

Nanoteknologia ja elintarvikkeet

Alkusanat

Kirjallisuusselvitys on aloitettu kesäkuussa 2009 Elintarviketurvallisuusvirasto Evirassa. Työ on kirjoitettu Eviran riskinarviointiyksikössä korkeakouluharjoittelussa ja raportti on valmistunut marraskuussa 2009. Raportin ohjaajana on toiminut erikoistutkija TKT Kirsi-Helena Liukkonen Eviran riskinarviointiyksiköstä. Työn alussa aiheesta on kuultu maa- ja metsätalousministeriön elintarviketurvallisuusyksikön kaupallista neuvosta Leena Mannosta. Kirjallisuusselvitykseen on saatu lisää aineistoa erikoistutkija Maria Smolanderilta Valtion teknillisestä tutkimuskeskuksesta VTT:ltä. Lisäksi kappaleessa 3 Nanopartikkeleita ja -materiaaleja on kuultu FM Mikko Lavintoa elintarviketurvallisuusvirasto Evirasta.

Iiris Lestelä

Helsingissä Marraskuussa 2009

Tiivistelmä

Nanoteknologia on tieteenala, jossa hyödynnetään nanokokoisia materiaaleja, rakenteita ja funktionaalisia toimintoja. Elintarvikkeisiin sovellettavan nanoteknologian tavoitteena on kehittää elintarvikkeille uusia ja hyödyllisiä ominaisuuksia ja toimintoja. Nanoteknologian elintarvikesovelluksia ovat mm. äly- ja aktiiviset elintarvikepakkaukset, nanokokoiset lisäaineet, nanokapselit, nanoemulsiot ja –dispersioidut, vedenpuhdistus ja nanosuodatus

Nanoteknologialla tarkoitetaan teknologiaa, jossa hyödynnetään nanokokoisia, halkaisijaltaan 1-100 nanometriä olevia ainehiteitä. Yksi nanometri (nm) on millimetrin miljoonasosa ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Nanopartikkelien erityiset ominaisuudet perustuvat niiden suureen pinta-ala/massasuhteeseen ja erityisiin fysikaaliskemiallisiin ominaisuuksiin. Nanomittakaavassa materiaalin kemialliset, fysikaaliset ja biologiset ominaisuudet ovat joko huomattavasti parempia tai täysin erilaisia verrattuna tavanomaisiin materiaaleihin. Nanopartikkelit ja –materiaalit voidaan jakaa niiden fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien mukaan hiileen perustuviin nanopartikkeleihin, dendrimeereihin, metalli-nanopartikkeleihin ja nanokokoisiin mineraaleihin, nanokomposiittimateriaaleihin sekä biomolekyyleihin ja muihin biomateriaaleihin.

Nanopartikkeleille voidaan altistua hengitysilman, elintarvikkeiden, veden ja lääkkeiden nauttimisen välityksellä tai ihon ja ympäristön kautta. Nanomateriaalit voivat kulkeutua elimistöön ravinnon mukana niitä sisältävistä elintarvikkeista. Nanopartikkeleita voi myös irrota elintarvikepakkauksista tai ruoanvalmistuksen työvälineistä. Elimistöön päästyään nanopartikkelit voivat vaikuttaa vahingollisesti useassa eri kohdassa. Nanoteknologian toksikologiset tutkimukset perustuvat nanopartikkelien vaikutusmekanismien tunnistamiseen elimistössä. Nanopartikkelien yhteisvaikutusten tunteminen on tärkeää, jotta voidaan ymmärtää nanokokoisten partikkelien toimintaa sekä elimistössä että elintarvikkeissa. Suurin osa raportoiduista oraalista *in vivo* -tutkimuksista käsittelee nanopartikkelien ja –materiaalien akuuttia toksisuutta. Vain muutamia pitkäaikaistutkimuksia on tehty. Elintarvikkeissa hyödynnettävien nanopartikkelien ja –materiaalien riskinarvioinnin tulisi olla tapauskohtaista kunnes tarvittavaa aineistoa on riittävästi.

Nanoteknologian avulla valmistettujen elintarvikkeiden turvallisuus puhuttaa viranomaisia, tutkijoita ja kuluttajia. Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen EFSA on julkaissut lausunnon teknisesti valmistettujen nanomateriaalien turvallisuudesta ja riskinarvioinnista. Lausunnon mukaan elintarvikkeiden nanosovellusten turvallisuudesta tarvitaan lisää tutkimuksia.

Kirjallisuusselvityksessä tuodaan esiin nanoteknologian mahdollisuuksia ja riskejä elintarvikkeissa ja elintarvikepakkauksissa.

Sisällysluettelo

Alkusanat

Lyhenteet

Sanasto

1 Johdanto

2 Nanopartikkelien erityiset fysikaaliskemialliset ominaisuudet

3 Nanopartikkeleita ja -materiaaleja

- 3.1 Hiileen perustuvat nanopartikkelit
 - 3.1.1 Nollaulotteiset hiilinanopartikkelit
 - 3.1.2 Yksiulotteiset hiilinanopartikkelit
- 3.2 Dendrimeerit
- 3.3 Metallin nanopartikkelit ja nanokokoiset mineraalit
- 3.4 Nanokomposiitti -materiaalit
- 3.5 Biomolekyylit ja muut biomateriaalit

4 Nanoteknologian elintarvikesovellukset

- 4.1 Elintarvikepakkaukset
 - 4.1.1 Aktiiviset elintarvikepakkaukset
 - 4.1.2 Älypakkaukset
 - 4.1.3 Nanokomposiittipakkauskalvot ja -laminaatit
- 4.2 Nanoteknologia ja elintarvikelisiä aineita
- 4.3 Nanokapselointi
- 4.4 Nanoemulsiot
- 4.5 Nanosuodatus elintarviketeollisuudessa

5 Nanopartikkelien ja -materiaalien riskit

- 5.1 Altistuminen nanopartikkeleille ja -materiaaleille
- 5.2 Nanopartikkelien ja -materiaalien toksisuus
 - 5.2.1 Toksikokinetiikka
- 5.3 Riskinarviointi

6 Nanopartikkelien analyysimenetelmät ja standardointi

7 Elintarvikkeisiin liittyvän nanoteknologian turvallisuus ja tutkimus Euroopan unionissa

- 7.1 Eu-taso
- 7.2 Esimerkkejä eri EU:n jäsenmaista
 - 7.2.1 Suomi

- 7.2.2 Irlanti
- 7.2.3 Iso-Britannia
- 7.2.4 Saksa

8 Nanoteknologia Euroopan ulkopuolella

8.1 Esimerkkejä nanoteknologian tutkimuksesta ja valvonnasta Euroopan unionin ulkopuolisissa maissa

- 8.1.1 Nanoteknologian tutkimus ja valvonta USA:ssa
- 8.1.2 Nanoteknologian tutkimus ja valvonta Kanadassa

9 Nanoteknologia tieteellisissä organisaatioissa

10 Yhteenveto

11 Lähteet

Liite 1. Esimerkkejä nanoteknologian avulla valmistetuista elintarvikepakkauksista ja –pakkausmateriaaleista

Liite 2. Esimerkkejä nanoteknologian avulla valmistetuista elintarvikkeista

Liite 3. Esimerkkejä nanoteknologian avulla valmistetuista ravitsemuslisistä

Lyhenteet

BfR	Federal Institute for Risk Assessment (Bundesinstitut für Risikobewertung), Saksa
BVL	The Federal Office of Consumer Protection and Food Safety (Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit), Saksa
CEF	The EFSA Panel on Food Contact Materials, Enzymes, Flavourings and Processing Aids, EU
CFSAN	The Center for Food Safety and Applied Nutrition, USA
CORDIS	Community Research & Development Information Service, EU
CSREES	Cooperative State Research, Education and Extension Service, USA
DEFRA	Department for Environment, Food & Rural Affairs, Iso-Britannia
EFSA	European Food Safety Authority, EU
EPA	United States Environmental Protection Agency, USA
ETUC	The European Trade Union Confederation, EU
EU	Euroopan unioni
EVIRA	Elintarviketurvallisuusvirasto, Suomi
FAO	The Food and Agriculture Organization of the United States, USA
FDA	United States Food and Drug Administration, USA
FERA	The Food and Environment Research Agency, Iso-Britannia
FOE	Friends of the Earth, Maan ystävät -organisaatio
FSA	The Food Standards Agency, Iso-Britannia
FSAI	The Food Safety Authority of Ireland, Irlanti
GRAS	Generally Recognized As Safe, FDA, USA
ILO	The International Labour Organization, USA
IOMC	The Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals
IRGC	The International Risk Governance Council, Geneve
ISO	International Organization for Standardization
KCL	Paperi-, sellu- ja pahviteollisuuden tutkimuksen Keskuslaboratorio, Suomi

LFI	Leatherhead Food International, Iso-Britannia
MMM	Maa- ja metsätalousministeriö, Suomi
NanoKTN	The Nanotechnology Knowledge Transfer Network, LFI
NANOSH	EU:n tukema nanoteknologian terveysriskejä tutkiva tutkimusprojekti, EU
NIA	The Nanotechnology Industries Association
NIOSH	Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, USA
NRCG	Nanotechnology Research Coordinated Group, Iso-Britannia
NTRC	NIOSH Nanotechnology Research Center
OECD	Organisation for Economic Co-Operation and Development
ORD	The Office of Research and Development, EPA, USA
PEN	The Project on Emerging Nanotechnologies
REACH	The Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemical substances, EU
SANCO	The Directorate General on Health and Consumer Protection in the EU
SCCP	Scientific Committee on Consumer Products, EU
SCENIHR	Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, EU
SEM	Scanning Electron Microscopy
SITRA	Suomen itsenäisyyden juhlarahasto, Suomi
SYKE	Suomen ympäristökeskus, Suomi
THL	Terveyden ja hyvinvoinnin laitos, Suomi
TEKES	Teknologian kehittämiskeskus, Suomi
TKK	Teknillinen korkeakoulu, Espoo
TEM	Transmission Electron Microscope
UNEP	The United Nations Environment Programme
UNESCO	The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNIDO	The United States Industrial Development Organization, USA

UNITAR	The United Nations Institute for Training and Research
USDA	The United States Department of Agriculture, USA
VCI	The German Chemical Industry Association, Saksa
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Suomi
WHO	The World Health Organisation
WPN	Working Party on Nanotechnology, OECD
YK	Yhdistyneet Kansakunnat (United Nations, UN)

Sanasto

Absorptio	Imeytyminen.
Adheesio	Kahden partikkelin välinen vetovoima, joka voi kasvaa partikkelikoon pienentyessä.
ADI-arvo	Päivittäinen hyväksyttävä saanti (mg/kehon painokilo/päivä), joka on turvallista nauttia ilman, että tarkasteltava aine (esim. lisäaine) aiheuttaa terveydellisiä haittavaikutuksia (Acceptable Daily Intake).
Adsorptio	Ohuen kalvon muodostuminen kiinteään aineen pintaan mm. kalvotekniikka.
Agglomeroituminen	Ryhmä nanopartikkeleita on kasautunut yhteen heikoin sidoksin (esim. van der Waalsin voimat, pintajännitys).
Aggregaatti	Kahden tai useamman nanopartikkelin kiinteästi sitoutunut kasautuma. Aggregaattien sidokset ovat usein kovalenttisiä tai metallisidoksia.
Aktiivinen elintarvikepakkaus	Pakkauksen tavoitteena on jatkaa elintarvikkeiden ikää ja laatua sekä estää elintarvikkeita kontaminoitumista elintarvikkeita pilaavilla tekijöillä.
Anataasi	Titaanidioksidin (TiO ₂) yksi kidemuoto.
Antioksidantti	Kemiallinen yhdiste, joka hidastaa tai estää hapettumista elimistössä.
Bioaktiiviset yhdisteet	Kasvien sisältämät vitamiinit, fenoliset yhdisteet, sterolit ja antioksidantit, joilla on todettu olevan terveyttä edistäviä vaikutuksia.
Biopolymeerit	Orgaanisia polymeerejä kuten proteiineja, tärkkelystä, selluloosaa, peptidejä ja ne voivat olla joko synteettisiä tai luonnon polymeerejä.
Dendrimeerit	Nanokokoisia, haarautuneita, kolmiulotteisia ja ympyränmuotoisia polymeerimolekyylejä, jotka ovat muodostuneet monitasoisesti. Dendrimeerien ominaisuuksia voidaan muuttaa ulkopintaan sitoutuneiden yhdisteiden avulla.
Dispersio	Faasiin on sekoittunut pieninä partikkeleina toista faasia.
Emulsio	Dispersio, jossa neste on sekoittunut toiseen nesteeseen pieninä partikkeleina. Ne ovat liukenemattomia toisiinsa nähden. Emulsiot voivat olla vesi-öljyssä (W/O) tai öljy-vedessä (O/W) –emulsioita.
Fullereenit	Nanokokoisia kidemuodoltaan jalkapallon muotoisia hiilipalloja, joiden halkaisija on noin 1 nm. Ne voivat kuljettaa sisällään mm. atomeja.

