Nanomaailmalle keskeinen oppitunti raportissa on kehoitus madallata raja-aitoja tieteen- ja hallinnonalojen välisen tiedon hyödyntämiselle.

Raportin toinen tärkeä ohje varoittaa ”analyysiparalyysistä”. Jatkuva parempien menetelmien kehitys ja lisättestaus voi pahimmillaan aiheuttaa sen, ettei mitään pystytä tekemään, koska aina voidaan tehdä vielä parempaa tutkimusta aiheesta ennen toimenpiteitä. Tämä on jo tilanne nanomateriaaleille monella tapaa analo-

gisten hormonaalisesti vaikuttavien kemikaalien kohdalla (Vogel 2004). Savolaisenkin ehdotukset riskinhallinnan työkaluiksi sisältävät tämän riskin. Vaikka testausrobotin rakentaminen (Savolainen 2013) kaikkien 50 000 mahdollisen nanohiiliputkien permutaation analysoimiseksi onnistuisikin, siihen mennessä on markkinoille jo ilmestynyt uusi ongelma. Hallintoon tulisi istuttaa herkkyyttä ja nöyryyttä tämän asian tunnistamiseksi.

Lähteet

- Drexler K. E., 1986 *Engines of creation: the coming era of nanotechnology*. Anchor-Doubleday.
- EEA, European Environmental Agency, 2013. Late lessons from early warnings: science, precaution, innovation. *European Environmental Agency Report* 1/2013.
- Giles, Jim, 2004. Nanotech takes small step towards burying ‘grey goo’. *Nature* 429, 591.
- Nature Nanotechnology, 2011. The dose makes the poison. Editorial. *Nature Nanotechnology* 6: 329.
- RIP-oN 1, 2011. *REACH Implementation Project. Substance Identification of Nanomaterials*. European Commission Joint Research Centre.
- Malkiewicz ym., 2011. Nanomaterials in REACH. Project report. Saatavana internetistä http://www.steptoec.com/assets/htmldocuments/SKEPP%202011%20Nanomaterials_in_REACH_report_15082011.pdf
- Taleb, Nassim Nicholas, 2010. *Musta Joutsen. Erittäin epätoiminnäköisen vaikutus*. Suomentanut Kimmo Pietiläinen. Terra Cognita.
- Vogel, Jason M. 2004 Tunnel vision: The regulation of endocrine disruptors. *Policy Sciences* 37: 277–303.

Valtiotieteen tohtori Arho Toikka, filosofian tohtori Nina Honkela ja filosofian tohtori ja professori Janne I. Hukkinen työskentelevät Helsingin yliopiston sosiaalitieteiden laitoksella ympäristöpolitiikan tutkimusryhmässä (*Environmental Policy Research Group*, EPRG).