Hiilinanoputki	Hiilestä teknisesti valmistettu nanomittakaavan partikkeli, joka on sisältä ontto. Hiilinanoputki on rakentunut kuusikulmioisesta verkkorakenteesta. Sillä on hyvä lämmön- ja sähkönjohtokyky. Hyvät ominaisuudet toimia kantaja-aineena.
Huokoisuus	Huokoisuus on suure, joka ilmoittaa kuinka tiheään materiaali on pakkaantunut.
Huokonen	Huokoisessa materiaalissa oleva huokonen.
<i>in vitro</i> -menetelmä	Menetelmä, jossa koe suoritetaan soluilla laboratorio-olosuhteissa esim. koeputkessa tai lasimaljassa.
<i>in vivo</i> -menetelmä	Menetelmä, jossa koe suoritetaan elävässä organismissa. Yleisimpiä <i>in vitro</i> –koemalleja ovat koe-eläinmallit.
Mukosa	Ruoansulatuskanavan seinämää peittävä limakalvo. Mahasuolikanavan seinämän sisin limakalvokerros. Limakalvon rakenteen osat ovat epiteelikerros, sidekudoskerros ja ohut sileälihaskerros.
MWNT	Multi Wall Nano Tube, moniseinäinen hiilinanoputki.
Nano	SI-järjestelmän yksikön etuliite, nano (n) on 10^{-9} m, 1 nm=1/1 000 000 000 m.
Nanoemulsio	Emulsio, joka sisältää nanokokoisia partikkeleita. Nanokokoiset partikkelit parantavat emulsion pysyvyyttä.
Nanokapselointi	Kapseloidaan mm. hapettumiselle herkkiä bioaktiivisia yhdisteitä nanokokoisiin kapseleihin. Kapseloinnilla tarkoitetaan yhdisteiden tai aineiden ympäröimistä hapettumista estävillä ainesosilla.
Nanokomposiitit	Matriisiin tai massaan sulautuneita nanopartikkeleita.
Nanopartikkeli	Nanomittakaavan partikkeli (1-100 nm), joka voi olla yksi-, kaksi- tai kolmiakselialinen.
Nanosavi	Nanokomposiittimateriaali, jota polymeereihin lisäämällä voidaan parantaa biopolymeerikalvojen ominaisuuksia.
Nanoteknologia	Teknologia, joka hyödyntää nanokokoisia materiaaleja tavoitteena parantaa ja kehittää uusia materiaaleja ja toimintoja.
Nanotiede	Tarkastellee nanomittakaavan ilmiöitä. Nanotieteessä yhdistyvät mm. fysiikka, kemia, lääketiede, biotekniikka ja biokemia.
Oksidatiivinen stressi	Elimistössä tapahtuu oksidatiivista stressiä, jos hapetus-pelkistystila on epätasapainossa. Oksidatiivista stressiä voi syntyä reaktiivisten happiradikaalien reagoidessa liiallisesti ja johtaa soluvaurioihin.

Quantum dots	Nanokokoisia kvanttipistemuodostumia, jotka koostuvat useista sadoista atomeista.
Rutiili	Titaanidioksidin (TiO ₂) yksi kidemuoto.
SWNT	Single Wall Nano Tube. Hiilinanoputki, jossa on yksinkertainen seinä.
Teknisesti valmistetut nanopartikkelit	Teknisesti valmistettuja nanopartikkeleita ja joilla on uusia funktionaalisia ominaisuuksia nanokoossa.
TiO ₂	Titaanidioksidi.
Toksikologia	Tutkimusala, jossa tutkitaan vieraiden aineiden haitallisia vaikutuksia mm. elimistöön. Nanotieteessä tutkitaan nanopartikkelien toksisia ominaisuuksia elimistöön.
Toksikokinetiikka	Tutkii aineiden ja materiaalien adsorptiota, esiintymistä elimistössä, aineenvaihduntaa ja erityistä elimistössä (Absorption, distribution, metabolism, excretion (ADME)).
Å	Ångström –mittayksikkö, joka ei ole SI-järjestelmän mukainen yksikkö, 1 Å = 10 ⁻¹⁰ m = 0,1 nm = 100 ppm.
Älypakkaus	Pakkaus, joka ilmoittaa kuluttajille tai valmistajille pakkauksen olosuhteista tai laatuvirheistä.

1 Johdanto

Nanoteknologia on tieteenala, jossa hyödynnetään nanokokoisia materiaaleja, rakenteita ja funktionaalisia toimintoja. Elintarvikkeisiin sovellettavan nanoteknologian tavoitteena on kehittää elintarvikkeille uusia ja hyödyllisiä ominaisuuksia ja toimintoja. Nanoteknologian tutkimuksen ja kehityksen viedä johtuu uuden teknologian tuomista uusista mahdollisuuksista ja pienten nanopartikkelien hyvistä ominaisuuksista.

Sana "nano" on latinaa ja tarkoittaa kääpiötä. Yksi nanometri (nm) on metrin miljardisosa ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Nanohiukkaset luokitellaan 1-100 nm:n kokoisiksi partikkeleiksi, joilla on normaalihiukkasiin verrattuna erilaisia ominaisuuksia. Myös hieman yli 100 nm:n kokoiset materiaalit tulisi luokitella nanomateriaaleiksi, sillä niiden ominaisuudet hyvin usein muistuttavat alle 100 nm kokoisten partikkelien ominaisuuksia. Nanopartikkelit esiintyvät hyvin yleisesti kasautuneina yhteen eli ne agglomeroituvat ja muodostavat aggregaatteja. Biologian alueella nanoluokka on tunnettu jo pitkään. Ihmisen DNA -ketjun pituus on noin 3 nm, ribosomien koko noin 20 nm ja hiuksen paksuus on noin 100 000 nm. Nanokokoisilla partikkeleilla on ainutlaatuisia fysikaaliskemiallisia ominaisuuksia johtuen niiden pienestä koosta (Groves 2008). Nanoteknologiaa hyödyntäviä tuotteita on runsaasti markkinoilla. Tällaisia tuotteita ovat mm. nanokokoisia titaanidioksidipartikkeleita sisältävät aurinkovoiteet, nanohopeaa sisältävät antimikrobiset asusteet sekä nanoteknologiaa hyödyntävät ruoanvalmistusvälineet ja elektroniikka.

Nanoteknologian kehitys alkoi atomista. Atomit, kideoppi ja säännönmukainen järjestäytyminen olivat alkuna nanoteknologian ymmärtämiselle ja teknologian kehittymiselle. Analyysitekniikan kehittyttyä analyysilaitteilla on saatu näkyviin erilaisia nanokokoisia muotoja ja rakenteita. Nanoteknologian hyödyntäminen lähti liikkeelle elektroniikan alalta. Nykyisin sitä hyödynnetään jo lähes kaikilla tärkeimmillä teknologian ja teollisuuden aloilla. Tärkeitä sovelluskohteita ovat mm. lääketieteellisyys, elektroniikka, energiatekniikka ja biotekniikka. Erityisesti lääketieteelliset sovellukset vaikuttavat lupaavilta. Myös elintarvikkeissa ja niiden pakkauksissa voidaan hyödyntää nanoteknologiaa.

Vuonna 1959 amerikkalainen fyysikko esitti ajatuksia tulevaisuuden teknologiasta, joissa oli piirteitä nanoteknologiasta. 1960-luvulla tutkittiin nanomittaisien metallipartikkelien ominaisuuksia nanomittakaavassa, vaikka päähuomio 1960–1980 -luvuilla kohdistuikin mikrorakenteisiin (Euroopan komissio 2007; Heino ja Lindén 2009; Itävaara ym. 2008). Vuonna 1981 kehitetyn herkemmän mikroskoopin avulla materiaalit hahmotettiin atomitasolla. 1990-luvulla nanoteknologian tutkimus kehittyi parempien analyysilaitteiden myötä. Euroopan komission ensimmäiset nanoraportit ovat vuosilta 1996 ja 1997 (Ahola 2004). Vasta 2000 -luvun jälkeen nanoteknologian tutkimus on lisääntynyt myös Suomessa, mutta hyvin

vaihtelevasti eri tieteenoaloilla. Vuonna 2009 Suomeen hankittiin röntgensäteilyä käyttävä nanotomografi, jolla voidaan tutkia materiaalien sisä rakenteita nanomittakaavassa. Vastaavia laitteita on maailmassa vain kolme. Nanoteknologian tutkimus Suomessa tulee olemaan kehityksen kärjessä yhdessä huipputeknologian ja huippututkimuksen kanssa (Jyväskylän yliopisto 2009).

Nanopartikkelien ja –materiaalien riskeistä kirjoitetaan paljon. EFSA:n tieteellisessä tiedonannossa (EFSA 2009b) selvitettiin teknisesti valmistettujen nanopartikkelien riskinarviointia. Teknisesti valmistettujen nanopartikkelien uskotaan olevan toksisia, jolloin niiden riskinarviointi on hyvin tarpeellista. Suurin osa raportoiduista toksisuuteen liittyvistä tutkimuksista käsittelee nanopartikkelien akuuttia toksisuutta eikä pitkäaikaistutkimuksia ei ole raportoitu kuin muutama (Bouwmeester ym. 2009).

Nanopartikkelien toksisuuteen liittyvät tutkimukset ovat käsitelleet mm. nanopartikkelien mahdollista genotoksisuutta eli voivatko ne vahingoittaa DNA:ta ja aiheuttaa muutoksia ihmisen perimässä (Singh ym. 2009). Hopean, titaanidioksidin ja silikaatin toksisuus on vielä epäselvä, jolloin niiden käyttäytyminen elimistössä vaatii lisää tutkimuksia. Teknisesti valmistettujen nanopartikkelien toksisuudesta ei myöskään ole paljon tietoa, joten tutkimuksia tarvitaan. Nanopartikkelien toksisuuteen vaikuttavat partikkelien fysikaaliskemialliset ominaisuudet kuten partikkelien koko, morfologia, pinta-alan varaus ja kyky agglomeroitua tai muodostaa aggregaatteja (EFSA 2009b; Singh ym. 2009). Salonen ym. (2008) tutkivat nanokokoisten fullereenien yhteisvaikutusta mm. vihreän teen sisältämän galliinihapon kanssa ja tutkimuksessa havaittiin, että yhteisvaikutus olisi toksinen elimistölle (Salonen ym. 2008).

Kaikki elintarvikkeet sisältävät nanokokoisia biomolekyylejä jo itsessään. Nanoteknologiaan ja elintarvikkeisiin liittyvässä keskustelussa tulee huomioida ensisijaisesti teknisesti valmistettujen nanopartikkelien ja –materiaalien mahdolliset sovellukset, toksisuus ja riskit. Biomolekyylit tarjoavat kuitenkin paljon uusia sovelluksia ja mahdollisuuksia. Tutkimuksen kannattaisi suuntautua myös nanokokoisten biomolekyylien kehittämiseen niiden biologisuuden vuoksi. Nanoteknologiaan liittyvät toksisuustutkimukset ja riskinarvioinnit kuitenkin keskittyvät teknisesti valmistettuihin nanopartikkeleihin ja erityisesti hiileen perustuviin partikkeleihin sekä nanokokoisiin metallisiin partikkeleihin.

Euroopan elintarviketurvallisuusvirasto EFSA julkaisi maaliskuussa 2009 lausunnon teknisesti valmistettujen nanomateriaalien riskinarvioinnista (EFSA 2009b). EFSA:n lausunnon mukaan ei ole näyttöä siitä, että nanoteknologiaalla valmistettuja tuotteita olisi markkinoilla Euroopan unionin alueella, vaikka nanoteknologian käyttö lisääntyykin elintarvike- ja rehualalla. Nanoteknologiaan liittyvien riskien arviointia vaikeuttaa teknologiaan liittyvän tiedon puutteellisuus. Nanoteknologiaan liittyvää tieteellistä tietoa ei

myöskään ole tarpeeksi saatavilla. EFSA:n tieteellinen komitea suosittaa, että nanoteknologian määrittämisessä tulisi keskittyä nanopartikkelien koon määrittämisen sijasta ominaispinta-alan määrittämiseen, tarkastella nykyisiä ja tulevia kaupallisia nanoteknologian avulla valmistettuja elintarvikesovelluksia, luoda käytäntöjä nanopartikkelien fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien määrittämiseen, välittää tietoa nanoteknologialla valmistettujen elintarvikkeiden kulutuksesta ja määrittää nanopartikkelien toksikologisia ominaisuuksia (EFSA 2009b).

Euroopan parlamentissa keskustellaan paljon nanoteknologiasta ja teknologiaan liittyvistä turvallisuusriskeistä sekä valmistellaan nanoelintarvikkeille omaa lainsäädäntöä. Euroopan parlamentissa mm. ympäristön, kansanterveyden ja elintarviketurvallisuuden valiokunta työskentelee nanoteknologiaan liittyvien lainsäädännöllisten ja turvallisuusasioiden parissa (Hansen 2009). Nanoteknologian avulla valmistettuja elintarvikkeita säädetään EU:ssa ja Suomessa mm. uusielintarvikeasetuksella, mutta myös elintarvikelainsäädäntö säätää nanoteknologian käyttöä elintarvikkeissa.

Maa- ja metsätalousministeriössä nanoteknologian lainsäädännöstä ollaan hyvin tietoisia. Ministeriön elintarviketurvallisuusyksikön kaupallinen neuvos Leena Mannonen toteaa, että nanoteknologian avulla valmistetuille elintarvikkeille ei ole vielä Suomessa tai EU:ssa olemassa kaiken kattavaa lainsäädäntöä. Nykyinen uusielintarvikelaki ja lisäainelaki ottavat kuitenkin huomioon nanoteknologian käytön elintarvikkeissa. Nanoteknologian asiantuntijaryhmä valmistelee raporttia nanoturvallisuudesta, joten nanoteknologiaan ja sen tulevaisuuteen elintarvikesektorilla reagoidaan jo hyvissä ajoin (Ruokatieto 2009).

Nanoteknologian avulla valmistettuja kuluttajatuotteita on tarjolla internetissä jo yli 1000 erilaista tuotetta, joista pelkästään noin 300 tuotteessa on käytetty nanokokoisia hopeapartikkeleita. Nanoteknologian avulla valmistettuja elintarvikkeita, elintarvikkeiden pakkausmateriaaleja, ravintolisiä ja ruoanvalmistustyövälineitä on tarjolla noin 100 tuotetta ja tuotteiden määrä kasvaa jatkuvasti (The Project on Emerging Nanotechnologies 2009d). Suomessa tulli pysäytti USA:sta tuodun ravintolisän, jonka valmistuksessa oli käytetty nanoteknologiaa, mutta ravintolisälle ei oltu haettu uusielintarvikehyväksyntää. Viranomaisten mielestä tuotteelle olisi pitänyt tehdä turvallisuusarviointi ennen markkinoille pääsyä (Nurro 2008).

Savolainen Työterveyslaitoksesta ennustaa, että vuoteen 2015 mennessä nanoteollisuuden arvo olisi 2000 miljardia euroa ja vuoteen 2020 mennessä nanoteknologiaan perustuvia tuotteita olisi yli 20 % kaikista maailman tuotteista (Savolainen 2008). Työperäinen altistuminen nanopartikkeleille puhuttaa paljon niin EU:ssa kuin muuallakin maailmassa. USA:ssa nanopartikkeleille työn kautta altistuu jo noin 2 miljoonaa työntekijää ja on ennustettu, että vuoteen 2020 mennessä maailmalaajuisesti tarvitaan nanoteknologiaan lisää työntekijöitä noin 1,5 miljoonaa (Savolainen 2008).

Nanoteknologialla valmistettuja tuotteita käyttävien kuluttajien ja nanoteknologian kanssa työskentelevien altistuminen nanopartikkeleille ja siitä mahdollisesti seuraavat terveysvaikutukset ovat nanoteknologian riskinarvioinnin tärkeimpiä tutkimusaiheita. Kuluttajien tulee saada tietoa siitä, vapautuvatko nanomateriaalit niitä sisältävistä tuotteista ja mitkä ovat mahdolliset vaikutukset ihmisen terveyteen ja ympäristöön. Tärkeää on myös arvioida laboratorioiden työntekijöiden, kuluttajien, valmistajien ja jätteiden käsittelijöiden altistuminen nanopartikkeleille. Vaikka nanoteknologia tarjoaa paljon etuja yhteiskunnalle, ne myös nostavat esiin monia kysymyksiä liittyen nanomateriaalien mahdollisiin riskeihin ja toksisuuteen. Nanoteknologian analyysimenetelmien kehittäminen ja standardointi tarvitsevatkin paljon lisää tutkimusta (ETUC 2008; Pajarinen 2009).

Nanoteknologia ja elintarvikkeet –raportin tarkoituksena on tuoda esiin nanoteknologian mahdollisuuksia elintarviketeollisuudessa sekä myös huomioida nanoteknologiaan liittyviä riskejä ja niiden arviointia. Lopuksi raportissa on esitetty myös tahot, jotka valvovat, tutkivat tai ovat antaneet lausuntoja nanopartikkeleista tai –materiaaleista erityisesti liittyen elintarvikkeisiin. Nanoteknologia on uusi teknologian ala, joka voi luoda paljon ennakkoluuloja ennen kuin teknologia on tullut tutuksi tutkijoille ja kuluttajille.

2 Nanopartikkelien erityiset fysikaaliskemialliset ominaisuudet

Nanopartikkeleista tekee erityisiä niiden suuri pinta-alan suhde massaan tai tilavuuteen. Nanopartikkeli pinta-ala-tilavuus- tai pinta-ala-massa –suhde (engl. surface-to-volume ratio S/V) on kääntäen verrannollinen partikkelien kokoon. Tällöin myös nanopartikkelien muodostamalla molekyyliellä on suurempi ulkopinta-ala kuin suurempien partikkelien muodostamalla vastaavan kokoisella molekyyllillä (kuva 1) (Hornyak ym. 2008).

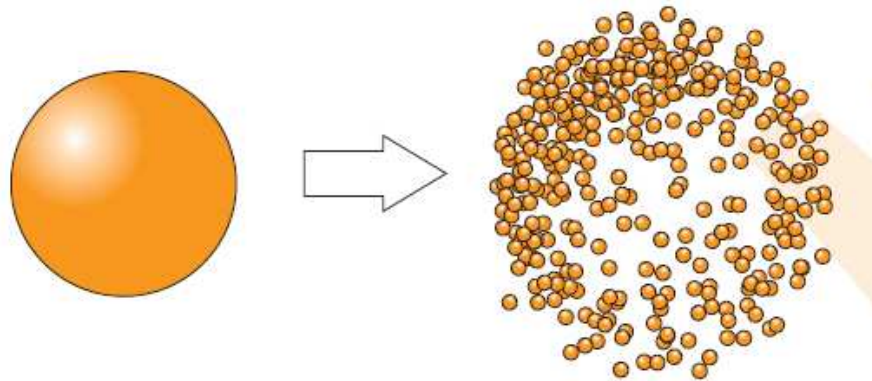
Taulukkoon 1 on koottu nanopartikkelien tärkeimpiä fysikaaliskemiallisia ominaisuuksia (EFSA 2009b; FSAI 2008; Morris 2008). Kuvatut ominaisuudet vaihtelevat partikkelikoon mukaan. Nanomittakaavassa materiaalin kemialliset, fysikaaliset ja biologiset ominaisuudet ovat joko huomattavasti parempia tai täysin erilaisia verrattuna tavanomaisiin materiaaleihin. Nanopartikkelit ovat biokemiallisesti aktiivisempia kuin suuremman kokoiset partikkelit, joilla on samat kemialliset ominaisuudet (FSAI 2008; Sozer ja Kokini 2009).

Taulukko 1. Nanopartikkelien tärkeimpiä fysikaaliskemiallisia ominaisuuksia (EFSA 2009b; Euroopan komissio 2009b; FSAI 2008; Hornyak ym. 2008; Morris 2008).

Fysikaaliskemialliset ominaisuudet

- koko, muoto, ominaispinta-ala
 - agglomeroituminen ja aggregaattien muodostuminen
 - kemialliset ominaisuudet
 - rakenne
 - pinta-alan morfologia ja topografia
 - partikkelien kokojakauma
 - molekyylien rakenne
 - pinnan reaktiivisuus, energia ja biokemiallinen aktiivisuus
 - hydrofiilisyyt tai hydrofobisuus
-

Nanopartikkelien muodostamalla molekyyliellä on suurempi ulkopinta-ala kuin suurempien partikkelien muodostamalla vastaavan kokoisella molekyyllillä (kuva 1). Nanopartikkelit ovat biokemiallisesti aktiivisempia kuin suuremman kokoiset partikkelit, joilla on samat kemialliset ominaisuudet (FSAI 2008; Sozer ja Kokini 2009).



Kuva 1. Kuvassa on havainnollistettu, kuinka partikkelien pinta-ala suhteessa massaan kasvaa koon pienentyessä (FSAI 2008; Hornyak ym. 2008).

Nanopartikkelien ja -materiaalien muotoja ovat mm. kuutio, pyramidi, suorakaide ja sylinteri sekä pallomaiset, kiekkomaiset ja kolmiulotteiset partikkelit. Teollisesti valmistetut ja luontaiset nanopartikkelit esiintyvät mm. onttoina putkimaisina muotoina tai dendrimeereinä (kts. kpl 3) muotoina (Hornyak ym. 2008).

Nanopartikkelien sisäpuolinen pinta koostuu mikrohuokosista (< 2 nm), mesohuokosista (2-50 nm) ja makrohuokosista (> 50 nm). Nanopartikkelien huokoisuus on suure, jonka avulla voidaan päätellä materiaalin tiheys. Huokoisuus (ϵ) voidaan laskea huokosten tilavuuden (V_h) suhteena materiaalin tilavuuteen (V_m) (Hornyak ym. 2008):

$$\epsilon = \frac{V_{huokonen}}{V_{materiaali}}$$

Nanopartikkelien ominaisuuksia määriteltäessä voidaan kullekin partikkelille laskea tunnusomainen pinta-ala alue (Specific Surface Area, SSA, S_s). Tämä pinta-ala-alue (S_s) saadaan jakamalla materiaalin pinta-ala (S_m) faasin tiheydellä (ρ) ja tilavuudella (V_m) (Hornyak ym. 2008):

$$S_s = \frac{S_m}{\rho V_m}$$

Nanopartikkelit kasautuvat yhteen eli agglomeroituvat heikoin sidoksin ja muodostavat helposti kahden tai useamman nanokokoisen partikkelien kiinteästi sitoutuneita kasaumia eli aggregaatteja. Partikkelien pinta-alan varausten energia ja partikkelien pinnan reaktiivisuus aiheuttavat agglomeroitumista tai aggregaattien muodostumista. Aggregaatiossa nanopartikkeleista muodostuu suurempia partikkeleita, jolloin nanokokoisten partikkelien erityiset ominaisuudet voivat muuttua. Agglomeroitumista ja aggregaattien muodostumista voidaan estää muuttamalla pintaa erilaisilla kalvomenetelmillä, ioneilla tai pinta-aktiivisilla aineilla. Nanopartikkelien reaktiivinen pinta mahdollistaa vuorovaikutuksen ihmisen proteiinien ja

muiden biomolekyylien kanssa. Tämä voi muuttaa mm. proteiinien toimintaa elimistössä (EFSA 2009b; Euroopan komissio 2009b; FSAI 2008).

Nanopartikkelit reagoivat ympäristön molekyylien ja yhdisteiden kanssa. Nanopartikkeleita voidaan muuttaa ja modifioida kemiallisesti. Kemiallisessa modifioinnissa lisätään, poistetaan tai vaihdetaan kemiallisia ryhmiä nanomateriaalin pinnassa tai muutetaan molekyylien sisärakenteita. Modifioinnilla voidaan muuttaa nanopartikkelien ominaisuuksia ilman, että fysikaaliset ominaisuudet muuttuvat (Hornyak ym. 2008).

Nanopartikkelit muodostavat erilaisia sidoksia muiden nanomateriaalien, metallien ja yhdisteiden kanssa. Metallien kanssa nanopartikkelit muodostavat metallisidoksia. Nanokokoiset titaanidioksidi-partikkelit muodostavat ionisia sidoksia ja hiilinanoputket muodostavat kovalenttisiä, ionisia ja piisidoksia (Hornyak ym. 2008).

Nanopartikkelit voivat muodostaa nopeasti ja itsenäisesti molekyylijä. Tämä ei vaadi energiaa tai ulkopuolista ohjausta. Molekyylien muodostumiseen vaikuttavat kemialliset reaktiot, elektrostaattiset vuorovaikutukset, kapillaarisuus ja muodostuneiden molekyylien vähäenergiset ja stabiilit rakenteet. Molekyylien välinen muodostuminen on suurten molekyylien spontaani aggregaatio, jossa molekyylit reagoivat kovalenttisin sidoksin (Hornyak ym. 2008).

3 Nanopartikkeleita ja -materiaaleja

- 1 Nanopartikkelit ja –materiaalit voidaan jaotella niiden fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien ja toimintojen mukaan.
- 2 Nanopartikkelit ja –materiaalit voidaan jakaa hiileen perustuviin nanopartikkeleihin, dendrimeereihin, metallin nanopartikkeleihin ja nanokokoisiin mineraaleihin, nanokomposiittimateriaaleihin sekä biomolekyyleihin ja muihin biomateriaaleihin.
- 3 Hiileen perustuvat nanopartikkelit voidaan jakaa edelleen niiden ulotteisuuksien perusteella nolla-, yksi- ja kaksiulotteisiin partikkeleihin.
- 4 Nollaulotteisia nanopartikkeleita ovat mm. fullereenit ja kvanttipisteet.
- 5 Yksiulotteisia nanopartikkeleita ovat mm. hiilinanoputket, joista kehitellään elintarvikkeissa käytettäviä biosensoreita.
- 6 Dendrimeerit ovat haarautuneita ja ympyränmuotoisia misellimäisiä molekyylejä.
- 7 Metallin nanopartikkeleita ja nanokokoisia mineraaleja ovat mm. kulta- ja hopean nanopartikkelit sekä titaanidioksidi –partikkelit.
- 8 Nanokomposiittimateriaaleissa hyödynnetään nanopartikkelien ominaisuuksia lisäämällä niitä esim. erilaisiin elintarvikkeiden pakkausmateriaaleihin.
- 9 Luonnossa esiintyy paljon luonnon omia nanokokoisia systeemejä, kuten DNA, lipidit ja proteiinit.

3.1 Hiileen perustuvat nanopartikkelit

Teknisesti valmistettuja hiileen perustuvia elintarvikesovelluksissakin mahdollisesti käytettäviä nanopartikkeleita ovat mm. hiilinanoputket, fullereenit ja kvanttipisteet (Quantum dots). Hiileen perustuvat nanopartikkelit voidaan jakaa niiden avaruudellisen ulotteisuutensa perusteella nolla-, yksi- ja kaksiulotteisiin partikkeleihin (Hornyak ym. 2008).

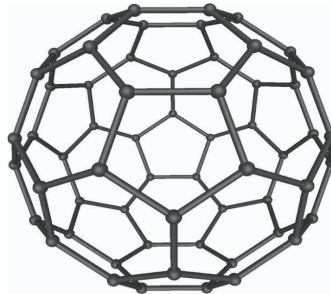
Nanokokoisten teknisesti valmistettujen materiaalien valmistaminen tapahtuu bottom-up- tai top-down –tekniikan avulla. Bottom-up –tekniikassa haluttuja nanokokoisia partikkeleita voidaan kasvattaa atomista tai molekyylistä lähtien mm. kemiallisen synteessin kautta tai antamalla molekyylien järjestäytyä itsenäisesti. Top-down –tekniikassa aloitetaan suuremmasta partikkelikoosta ja pienennetään haluttuun kokoon venyttämällä tai poistamalla materiaalia. Tämä on yleisempää kuin bottom-up –tekniikka. Bottom-up –tekniikka antaa mahdollisuudet materiaalien muokkaukseen, mutta sen tekniikka on vielä

uusi ja vaatii paljon osaamista ja tekniikan kehittymistä (The Royal Society 2004).

3.1.1 Nollaulotteiset hiilinanopartikkelit

Fullereenit

Fullereenit (Buckyballs) ovat nanokokoisia kidemuodoltaan pallomaisia symmetrisiä hiilipalloja, joiden halkaisija on noin 7 Å eli alle 1 nm (kuva 2). Yleisin fullereeni koostuu 60:ta hiiliatomista (C_{60}) muodostaen 32 tasoa. Rakenteessa on 12 viisirengasta ja 20 kuusirengasta. Fullereenit voivat koostua myös muista hiiliatomista kuten C_{70} , C_{76} ja C_{78} . Fullereeneja voidaan valmistaa korkeissa lämpötiloissa ja paineessa kuumentamalla grafiittitankoja heliumin ollessa läsnä. Fullereenipallon sisään voidaan sijoittaa toisen alkuaineen atomi, jolloin ominaisuuksia voidaan muuttaa (The Royal Society 2004; Singh ja Nalwa 2007).



Kuva 2. Fullereeni C_{60} rakenne. Fullereeni C_{60} rakenne on symmetrinen ja se koostuu 32:ta tasosta (Nanowerk 2009).

Fullereenit ovat erittäin lujia ja stabiileja molekyylejä. Puhtaat fullereenit eivät liukene veteen, mutta molekyyliä modifioimalla tai sitomalla rakenteeseen molekyylejä niiden fysikaaliskemiallisia ominaisuuksia voidaan muuttaa. Fullereenit reagoivat muiden yhdisteiden kanssa heikoin van der Waals-sidoksin (Hornyak ym. 2008; Singh ja Nalwa 2007). Fullereenien tutkimisesta ja rakenteen löytämisestä jaettiin kemian Nobelin palkinto vuonna 1996 ja palkinnon saivat Robert F. Curl Jr., Sir Harold W. Kroto ja Richard E. Smalley (Nobel Prize 1996).

Kvanttipisteet

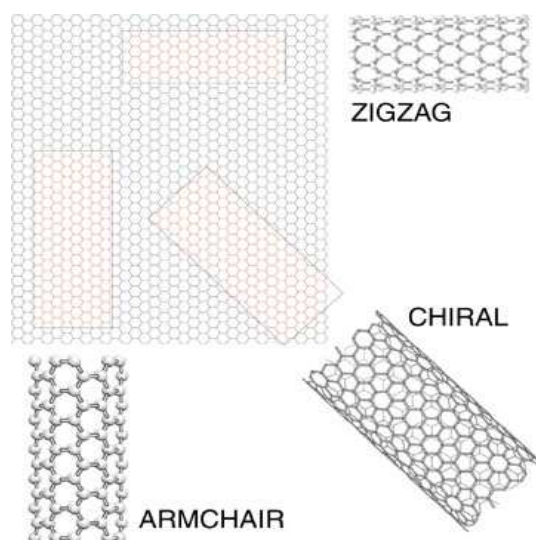
Kvanttipisteet (Quantum dots) ovat tiiviisti pakattuja nanopartikkeleita. Kvanttipartikkelit voidaan valmistaa joko säteilemään tai absorboimaan tiettyjä valon aallonpituuksia (tai väriä) muuttamalla niiden kokoa. Kvanttipisteiden avulla voidaan kehittää mm. kemiallisia ja biokemiallisia tunnistimia (The Royal Society 2004; Suomalainen ym. 2008). Kvanttipisteitä

on käytetty fluoresoivina materiaaleina mm. solun merkitsemisessä, valoa hajottavina diodeina (LED) ja geenianalyyseissä. Nykyään tutkitaan kvanttipisteiden toksisia ominaisuuksia niiden käytön ja tutkimusten yleistyessä. Nanokokoisten kvanttipisteiden käyttö elintarviketekniikassa on vielä olematon ja materiaalia käytetään enemmän lääke- ja elektroniikkateollisuudessa. Kuitenkin on mahdollista, että kvanttipisteitä voidaan hyödyntää tulevaisuudessa mm. elintarvikkeiden pakkausteknologiassa.

3.1.2 Yksiulotteiset hiilinanopartikkelit

Hiilinanoputket

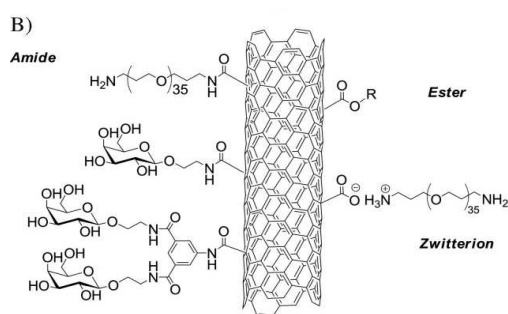
Hiilinanoputket ovat nanokokoisia onttoja putkia, jotka koostuvat hiilestä ja muodostuvat kuusikulmioisesta verkkorakenteesta (kuva 3). Hiilinanoputkien halkaisijat ovat vain muutamia nanometrejä ja niiden pituus vaihtelee mikrometrinä senttimetreihin. Hiilinanoputket jaotellaan kolmeen erilaiseen ryhmään sidosten orientaation perusteella (kuva 3). Nämä rakenteet ovat zigzag- tai nojatuolirakenteet (engl. armchair) sekä kiraalinen rakenne (engl. chiral) (Hornyak ym. 2008).



Kuva 3. Hiilinanoputkien rakenteita. Ylhäällä on hiilinanoputken zigzag –rakenne, alhaalla vasemmalla nojatuolirakenne ja oikealla kiraalinen rakenne (University of Pennsylvania 2009).

Hiilinanoputkilla on tärkeä rooli nanoteknologiassa niiden kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien takia. Hiilinanoputket voivat muodostua yhdestä (engl. single wall nano tube, SWNT) tai useammasta (engl. multi wall nano tube, MWNT) sisäkkäisistä grafiittikerroksista. Hiilinanoputket ovat mekaanisesti hyvin vahvoja johtuen niiden hiili-hiili (C–C, C=C) sidoksista.

Sidokset ovat kovalenttisiä sp^2 – sp^3 –sidoksia, jotka pitävät hiiliatomit paikallaan putkenmuotoisena. Hiilinanoputkien kimmokerroin on korkea tehden niistä yhtä kovia ja kestäviä kuin timantit. Hiilinanoputket ovat myös joustavia akselinsa ympäri, minkä vuoksi niillä on hyvät veto- ja puristuslujuudet ja ne johtavat lämpöä erittäin hyvin. Hiilinanoputken grafiittikerrosten kierteisyys määräytyy sen mukaan, onko putken materiaali puolijohde vai metalli. Hiilinanoputket soveltuvatkin hyvien ominaisuuksien takia sensoreiksi (kuva 4), elektroniikkateollisuuteen tai vahvistusmateriaaleiksi mm. kalvoihin (Hornyak ym. 2008; Koponen 2008; The Royal Society 2004).

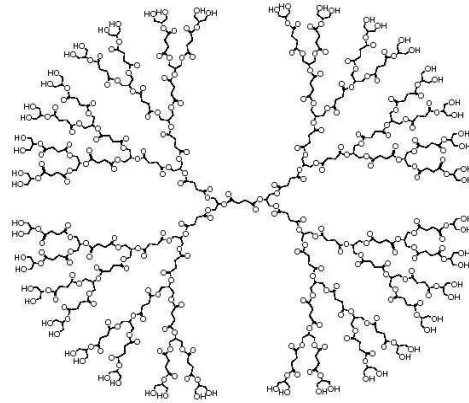


Kuva 4. Hiilinanoputkien pinta reagoi erilaisten orgaanisten yhdisteiden kanssa (Lu ym. 2009).

Hyvien sähköisten ominaisuuksien takia hiilinanoputkien kykyä toimia nanokokoisina biosensoreina on tutkittu paljon. Hiilinanoputket sopivat mm. elintarvikealalla biosensoreiksi (kuva 4). Biosensorien toiminta perustuu eikovalenttisiin sidoksiin ja hiilinanoputkeen voidaan liittää orgaanisia yhdisteitä (Lu ym. 2009; The Royal Society 2004).

3.2 Dendrimeerit

Dendrimeerit ovat haarautuneita ja ympyränmuotoisia molekyyliä, jotka ovat muodostuneet monitasoisesti. Dendrimeerit ovat haarautuneet useasti ja tämän avulla molekyyli-rakenteisiin voidaan liittää erilaisia yhdisteitä tai muita molekyyliä (kuva 5). Pienimmät dendrimeerit ovat kooltaan muutamia nanometrejä. Dendrimeerien keskellä on ydinatomi, johon liittyvät erialaiset haarat ja pääteryhmät. Pääteryhmiin sitoutuneiden molekyylien ja yhdisteiden avulla voidaan muuttaa dendrimeerien fysikaaliskemiallisia ominaisuuksia. Dendrimeerien sitoutumisominaisuuksiin voidaan vaikuttaa liittämällä niiden pintaan molekyyliä, jotka reagoivat toivotulla tavalla vastakkaisen pinnan kanssa (Koponen 2008; The Royal Society 2004).



Kuva 5. Nanokokoisen dendrimeerin rakenne (University of Southern Denmark 2009).

Pakkausteknologiassa dendrimeerejä voidaan käyttää erilaisissa polymeerimateriaaleissa muuttamaan polymeerien ominaisuuksia. Dendrimeerien ominaisuutena on liikkua soluseinien läpi, jolloin ne toimivat kantaja-aineina. Dendrimeerejä voidaan käyttää myös ympäristön puhdistuksessa, koska ne voivat sitoa vedestä esim. metalli-ioneja. Tämän jälkeen dendrimeerit voidaan suodattaa pois vedestä ultrasuodatuksen avulla (Koponen 2008; The Royal Society 2004).

Misellit ovat esimerkkejä dendrieteistä. Ne ovat pyöreähköjä yksimolekyylisiä nanopartikkeleita, joiden koko vaihtelee viidestäkymmenestä nanometristä viiteensataan nanometriin. Misellejä käytetään lääke- ja geeniteknikassa lääkkeiden ja geenien kuljettajina. Misellit voivat kuljettaa myös tarvittavia ravintoaineita ja bioaktiivisia yhdisteitä elimistöön. Lisäksi miselleihin liittämällä eri molekyyliä ja yhdisteitä, niiden ominaisuuksia voidaan muuttaa. Tällaisia toimintoja ovat mm. erilaiset ”älykkäät” toiminnot kuten misellin erityinen kyky suunnata tiettyyn solukkuun tai kudokseen sekä kemiallinen ja fysikaalinen ärsykeherkkyys (Semo ym. 2007; Nishiyama ym. 2006).

3.3 Metallinanopartikkelit ja nanokokoiset mineraalit

Metallinanopartikkeleita ovat mm. nanokokoiset kulta- (Au) ja hopea- (Ag) partikkelit. Kulta ja hopean nanopartikkeleilla on antimikrobisia ominaisuuksia ja niitä käytetäänkin mm. jääkaappien sisäpinnoilla, säilytysastioissa ja pakkauslinjastoissa tuhoamaan mikrobeja (FSAI 2008). Nanokokoiset metallipartikkelit voivat esiintyä myös oksideina. Tällaisia ovat mm. nanokokoiset titaanidioksidipartikkelit (TiO₂) ja erilaiset rautaoksidipartikkelit. Titaanidioksidia käytetään mm. elintarvikeväriaineena ja kosmetiikassa UV-suojana aurinkorasvoissa. Titaanidioksidia voitaisiin käyttää elintarviketeollisuudessa nanokokoisena partikkelina pakkausmateriaaleissa mm. estämään UV-valon vaikutusta elintarvikkeissa (FSAI 2008).

Monilla mineraaleilla on monimutkaisia nanorakenteita, jotka antavat mineraaleille hyviä optisia, mekaanisia, absorboivia ja katalyyttisiä ominaisuuksia. Piidioksidia (SiO_2) voidaan käyttää nanoteknologian sovelluksissa parantamaan mm. biohajoavien materiaalien ominaisuuksia (Hornyak ym. 2008). Zeoliitti on huokoinen materiaali, jonka huokokset toimivat molekyyliseulana. Zeoliitti on hydrattu alumiinisilikaattimineraalista $[\text{Na}_2\text{Al}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 2 \text{H}_2\text{O}]$. Nanosavi (nanoclay) on zeoliitin kaltainen materiaali, mutta savessa on enemmän alumiinioksidia ja piidioksidia. Nanosaven hyviä ominaisuuksia ovat mm. veden sitoutuminen rakenteeseen, rakenteen muotoutuminen kerroksittain ja hyvät plastiset ominaisuudet. Nanosavea käytetäänkin nanokomposiittimateriaaleissa parantamaan polymeerien ominaisuuksia (Hornyak ym. 2008).

3.4 Nanokomposiitti -materiaalit

Nanokomposiitit ovat materiaaleja, joihin on lisätty nanokokoisia partikkeleita. Ne voivat olla myös materiaaleja, jotka sisältävät jo nanokokoisia partikkeleita ja niihin lisätään vielä uusia nanopartikkeleita. Nanokomposiittimateriaaleja käytetään pakkausteknologiassa mm. biohajoavien materiaalien valmistuksessa. Metallinanokomposiitit ovat nanomateriaaleja, joihin on lisätty mm. nanokokoisia metallipartikkeleita. Metallinanopartikkeleilla pyritään mm. parantamaan materiaalin murtolujuutta ja lämmönkestävyyttä. Polymeerinanokomposiitit koostuvat polymeerimateriaaleista, joihin on lisätty nanosavea tai muita nanokomponentteja kuten silikaatteja, kuituja ja hiilinanoputkia vahvistamaan polymeerien ominaisuuksia. Nanokomposiittien valmistuksessa on tärkeää, että nanomatriisin ja lisättävän aineen on oltava kemiallisesti yhteensopivia (Hornyak ym. 2008; Koponen 2008).

Huokoiset nanovaahdot

Hiilinanovaahdot eli aerogelit ovat huokoisia nanomateriaaleja. Koponen (2008) kirjoittaa, että kalvoja voidaan käyttää mm. kaasujen erottamiseen, kemialliseen synteesiin ja veden puhdistamiseen. Nanohuokoiset materiaalit voivat koostua hiilestä, piistä, silikaateista, polymeereistä, metallisista mineraaleista tai olla näiden seoksia. Nanohuokoisten materiaalien huokosten koko on alle 100 nm ja materiaalien ominaisuudet riippuvat huokoskoosta, huokosten homogeenisuudesta ja mahdollisista huokosissa olevista nanopartikkeleista. Nanohuokoiset materiaalit voivat toimia katalyytteinä, absorbanttina tai adsorbanttina (Koponen 2008). Huokoisten nanovaahdojen sovelluksia elintarviketeollisuudessa olisivat erilaiset pakkausmateriaalit.

3.5 Biomolekyylit ja muut biomateriaalit

Biomolekyylit ovat nanokokoisia biologisia eläviä järjestelmiä, joita esiintyy luontaisesti. Biomolekyylien nanotiede tarkastelee biofysiikkaa, molekyylibiologiaa, proteiinirakenteita ja biokemiaa. Proteiinit, peptidit, DNA ja RNA ovat esimerkkejä nanokokoisista biomolekyyleistä. Myös solujen eri soluelimet kuten ribosomit ja mitokondriot ovat nanokokoisia (Hornyak ym. 2008).

Nanopartikkelit voivat esiintyä elintarvikkeissa bioaktiivisina yhdisteinä erilaisissa funktionaalisissa terveysvaikutteisissa elintarvikkeissa. Omega 3 ja Omega 6 rasvahapot, probiootit, prebiootit, vitamiinit antioksidantit ja mineraalit ovat esimerkkejä elintarvikkeissa käytettävistä bioaktiivisista nanokokoisista yhdisteistä (Sozer ja Kokini 2009). Luontaisesti esiintyvillä nanopartikkeleilla usein parannetaan elintarvikkeita, muutetaan niiden toiminnallisia ominaisuuksia ja pyritään tuomaan esiin yhdisteiden terveyttä edistävät vaikutukset (FSAI 2008).

Nanopartikkeleita voidaan hyödyntää myös kantaja-aineina ja ne voivat kapseloida molekyylejä ja yhdisteitä. Luontaiset nanopartikkelit ovat siihen sopivia. Luontaisilla nanopartikkeleilla on kyky kapseloida ravintoaineita ja toimia kantaja-aineina viemällä kapseloidut yhdisteet ruoansulatuskanavasta verenkiertoon, jossa niiden hyöty on parhaimmillaan. Näin voidaan estää ravintoaineiden tuhoutuminen suoliston erilaisissa olosuhteissa (FSAI 2008). FSAI (2008) raportoi miselleistä, jotka kapseloivat ei-polaarisia molekyylejä kuten lipidejä, aromeja, antioksidantteja ja vitamiineja. Yhdisteiden vesiliukoisuutta voidaan myös muuttaa nanopartikkelien ja kapseloinnin avulla. Myös kaseiinimisellien ja liposomien funktionaalisuutta voidaan hyödyntää nanoteknologiassa (FSAI 2008).

Loveday ja Singh (2008) kirjoittavat nanokokoisista kiinteistä nanopartikkeleista. Tällaisia 50–1000 nm:n kokoisia partikkeleita voidaan käyttää kantaja-aineina, jotka muodostuvat lipideistä. Lipidit joko muodostavat huoneenlämpötilassa kiteitä, joihin myös kapseloitava yhdiste sitoutuu (Loveday ja Singh 2008).

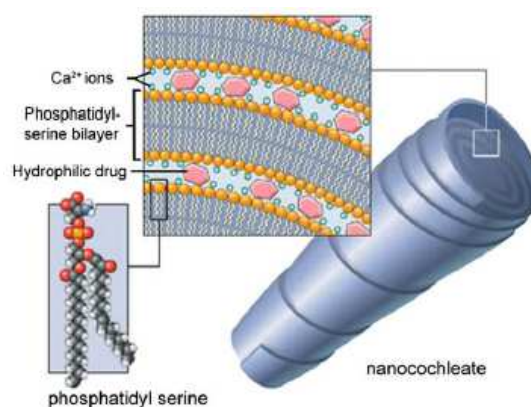
Sozer ja Kokini (2008) ja Graveland-Bikker ja Kruif (2006) kirjoittavat, että nanoputkia on valmistettu myös biologisista materiaalista. Maitoproteiini α -laktalbumiini voi muodostaa osittaisen hydrolyysin kautta itsestään muodostuvia nanoputkia, jotka voivat toimia nanokapseleina. Hydrolysointi tapahtuu entsyymien avulla (Sozer ja Kokini 2008; Graveland-Bikker ja Kruif 2006).

Nanokokoiset α -laktalbumiinista muodostuneet putket kestävät pastörointi- ja pakkaskuivausolosuhteita, mikä osoittaa niiden olevan vahvoja. Ne voivat lisätä materiaalien viskositeettia ja jäykkyyttä, jolloin elintarvikesovelluksissa tarvitaan vähemmän proteiineja. Näitä nanoputkia voidaan käyttää myös

sakeuttamisaineena, koska niiden proteiinipitoisuus on suuri. Nanoputket muodostavat lineaarisia putkia, jolloin ne ovat hyviä komponentteja vahvojen, kevyiden ja läpinäkyvien geelien rakennusaineiksi. Nanokokoisissa α -laktalbumiinista muodostuneissa putkissa on huokosia, jotka ovat halkaisijaltaan noin 8 nm. Tämä mahdollistaa sitoutumisen muiden elintarvikekomponenttien kuten vitamiinien tai entsyymien kanssa. Nämä huokokset voivat toimia kapselina ja suojata funktionaalisia yhdisteitä tai peittää epäsuotuisia aromeja ja makuaineita. Koska nämä nanoputket voidaan valmistaa maitoproteiinista, niiden kehittäminen on suotuisampaa kuin teknisesti valmistettujen hiilinanoputkien, joiden arvellaan olevan toksisia (Sozer ja Kokini 2008; Graveland-Bikker ja Kruif 2006).

Chaudhry ym. (2008) kirjoittavat nanoteknologian sovelluksista, joissa on kehitetty nanokokoisia "simpukoita" (cochleates), jotka ovat noin 50 nm kokoisia ja valmistettu fosfaattidylseriinistä, jota saadaan soijapavuista kalsiumin ollessa läsnä. Nanosimpukan väitetään suojaavan mikroravinteita ja antioksidantteja pilaantumiselta valmistuksen ja varastoinnin aikana (Chaudhry ym. 2008).

Nanokokoiset "simpukat" koostuvat kaksoiskerrostuneesta fosfolipidikerroksesta, joka on kiertynyt spiraaliseen muotoon (kuva 6). "Simpukoita" valmistetaan yleensä materiaaleista, jotka hyväksytään elintarvikkeissa. Nanosimpukoita on tutkittu koe-eläinmalleilla lääketeollisuudessa, joissa ne todettiin tehokkaiksi. "Simpukat" toimivat tehokkaasti kuljettamalla pienikokoisia liposomeja tai kolloidisia partikkeleita. Nanokokoiset simpukat ovat resistenttejä ruoansulatuskanavassa tapahtuvalle pilkkoutumiselle. "Simpukoiden" avulla voidaan kuljettaa mm. ravintoaineita, antimikrobeja ja aromiaineita elintarvikkeissa (Bouwmeester ym. 2009; Loveday ja Singh 2008).



Kuva 6. Nanokokoinen "simpukka", joka voi toimia kapselina. "Simpukan" rakenne perustuu lipideihin, jotka ovat kiertyneet spiraaliseen muotoon (Loveday ja Singh 2008).

4 Nanoteknologian elintarvikesovellukset

- 1 Nanoteknologiaa hyödynnetään vielä vähän elintarviketeollisuudessa.
- 2 Elintarvikesovelluksia lukeutuvat äly- ja aktiiviset elintarvikepakkaukset, nanokokoiset lisäaineet, nanokapselit, nanoemulsiot ja –dispersiot, vedenpuhdistus ja nanosuodatus.
- 3 Aktiivisten elintarvikepakkausten tarkoituksena on lisätä elintarvikkeiden elinikää parantamalla pakkausten suojausominaisuuksia estämällä tuotteita altistumasta elintarvikkeita pilaaVILLE tekijöille.
- 4 Antimikrobiset nanomateriaalit, kuten nanohopea ja nanokokoinen titaanidioksidi ovat aktiivisissa pakkausmateriaaleissa käytettyjä rakennekomponentteja.
- 5 Älypakkauksissa on toiminnallisia ominaisuuksia, kuten lämpötila-antureita ja mikrobien kasvun indikaattoreita, jotka havainnollistavat elintarvikkeiden olosuhteita.
- 6 Nanokapseloinnin tarkoituksena on mm. suojata herkkiä bioaktiivisia yhdisteitä ja hallita niiden vapautumista elimistössä.

Nanoteknologia tarjoaa uusia sovellusmahdollisuuksia elintarvikkeissa ja elintarvikepakkauksissa. Sitä kuitenkin hyödynnetään toistaiseksi hyvin vähän. Äly- ja aktiiviset pakkaukset, nanolaminaatit ja antimikrobiset pakkausmateriaalit ovat esimerkkejä kehitteillä olevista elintarvikepakkausten nanosovelluksista. Nanopartikkeleita ja –materiaaleja voidaan hyödyntää myös erilaisissa nanoemulsioissa, dispersioissa ja kapselointitekniikoissa (taulukko 2) (FSAI 2008).

Taulukko 2. Nanoteknologian avulla valmistettuja elintarvikesovelluksia.

Elintarvikesovellus	Tekniikka	Toiminta
Elintarvikepakkaukset	Aktiiviset pakkaukset	Pitävät yllä elintarvikkeiden elinikää, aktiiviset ainesosat vapautuvat pakkaukseen, esim. antimikrobiset nanomateriaalit
	Älypakkaukset	Nanosensorit tuovat esiin pakkauksen olosuhteet
	Biopolymeerit	Mm. nanosavi, parantavat kalvojen ominaisuuksia
	Nanolaminaatit	Kalvotekniikka
Lisäaineet	Nanokokoiset lisäaineet	Lisäaineiden parantunut toimintakyky, aromien vapautuminen hallitusti
Nanokapselointi	Kapselointitekniikka	Bioaktiivisten yhdisteiden suojaaminen mm. hapettumiselta
Nanoemulsiot ja -dispersiot	Hyvä liukenemiskyky	

Nanokomponentteja sisältäviä elintarvikkeita on jo markkinoilla mm. USA:ssa ja Kiinassa (liite 2). Kiinassa markkinoilla on tee, jossa teen aromit ovat nanokokoisia. Teessä on myös lisättyä nanokokoista seleeniä, jolla pyritään parantamaan ihmisten seleenin saantia ja imeytymistä. Tuotteesta kerrotaan, että seleenin toiminta elimistössä voi lisääntyä kymmenkertaiseksi normaaliin verrattuna. Nanokokoisten teearomien arvioidaan myös vapautuvan tehokkaammin nesteeseen (The Project of Emerging Nanotechnologies 2009c). USA:ssa on myynnissä muutamien eri valmistajien hedelmämehuja, joihin on lisätty rauta- tai muita terveysvaikuttavia nanopartikkeleita (The Project of Emerging Nanotechnologies 2009b).

Ravitsemuslisiin ja erilaisiin metalleihin liittyviä nanoteknologisia sovelluksia on saatavilla paljon internetissä. Tällaisia ovat mm. energiaravintolisät, koentsyymi Q10:ä ja nanokokoisia kulta-, hopea- ja sinkkipartikkeleita sisältävät ravintolisät (liite 3). Nanopartikkeleita käytetään myös ruoanvalmistustyövälineissä ja -työlaudoissa tuomaan tuotteille antimikrobisia ominaisuuksia (The Project of Emerging Nanotechnologies 2009b). Euroopan unionin alueella ja Suomessa ei EFSA:n mukaan ole näyttöä siitä, että nanoteknologian avulla valmistettuja elintarvikkeita tai elintarvikepakkauksia olisi markkinoilla (EFSA 2009b).

4.1 Elintarvikepakkaukset

Elintarvikepakkauksiin kehitettävät nanoteknologioihin perustuvat sovellukset suuntautuvat pidentämään elintarvikkeen elinikää parantamalla pakkauksen suojausominaisuuksia, poistamaan pakkauksesta elintarvikkeita pilaavia kaasuja ja kosteutta sekä suojaamaan elintarviketta valon aiheuttamilta muutoksilta ja pilaantumiselta (Chaudhry ym. 2008; Ollila 2008). Nurro (2008) kirjoittaa, että ensimmäiset nanomateriaaleja sisältävät elintarvikepakkaukset voisivat olla noin viiden vuoden päästä Suomessa markkinoilla. Pakkaussovellusten riskinä on, että nanomateriaalit siirtyvät pakkauksista elintarvikkeisiin. Riskejä tulee arvioida ennen kuin sovellukset pääsevät markkinoille.

Riskinä nanoteknologian sovelluksissa on, että nanomateriaalit siirtyvät pakkauksesta elintarvikkeisiin, koska pakkausmateriaaleihin sisällytetään nanopartikkeleita. Nanopartikkeleita sisältävän pakkausmateriaalien riskejä tulee arvioida ennen kuin ne pääsevät markkinoille. Nanopartikkelien käytölle tulee arvioida pakkauksesta elintarvikkeisiin siirtyvien nanopartikkelien altistumisen maksimiarvo, jotta elintarviketuotteet olisivat turvallisia ja terveellisiä käyttää ja nauttia (Chaudhry ym. 2008).

4.1.1 Aktiiviset elintarvikepakkaukset

Aktiivisten elintarvikepakkausten avulla voidaan parantaa tuotteiden aistinvaraisia ominaisuuksia. Aktiivisella pakkauksella pyritään vaikuttamaan tuotteen fysiologisiin, kemiallisiin ja fysikaalisiin prosesseihin sekä mikrobiologiseen tilaan sekä estämään elintarvikkeiden pilaantumista (Sipiläinen-Malm 2006).

Aktiiviset elintarvikepakkaukset voidaan jakaa absorboiviin ja erittäviin sekä kuumeneviin ja jäähtyviin pakkauksiin. Absorboivia materiaaleja ovat mm. kosteusabsorbentit, hapenpoistajat, etyleeninpoistajat, hiilidioksidiabsorbentit ja hajunsyöjät. Erittäviä konsepteja ovat mm. antimikrobiset materiaalit sekä hiilidioksidin, etanolin, säilöntäaineiden ja aromiaineiden erittäjät (Sipiläinen-Malm 2006).

Elintarvikepakkaussovelluksia on jo kehitetty mm. USA:ssa. ScentSational teknologiayrityksen kehittämässä *CompelAroma®* –tuotteissa hyödynnetään teknologiaa, jossa kapseloidut aromit ja maut vapautuvat ja erittyvät elintarvikepakkauksista tuotteeseen (liite 1). Yrityksen internet-sivuilla kerrotaan FDA:n (United States Food and Drug Administration, USA) hyväksyneen elintarvikelaadun omaavien aromien vapautumisen elintarvikkeisiin ja juomiin. Kapseloidut maut ja aromit sisällytetään pakkausmateriaaliin. Kun pakkaus avataan tai sitä lämmitetään, aromit vapautuvat pakkauksen ilmatilaan tai elintarvikkeeseen. Aromeja ja makuja voidaan näin lisätä tekniikan avulla elintarvikkeisiin ilman ylimääräistä rasvaa tai muita lisäaineita. Tavoitteena on, että elintarvikkeiden aromit pysyisivät tuoreina ja stabiileina pidempään niin, että ne vapautetaan elintarvikkeeseen vasta kun kuluttaja käyttää elintarviketta. Vapautuvat aromit peittävät myös ei-toivottuja hajuja ja korvaavat ne toivotuilla aromeilla. Aromit lisäävät myös pakattujen elintarvikkeiden elinikää (Pszczola 2009; ScentSational Technology 2009). EU:n lainsäädännön mukaan elintarvikkeisiin ei saa lisätä lisäaineita, jotka mahdollisesti peittävät elintarvikkeiden pilaantumista (Euroopan parlamentti ja neuvosto 2004).

Antimikrobiset nanopartikkelit ja –materiaalit

Tärkeimpiä nanoteknologisia sovelluksia aktiivisissa pakkauksissa ovat antimikrobiset nanomateriaalit ja niiden hyvät vaikutukset elintarvikehygieniaan. Antimikrobiset nanomateriaalit sisältävät nanokokoisia partikkeleita, joilla on kyky tuhota mikro-organismeja, estää niiden kasvua ja lisääntymistä. Antimikrobisilla nanopartikkeleilla voidaan pinnoittaa muoveja, kalvoja tai muita pintoja. Elintarvikkeiden pakkausteknologiassa sallittujen antimikrobisten komponenttien tulee aina olla turvallisia ja elintarvikekelpoisia sekä elintarvikelainsäädännön hyväksymiä. Huolena nanomateriaalien

käytössä elintarvikepakkauksissa on niiden mahdollinen kyky siirtyä pakkauksesta tai pinnalta elintarvikkeisiin ja aiheuttaa terveysriskejä. Nanokokoiset materiaalit sopivat antimikrobisiksi aineiksi, koska niillä on suhteellisen suuri reaktiivinen pinta-ala, joka reagoi mikrobien kanssa (Chaudhry ym. 2008).

Yleisin antimikrobinen nanomateriaali elintarvikepakkauksissa on **nanokokoinen hopea**. Nanokokoiset hopeapartikkelit estävät mikro-organismien kasvua. Nanokokoisilla hopeapartikkeleilla on todettu olevan kyky tarttua solun pintaan, hajottaa lipopolysakkarideja, tunkeutua bakteerisoluihin ja tuhota DNA:ta sekä vapauttaa antimikrobisia hopea-ioneja nanohopealiuoksesta. Nanohopeaa voidaan käyttää mm. vedenpuhdistuksessa. Nanokokoisia hopeapartikkeleita voidaan valmistaa pelkistämällä hopea-ioneita vesiliuoksessa, jolloin muodostuu kolloidinen dispersio nanokokoisia hopeaioneja (de Azeredo 2009). de Azeredo (2009) kirjoittaa, että pieni pitoisuus nanokokoisia hopeapartikkeleita on tehokkaampi *Escherichia coli* -bakteereita vastaan kuin suuri pitoisuus mikrokokoisia hopeapartikkeleita (de Azeredo 2009).

Zhang ym. (2008) tutkivat nanokokoisten hopeapartikkelien sisältämän PVP-muovin (polyvinyylipyrrolidoni) vaikutusta pakatun vihreän parsan painohäviöön, askorbiinihappo- ja klorofyllipitoisuuteen, väriin, rakenteeseen ja mikrobiologiseen laatuun. Tutkimuksen mukaan nanokokoiset hopeapartikkelit estivät parsan laadun heikkenemisen. Nanokokoisia hopeapartikkeleita sisältävä PVP-muovi esti painohäviötä, säilytti askorbiinihappo- ja klorofyllipitoisuuksia, hidasti värimuutoksia ja lisäsi parsan säilyvyyttä kymmenen päivän säilytyksessä 2 °C:n lämpötilassa. Lisäksi nanokokoiset hopeapartikkelit estivät mikro-organismien kasvua parsassa (Zhang ym. 2008).

Toinen tärkeä antimikrobinen yhdiste on **nanokokoinen titaanidioksidi (TiO₂)**. Titaanidioksidi voi esiintyä erilaisina kidemuotoina, joita ovat anataasi, rutiili ja brukiitti. Elintarviketeollisuuden kannalta tärkeimpiä kidemuotoja ovat anataasi ja rutiili. Titaanidioksidia käytetään mm. fotokatalyyttisenä desinfiointimateriaalina erilaisten pintojen päällysteinä. Titaanidioksidi edistää mikrobien solukalvojen monitydyttymättömien fosfolipidien hapettumista ja inaktivoi useiden elintarvikeväliaineiden patogeenisien bakteerien kasvua (de Azeredo 2009).

de Azeredo (2009) kirjoittaa, että pakkausteknologiassa on tutkittu titaanidioksidijauheella päällystettyjä kalvoja. Titaanidioksidilla päällystetyn kalvon todettiin vähentävän elintarvikkeen pinnan pilaantumista *Escherichia coli* -bakteereilla. Titaanidioksidi esti *E. coli* -bakteerien kasvun elintarvikkeen pinnassa. Tämän tutkimuksen mukaan titaanidioksidikalvoja voisi käyttää tuoretuotteiden kalvoina elintarvikepakkauksissa. Titaanidioksidipäällystetyt kalvot, jotka altistettiin auringonvalolle, inaktivoivat myrkyllisten kolibakteerien kasvua. Metallipäällyste paransi titaanidioksidin näkyvän valon absorbanssia ja lisäsi sen fotokatalyyttistä aktiivisuutta

UV-valossa. UV-valon avulla voidaan hajottaa orgaanisia yhdisteitä. Titaanidioksidipäällyste, johon oli lisätty nanokokoisia hopeapartikkeleita, tehosti fotokatalyyttisten bakteerien inaktivointia (de Azeredo 2009; Chaudhry ym. 2008).

Leino (2009) kirjoitti nanopinnoitteesta, joka sisältää antimikrobista titaanidioksidia hajottaen UV-valon vaikutuksesta orgaanisen aineksen vedeksi ja hiilidioksidiksi. Haasteena on yhdistää titaanidioksidi sideaineisiin siten, että se säilyttää reaktiivisuutensa, mutta ei hajota sidosaineita. Artikkelissa kerrottu antibakteerinen nanopinnoite oli 100–200 nm paksu ja molekyylin orgaaninen pää tarttui biologisiin molekyyliin (Leino 2009). Nanopinnoitteen teknologisia ominaisuuksia voitaisiin käyttää myös elintarvikkeiden antibakteerisessa pakkausteknologiassa suojaamaan elintarvikkeita.

Happea sitovat ja poistavat materiaalit

Happea sitovat nanosovellukset perustuvat materiaaleihin, jotka hapettuvat ja käyttävät siten hapen ympäröivästä tilasta. Nanoteknologian avulla hapen poistajamateriaalit voidaan sisällyttää elintarvikepakkauksen muovimateriaaliin nanokokoisina partikkeleina (Vermeiren 2003). Hapen diffuusiota elintarvikemuovien läpi tutkitaan paljon ja käytetään jo mm. useissa elintarvikejuomapulloissa USA:ssa. Honeywell (2009) markkinoi *Aegis*[®] OXCE PET –juomapulloja, joissa on käytetty happea poistavia nanopartikkeleita. PET –muoviin on sisällytetty nanokokoista nylonia ja hartsia. Hartsien tarkoituksena on estää hapen pääsy pullon sisään sitomalla sitä jo pakkausmateriaalissa. Pullot on tarkoitettu erityisesti oluelle ja muille alkoholijuomille (liite 1) (Honeywell 2009). Vastaavia tuotteita on useita markkinoilla internetissä.

4.1.2 Älypakkaukset

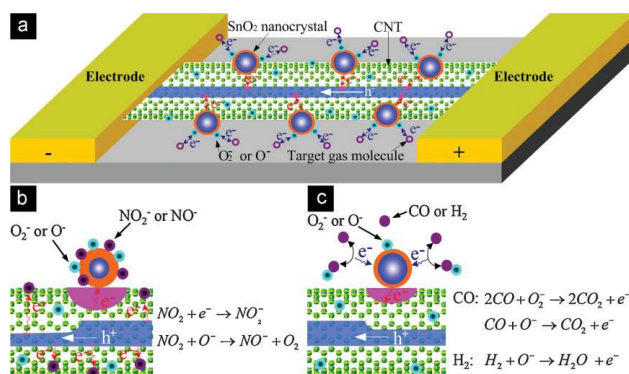
Älypakkaus tarkoittaa elintarvikepakkauksien toiminnallisia ominaisuuksia, jotka tuovat esiin elintarvikkeiden pilaantumista tai havainnollistavat elintarvikkeiden olosuhteita indikaattoreiden ja sensorien avulla. Älypakkaus kertoo kuluttajalle elintarvikkeen laadusta. Pakkaus voi sisältää lämpötilantureita, aika-lämpötilaindikaattoreita tai ilmaista kuluttajille mikrobikontaminaation. Sensorit ja indikaattorit valvovat pakatun elintarvikkeen laatua ja elintarviketta ympäröivän tilan ja ilman ominaisuuksia. Älypakkaus voisi jopa olla puhuva, haistava tai muuten ympäristön olosuhteita reagoiva elintarvikepakkaus (Ollila 2008; Vartiainen 2006).

Nanosensorit ja –indikaattorit

Nanosensorit ovat pakkauksessa olevia sensoreita, jotka reagoivat fysikaalisiin tai kemiallisiin tekijöihin. Sensorit voivat havaita elintarvikkeiden ulkoisia tai sisäisiä olosuhteita sekä jäljittää pakkauksen olosuhteita koko elintarvikeketjun ajan. Tällaiset sensorit ja indikaattorit voivat mitata ja ilmoittaa lämpötilaa, aikaa, mikrobien kasvua, toksineja, kaasujen koostumusta tai ilmankosteutta. Tärkein nanosensorin tehtävä elintarvikepakkauksessa on havaita tuotteessa tai pakkauksessa olevat patogeenit nopeasti. Uusien ja kehittyneiden tekniikoiden avulla patogeeneja voidaan todeta jopa tunneissa tai minuuteissa (Sozer ja Kokini 2009; Ollila 2008).

Sozerin ja Kokinin (2008) tutkimuksen mukaan nanosensori voi olla esimerkiksi ryhmittymä tuhansia nanopartikkeleita, jotka fluoresoivat elintarvikepatogeenien läsnä ollessa eri värejä. Biosensorit voivat myös havaita elintarvikesyntyisiä kontaminantteja. Usein ne muodostuvat biologisista tunnistuselementeistä kuten vasta-aineista, entsyymeistä, reseptoreista ja mikrobien soluista (Sozer ja Kokini 2008).

Hiilinanoputket voivat toimia mm. kaasuja havaitsevinä antureina (kuva 7). Nanosensorit voivat havainnoida pakkauksen elintarvikkeen pilaantumisprosessista vapautuvia yhdisteitä kuten orgaanisia happoja (maitohappo), etanolia, amiineja, rikkijyhdisteitä tai hiilidioksidia. Kaasumolekyylit adsorboituvat hiilinanoputkien pintaan kiinnittyneihin nanopartikkeleihin ja vaihtavat elektroneja sekä adsorboituvien kaasumolekyylien ja hapen adsorbanttien katalyyttisiin reaktioihin vapauttaen elektroneja (Lu ym. 2009).



Kuva 7. (a) Irralliset SnO₂ (tinadioksidi) nanopartikkelit ovat kiinnittyneinä hiilinanoputkeen muodostaen kaasuja havaitsevan sensorin. Kaasuja havaitseva sensori perustuu (b) SnO₂-hiilinanoputken pinnan kaasumolekyylien (esim. NO₂) adsorptioon ja elektronien vaihtomekanismiin sekä (c) tarttuvien kaasumolekyylien (esim. H₂, CO) ja hapen adsorbanttien katalyyttisiin reaktioihin vapauttaen elektroneja takaisin SnO₂-hiilinanoputken pintaan ja muuttaen sensorin johtokykyä (Lu ym. 2009).

Nanoetiketit

Elintarvikepakkauksissa voidaan hyödyntää nanoteknologiaa myös visuaalisissa etiketeissä ja pakkauksen tunnistusmerkeissä. Pakkauksissa oleva painettu älykkyys tuo pakkauksille uusia ominaisuuksia. Mahdolliset elintarvikkeiden nanoetiketit ilmoittavat mm. tuotteen lämpötilan tai viinin oikean tarjoilulämpötilan. Etikettiä raaputtamalla voisi saada selville myös tuotteen tuoksun, jonka avulla kuluttajan tietoisuus tuotteesta ja tuotteen laadusta parantuisivat (Ollila 2008).

Kuluttajapakkauksiin on tarjolla internetissä erilaisia etikettejä, joissa on toiminnallisia älykkäitä ominaisuuksia. Englannissa eräs yritys markkinoi *Timestrip*[®] aika-lämpötilaindikaattoreita, jotka ilmoittavat kuluttajille elintarvikkeen tuoreudesta. Indikaattori ilmoittaa värinmuutoksella mahdollisesta laadun heikkenemisestä (Smolander 2009; Timestrip 2009). Indikaattoreita käytetään hyvin vähän, koska niiden kustannukset ovat korkeat, ja niiden toimintakyky on vielä melko rajoitettua riippuen elintarvikkeesta, elintarvikkeen elinkaaresta ja pakkauksesta (Smolander 2009).

4.1.3 Nanokomposiittipakkauskalvot ja -laminaatit

Elintarvikepakkausteknologiassa biohajoavat materiaalit antavat mahdollisuuden ympäristöystävälliseen vaihtoehtoon synteettisten muovimateriaalien sijaan. Biohajoavat materiaalit hajoavat elävien organismien entsyymien avulla kuten bakteerien, hiivojen, sienien ja hajoamisprosessin lopputuotteiden avulla (Avella ym. 2005). Biohajoavat nanomateriaalit ovat nanokomposiitti –materiaaleja.

Biopolymeerit ja nanopartikkelit

Biopolymeereihin kuuluvat **biopolyesterit** (esim. polylaktidi PLA) ovat tärkeitä synteettisesti valmistettuja biohajoavia polymeerejä. Biopolyestereistä voidaan muokata kalvoja tai elintarviketeollisuuden tarvitsemia erilaisia muotteja. Biopolyesterien käyttäminen elintarvikepakkauksissa rajoittuu niiden huonoon kaasun pidättämiskykyyn. Ne ovat myös hauraita (Sozer ja Kokini 2008). Biopolyesterikalvojen ominaisuuksia voidaan muuttaa lisäämällä kalvoihin nanopartikkeleita, jolloin puhutaan biopolymeereistä.

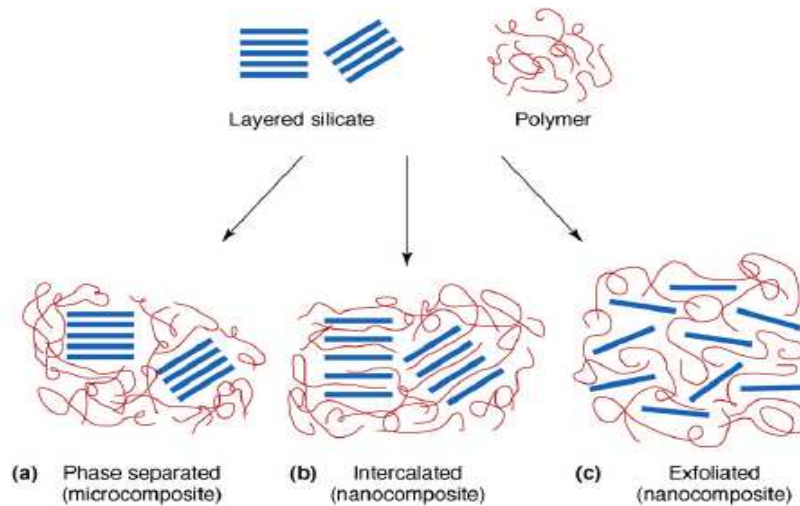
Biohajoavien pakkausmateriaalien ominaisuuksia voidaan parantaa lisäämällä biopolymeerimatriisiin erilaisia epäorgaanisia nanokokoisia

partikkeleita kuten nanosavea (engl. nanoclay). Pakkausmateriaalien ominaisuuksia voidaan parantaa myös lisäämällä pinta-aktiivisia aineita (Sozer ja Kokini 2008). Sozer ja Kokini (2008) kirjoittavat, että nanosaven lisääminen tärkkelyksestä valmistettuun kalvoon parantaisi vetolujuutta ja alentaisi vesihöyryn läpäisevyyttä.

Polymeereihin lisättävä **nanosavi**, on montmorilloniittia (bentoniittia). Sitä saadaan luonnonsavesta. Polymeerejä, joissa käytetään nanosavikomponentteja, ovat mm. polyamidit (PA), nailonit, polyolefiinit (PO), polystyreenit (PS) ja polyetylenitereftalaatit (PET) (Chaudhry ym. 2008). Nanosavi muodostaa luonnollisia nanokerrosrakenteita, jotka rajoittavat kaasujen läpäisyä ja parantavat huomattavasti kaasunsuojausominaisuuksia. Tällaisia sovelluksia voidaan käyttää elintarvikepakkauksissa jotka sisältävät mm. valmisaterioita, juustoja, leivonnaisia ja viljatuotteita sekä muissa elintarvikepakkauksissa, jotka sisältävät hapelle herkkiä tuotteita. Muita sovelluksia ovat mm. hedelmäjuomapakkaukset ja maitotuotteiden pakkaukset sekä olut- ja virvokepullojen päällysteet (Chaudhry ym. 2008).

Piidioksidi (SiO_2 , silikaatti) on yhdiste, joka sisältää piitä ja happea. Piidioksidi voi esiintyä kiteisessä tai amorfisessa muodossa. Amorfisena ja huokoisen rakenteen ansiosta yhdisteen piidioksidiatomit ovat biohajoavia ja toimivat hyvinä kantaja-aineina kuljettaen muita atomeja tai yhdisteitä solun sisään (Heino ja Lindén 2009). Piidioksidia eli silikaattia käytetään nanoteknologiassa mm. polymeeritekniikassa nanokokoisina molekyyleinä. Piidioksidin on havaittu parantavan polymeerimatriisien mekaanisia ominaisuuksia ja erilaisia suojausominaisuuksia. Piidioksidin lisääminen polypropyleenimatriisiin (PP) voisi parantaa polymeerikalvon lujuutta ja materiaalin venymisominaisuuksia (de Azeredo 2009).

Kuvassa 8 on kuvattu nanokomposiittimateriaalien muodostuminen. Kuvassa 8 a silikaatti on kerrostunut polymeerimateriaalin väliin. Kuvassa 8 b silikaatti on kerrostunut polymeerimateriaalien väliin muodostaen kerroksellisen rakenteen. Kuvassa 8 c silikaattikerrokset ovat kokonaan erillään toisistaan ja hajaantuneet polymeerimateriaaliin. Tällaisilla nanokomposiittimateriaaleilla parantaa polymeerien mekaanisia-, lämpö-, kosteus- ja tulenkestävyysominaisuuksia (Sozer ja Kokini 2008; Weiss ym. 2006).



Kuva 8. Nanokomposiittimateriaalien muodostuminen. Kohdassa (a) silikaatti on kerrostunut polymeerin sisään. Kohdassa (b) silikaatti on kerrostunut polymeerimateriaalien väliin muodostaen kerroksellisen rakenteen. Kohdassa (c) silikaattikerrokset ovat erillään polymeerimatriisissa (Sozer ja Kokini 2008).

Avellan ym. (2005) tutkivat erilaisten mineraalien migraatiota biohajoavasta tärkkelyskalvosta, joka sisälsi nanosavea. Tutkimuksen tuloksena oli, että kyseiseen pakkausmateriaaliin pakattujen salaatinlehtien ja pinaatin piidioksidi- eli silikaattipitoisuudet (SiO_2) olivat nousseet. Raudan ja magnesiumin pitoisuudet eivät olleet merkittäviä. Koska nanosavi sisältää piidioksidia, tutkijat päättelivät, että nanosavipartikkelit olivat imeytyneet pakkausmateriaalista elintarvikkeisiin (Avellan ym. 2005).

Nanolaminaatit

Nanolaminaattien muodostamia kerroksia (engl. nanolaminates) voidaan hyödyntää elintarviketeollisuuden kalvotekniikassa. Nanokerrokset muodostuvat kahdesta tai useammista nanomateriaalista, jotka ovat fyysikaalisesti tai kemiallisesti sitoutuneet toisiinsa. Syötäviä kalvoja käytetään esim. hedelmissä, vihanneksissa, suklaassa, makeisissa ja leivontatuotteissa estämään kaasujen ja kosteuden pääsyä elintarvikkeisiin sekä estämään rasvojen hapettumista. Päälysteet ja kalvot voivat parantaa elintarvikkeiden koostumusominaisuuksia ja olla väriaineiden, aromien, antioksidanttien tai antimikrobisten aineiden kuljettajia ja kantaja-aineita (Weiss ym. 2006).

Syötävien päälysteiden ja kalvojen funktionaaliset ominaisuudet riippuvat kalvojen muodostamiseen tarvittavien materiaalien ominaisuuksista. Syötävien kalvojen materiaalit ovat usein polysakkarideja, proteiineja ja lipidejä. Lipidejä sisältävät kalvot estävät hyvin kosteutta, mutta niillä on liian huono vastustuskyky kaasujen vaihtoon. Lipideistä muodostuneet nanokalvot omaavat myös huonot mekaaniset ominaisuudet. Biopolymeerikalvot estävät hyvin hapen ja hiilidioksidin pääsyä elintarvikepakkauksiin, mutta kosteuden

migraatiota ne estävät huonosti. Nanolaminaatit sopivat paremmin päällysteiksi kuin kalvonmuodostukseen, koska niistä muodostuvat kalvot ovat hauraita ja ohuita (Weiss ym. 2006).

Weiss ym. (2006) esittävät, kuinka elintarvike voidaan kapseloida nanolaminaateilla. Elintarvike voidaan kastaa liukseen, joka sisältää nanolaminaattimateriaalia tai suihkuttaa nanolaminaattimateriaali elintarvikkeen pintaan. Tarkoituksena on, että nanolaminaattimateriaali adsorboituu elintarvikkeen pintaan. Monikerroksisen nanolaminaatin ominaisuuksia, kuten koostumusta, paksuutta, rakennetta ja muita ominaisuuksia, voidaan muuttaa mm. muuttamalla adsorboituvia ainesosia, nanolaminaattikerroksien määrää tai liuksen ja ympäristön olosuhteita, kuten pH:ta, ionien välisiä sitoutumisominaisuuksia tai lämpötilaa. Nanolaminaattikerrokset voivat olla luonnollisia polyelektrolyyttejä kuten proteiineja tai polysakkarideja, varautuneita lipidejä kuten fosfolipidejä tai pinta-aktiivisia aineita ja kolloidisia partikkeleita kuten misellejä (Weiss ym. 2006).

4.2 Nanoteknologia ja elintarvikelisäaineet

Monet lisäaineet ovat ominaisuuksiltaan herkkiä tai helposti pilaantuvia, jolloin nanoteknologia voi tarjota mahdollisuuden suojata lisäainetta elintarvikkeessa. Lisäaineita voidaan suojata nanokapseleilla, jossa kapselin materiaalina on usein jokin polymeeri tai polymeerijohdannainen. Chaudhry ym. (2008) toteavat, että elintarvikelisäaineiden partikkelikoosta ei ole annettu elintarvikelainsäädännössä erityisiä asetuksia tai määräyksiä. Partikkelikoko on määritetty vain selluloosa –partikkeleille, joissa pienin partikkelin koko ei saa olla alle viisi mikrometriä (μm). Myös karrageeni –partikkelien (E407) molekyylipainojakaumalle on annettu raja-arvot.

Euroopan unionin alueella ei ole näyttöä siitä, että nanoteknologiaa hyödyntäviä lisäaineita olisi markkinoilla (EFSA 2009a). Yhdysvalloissa sen sijaan on markkinoilla erilaisia nanomateriaaleja tai nanolisäaineita sisältäviä tuotteita. Markkinoilla on elintarvikelisäaine, joka sisältää synteettisesti valmistettua lykopeeniä. *Synteettisesti valmistettu lykopeeni* on karotenoidi, jota käytetään elintarvikkeissa tuomaan tumman punainen tai punertavan violetti väri elintarvikkeisiin. Yhdisteen partikkelikoko on noin 100 nm. Lykopeeniä käytetään lisäaineena mm. virvoitusjuomissa, aamiaismuroissa, levitteissä ja erilaisissa juomissa. Vesiliukoinen lykopeeni lisätään tuotteisiin parantamaan myös tuotteiden terveysvaikutuksia (Chaudhry ym. 2008). Euroopan komissio on tänä vuonna luokitellut synteettisen lykopeenin uuselintarvikkeeksi ja siten uuselintarvikeasetuksen (EC) No: 258/97 (1997) alaiseksi (Chaudhry ym. 2008; Euroopan komissio 2009a).

Nanokokoisia E-vitamiiniemulsiopartikkeleita saadaan aikaan korkeapainehomogenisoinnilla, jossa paine on korkeampi kuin normaalissa

elintarvikeprosessissa. E-vitamiinipartikkelit voidaan lisäksi kapseloida mm. tärkkelyksellä sumutuskuivauksessa hapettumisen estämiseksi (Chen ja Wagner 2004). Chen ja Wagner (2004) tutkivat kapseloidun nanokokoisen E-vitamiinin aistittavia ominaisuuksia. *E-vitamiini* on vesiliukoinen ja sitä lisätään E-vitamiiniemulsiona erilaisiin juomiin. E-vitamiini saattaa aiheuttaa tuotteisiin sameutta ja aistinvaraisia laatuvirheitä.

Elintarvikkeissa ja erityisesti juomissa, emulsiopisarot erottuvat ja nousevat pullon kaulaan muodostaen kasautumaa. Kolloidinen juoma, jossa partikkelien koko on noin 1000 nm, näyttää maitomaiselta. Jos partikkelien koko on 100–1000 nm, juoman väri on sinertävän valkoinen. Alle 100 nm kokoiset partikkelien taitekerroin on alhainen ja kolloidinen suspensio on läpinäkyvä, jos partikkelien pitoisuus on riittävän suuri. Mehujuomissa E-vitamiinia käytetään nestemäisessä muodossa, mutta usein se voi aiheuttaa aistinvaraisia laatuvirheitä. Mitä pienempi E-vitamiinipartikkeli on, sitä paremmat aistittavat ominaisuudet E-vitamiinia sisältävällä tuotteella on (Chen ja Wagner 2004).

4.3 Nanokapselointi

Kapseloinnilla voidaan suojata reaktiivisia ja epästabiileja yhdisteitä, kuten antioksidanteja ja peptidejä elintarvikkeiden muilta komponenteilta ja ympäristön vaikutuksilta, jotta ne eivät muuttuisi tai hajoaisi. Nanokapselit ovat nanomittakaavan kapseleita, joiden imeytyminen on nopeampaa ja tehokkaampaa kuin vastaavien suurempien kapselien.

Nanokapseloinnissa kapselin materiaalina voi toimia polymeerimatriisi. Kapseli ulkopuolella on ligandeja, joilla se voi olla vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa. Nanokapselointi perustuu yhdisteiden, kapselointimateriaalin ja ympäröivän tilan fysikaaliskemiallisiin ominaisuuksiin kuten pinnan reaktiivisuuteen ja liukoisuusominaisuuksiin (Sabliov ja Astete 2008). Nanokapselointiin liittyvissä tutkimuksissa muodostuneiden nanokapselien koko vaihteli 100 nanometristä 900 nanometriin riippuen tutkimuksissa käytetyistä tekniikoista. Nanokapselien ominaisuudet vaihtelivat muodostuneiden kapseleiden koon ja kokojakauman mukaan (Sabliov ja Astete 2008).

Turvallisuuden arvioimiseksi tarvitaan tutkimustietoa nanokapselien vaikutuksista elimistössä. Semon ym. (2007) tutkimuksessa kaseiinimisellit toimivat hydrofobisen D₂-vitamiinin kapselina. Kapselit suojasivat D₂-vitamiinia UV-säteilyltä. Tutkijat ehdottivat, että nanokokoisia misellejä voitaisiin käyttää parantamaan tai täydentämään elintarvikkeiden ravintoainepitoisuuksia (Semo ym. 2007).

Israelissa kehitetyssä rypsiöljyssä nanokokoiset misellit parantavat terveysvaikutteisten rasvojen ja ravintoaineiden imeytymistä elimistöön.

Misellit sitovat lipidejä ja hyvät yhdisteet, jotka ovat liukenemattomia rasvoihin tai veteen kuten vitamiinit, mineraalit ja fytoosterolit imeytyvät elimistöön paremmin. Misellien kerrotaan myös vähentävän kolesterolin pääsyä ruoansulatuskanavasta verenkiertoon (The Project of Emerging Nanotechnologies 2009a).

4.4 Nanoemulsiot

Nanoemulsiot ovat kolloidisia dispersioita, joissa on yhdistyneenä kaksi erilaista liuosta (Leong ym. 2009). Dispersio on kahden toisiinsa liukenemattoman aineen muodostama tasainen seos. Dispersiossa aineet voivat olla nesteinä, kaasuna tai kiinteinä. Emulsio on disperssiseos, jossa neste on sekoittuneena siihen liukenemattomaan nesteeseen. Emulsiot voivat olla öljy-vedessä (O/W) ja vesi-öljyssä (W/O) seoksia. Nanoemulsioissa partikkelien koko vaihtelee 20 nm:n ja 500 nm:n välillä. Nanoemulsiot ovat usein läpikuultavia ja termodynaamisesti ja fysikaalisesti stabiileja.

Nanoemulsioita voidaan valmistaa homogenisoimalla, jolloin pisaroille saadaan kapea kokojakauma. Leong ym. (2009) käyttivät ultraäänen ja homogenisaattorin yhdistelmää triglyseridin ja veden muodostaman nanoemulsion valmistukseen. Emulsiosta tuli läpikuultavaa ja siinä olevat triglyseridiöljypisarat olivat halkaisijaltaan n. 40 nm. Emulsiossa käytettiin pinta-aktiivisia aineita estämään pisaroiden yhteensulautuminen ja hajoaminen. Vaikutus perustui siihen, että pinta-aktiivinen aine vähensi faasien välistä rajapintajännitystä (Leong ym. 2009).

Nanoemulsiorakenteilla voidaan lisätä elintarvikkeiden viskositeettiä ja suojata herkkiä yhdisteitä hapettumiselta. Suojaava vaikutus perustuu siihen, että emulsio stabiloi elintarvikkeen rakennetta (FSAI 2008).

4.5 Nanosuodatus elintarviketeollisuudessa

Suodatuksessa ja erottamisessa voidaan hyödyntää erilaisia huokosia nanopartikkeleita ja -materiaaleja. Nanosuodatukseen sopivat huokoiset nanomateriaalit kuten zeoliitit, huokoinen alumiini ja yksiseinäiset hiilinanoputket (Hornyak ym. 2008).

Nanosuodatusta käytetään paljon maito-, juusto- ja juomateollisuudessa. Sen avulla erotetaan ja puhdistetaan heraa, poistetaan liuoksista suoloja, erotetaan mineraaleja, fraktioidaan ja konsentroidaan sokereita, valmistetaan makeutusaineita, väkevöidään hedelmäjuomia ja valmistetaan uutteita, aromeja ja väriaineita sekä bioaktiivisia peptidejä ja kaseiineja. Erottuminen voi perustua molekyylien kokoon tai sähkövaraukseen. Pienten orgaanisten

molekyylien suodattaminen nanosuodattimilla riippuu molekyylien fysikaaliskemiallisista ominaisuuksista (HF-Finnatech 2009; Korhonen 2007; Weng ym. 2009).

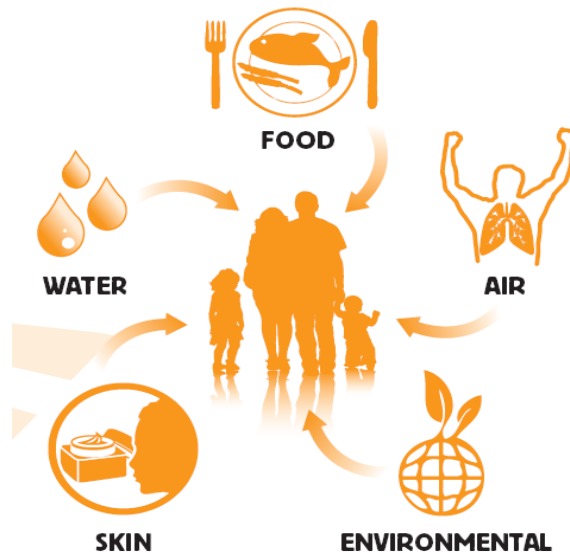
Weng ym. (2009) tutkivat ksyloosin erottamista etikkahaposta nanosuodatuksen avulla. He käyttivät nanosuodatusta, jossa kalvo koostui polymeereistä ja 1 nm:n kokoisista huokosista. Duke ym. (2008) puhdistivat maitohappoa nanosuodatuksen avulla. He käyttivät nanosuodatusmenetelmää, jossa maitohappo höyrytettiin välikalvon läpi. Ensimmäinen välikalvo oli valmistettu alumiinioksidista ja toinen piidioksidista eli silikaatista. Välikalvojen huokosten koko oli noin 4 nm. Silikaattikalvolla oli parempi kyky erottaa ja suodattaa maitohappoa (Duke 2008).

5 Nanopartikkelien ja -materiaalien riskit

- 1 Nanopartikkeleille voidaan altistua hengitysilman, elintarvikkeiden, veden ja lääkkeiden nauttimisen välityksellä tai ihon ja ympäristön kautta.
- 2 Elimistöön päästyään nanopartikkelit voivat vaikuttaa vahingollisesti.
- 3 Nanopartikkeleille altistumisesta ja toksikokinetiikasta tarvitaan lisää tutkimustietoa.

5.1 Altistuminen nanopartikkeleille ja -materiaaleille

Nanopartikkeleille voidaan altistua hengitysilman, elintarvikkeiden, veden ja lääkkeiden nauttimisen välityksellä tai ihon ja ympäristön kautta (kuva 9). Elimistöön päästyään nanopartikkelit voivat vaikuttaa vahingollisesti useassa eri kohdassa, kuten aivoissa, maksassa, munuaisissa ja suolistossa (EFSA 2009b; Singh & Nalwa 2007). Nanopartikkelien imeytyminen voi olla elimistölle solumyrkkyä. Tällöin nanopartikkelit saattavat estää solujen normaalin toiminnan kuten jakautumisen, hidastaa solujen lisääntymistä, vaurioittaa DNA:ta ja jopa aiheuttaa solujen kuolemaa (EFSA 2009b; FSAI 2008).



Kuva 9. Nanopartikkeleille altistumisen erilaiset altistusreitit (FSAI 2008).

Altistuksen arvioinnin osalta nanoteknologian avulla valmistetut elintarvikkeet eivät poikkea paljonkaan mikro- tai makrokokoisista partikkeleista tai liuotinkemikaaleista, joiden arvioinnista on saatavilla enemmän tieteellistä

tietoa. Keskeisiä tekijöitä ovat altistumlähteen ja annosvasteen selvittäminen (EFSA 2009b).

Altistuminen voi tapahtua mm. keuhkojen ja keuhkorakkuloiden kautta tai nenän epiteelikerroksen kautta verenkiertoon. Nanopartikkelien sisään hengittäminen elimistöön voi johtaa nanopartikkelien kerrostumiseen keuhkoihin ja hengitystie-eliimiin. Tämä voi johtaa erilaisten sairauksien esiintymiseen keuhkojen alueella tai nanopartikkelien leviämisen muualle elimistöön verenkierron välityksellä (EFSA 2009b; FSAI 2008; Itävaara ym. 2008; Singh ja Nalwa 2007).

Suun kautta altistuminen

Nanopartikkeleille altistuminen suun kautta voi tapahtua elintarvikkeiden, juomien tai lääkkeiden välityksellä. Nanomateriaalit voivat kulkeutua elimistöön ravinnon mukana elintarvikkeista, jotka sisältävät nanopartikkeleita. Nanopartikkeleita voi myös irrota elintarvikepakkauksista tai ruoanvalmistuksen työvälaineistä, jolloin ne kulkeutuvat elimistöön elintarvikkeiden nauttimisen välityksellä. Suun kautta altistuminen voi tapahtua myös teollisuudessa eri tuotantovaiheiden yhteydessä, kuten käsiteltäessä raaka-aineita tai valmiita tuotteita (EFSA 2009b; FSAI 2008; Itävaara ym. 2008). Suun kautta altistumisesta on raportoitu useita tutkimuksia, joissa nanopartikkelit ovat kerääntyneet ruoansulatuskanavaan (Euroopan komissio 2009b).

Ihon kautta altistuminen

Nanomateriaaleille voidaan altistua suoraan ihon kautta. Ihon kautta altistuminen voi tapahtua yleisemmin erilaisten iholle levitettävien voiteiden välityksellä. Nanopartikkelit voivat imeytyä ihon hikirauhasten tai hiustupprien kautta. Titaanidioksidi (TiO_2) ja sinkkioksidi (ZnO) ovat yleisimpiä nanomateriaaleja, joita käytetään ihovoiteissa ja auringonsuojavoiteissa estämään UV-valon tunkeutumista ihoon. Singh ja Nalwa (2007) kirjoittivat, että 10 nm:n kokoiset ja sitä pienemmät metalliset nanopartikkelit pystyisivät imeytymään sarveiskalvon ja hiustupprien kautta, mutta ei suoraan ihon läpi (Singh ja Nalwa 2007).

Työperäinen altistuminen

Työntekijöiden altistuminen nanopartikkeleille on keskeinen tulevaisuuden tutkimuskohde nanoteknologia-teollisuudessa. Työssä tapahtuvan työperäisen altistuksen mittaamiseen ei kuitenkaan ole kansainvälisesti hyväksytyjä standardoituja menetelmiä. Työperäisessä altistumisessa nanopartikkeleille altistutaan edellä esitettyjen reittien kautta. Todennäköisesti altistuminen tapahtuu hengityksen kautta altistumalla

esimerkiksi tuotteiden käsittelyvaiheiden kautta. Työperäisestä altistumisesta on hyvin vähän tietoa saatavilla. Tietoa ei esimerkiksi ole saatavilla nanomateriaalien ominaisuuksista, joille altistutaan, missä ja milloin altistutaan tai kuinka paljon nanopartikkeleille altistutaan. Työperäinen altistuminen kasvaa lisääntyä jatkuvasti nanoteknologian teollisuuden kasvaessa (EFSA 2009b; Hansen 2009; Savolainen 2008).

Ympäristön altistuminen

EFSA:n (2009b) riskinarviointiraportissa otetaan esiin myös teknisesti valmistettujen nanopartikkelien ja -materiaalien ympäristöön leviämisestä aiheutuvat ongelmat. Nanomateriaalien leviämisestä ympäristöön ollaan huolissaan. EFSA:n (2009b) lausunnon mukaan olisi teoreettinen mahdollisuus, että nanopartikkelit ja -materiaalit joutuisivat elintarvikkeisiin jo viljasadon kontaminaation kautta. Kontaminoituneet jätevedet ja muut lietteet voivat joutua maaperään ja saastuttaa viljan kasvualustan. Nanopartikkelien rakenne voi myös muuttua elintarvikkeen tuotantoketjun, valmistuksen tai varastoinnin aikana. Muutos voi johtua nanopartikkelien vuorovaikutuksesta elintarvikkeen sisältämien proteiinien, lipidien tai muiden yhdisteiden kanssa (EFSA 2009b).

5.2 Nanopartikkelien ja -materiaalien toksisuus

- 1 Nanopartikkelien vuorovaikutukset elimistössä on huonosti ymmärretty. Suurin osa *in vivo* -tutkimuksista käsittelee akuuttia toksisuutta ja vain joitakin pitkäaikaistutkimuksia on raportoitu.
- 2 Nanopartikkelien fysikaaliskemialliset ominaisuudet vaikuttavat partikkelien toksisuuteen ja käyttäytymiseen elimistössä.
- 3 Altistuminen suurelle määrälle nanopartikkeleita voi vaikuttaa solujen ja hermoston toimintaan sekä vahingoittaa DNA:ta.

Suurin osa raportoiduista nanomateriaalien *in vivo* -toksisuustutkimuksista käsittelee nanopartikkelien ja -materiaalien akuuttia toksisuutta. Vain muutamia pitkäaikaistutkimuksia on raportoitu ja tutkimukset ovat olleet silloinkin hyvin lyhytaikaisia tutkimuksia (Bouwmeester ym. 2009; Hansen 2009). Nanopartikkelien ja -materiaalien vuorovaikutukset solun organelien kanssa on huonosti ymmärretty ja lisätutkimuksia tarvitaan paljon.

Nanopartikkelien odotetaan vaikuttavan mahdollisesti aivoihin, verenkiertoon ja erityisesti hiusverenkiertoon, veren hyytymiseen, aiheuttaa verisuonten seinämien paksuuntumista aggregoituneilla partikkeleilla ja vaikuttavan eri elimistön elimiin negatiivisesti (Savolainen 2008). Nanopartikkelien ja -materiaalien vuorovaikutukset solun organelien kanssa on huonosti ymmärretty ja lisätutkimuksia tarvitaan paljon. Nanopartikkeleihin voidaan liittää monenlaista toksisuutta kuten genotoksisuutta ja ekotoksisuutta. Genotoksisuus on toksisuuden muoto, jossa nanopartikkeleilla on kyky vahingoittaa DNA:ta ja aiheuttaa muutoksia perinnöllisyydessä.

5.2.1 Toksikokinetiikka

Nanomateriaalien toksikokinetiikka tutkii aineiden ja materiaalien absorptiota, jakaantumista, aineenvaihduntaa ja erityistä elimistössä (absorption, distribution, metabolism, excretion, ADME). Nanomateriaalien imeytymisestä elimistöön on tehty paljon tutkimuksia koe-eläinmalleilla. Tutkimusten kohteena ovat olleet mm. nanokokoiset metallit ja metallioksidit (Bouwmeester ym. 2009; EFSA 2009b; FSAI 2008).

Fysikaaliskemialliset ominaisuudet vaikuttavat nanopartikkelien toksisuuteen. Koko vaikuttaa siihen, kuinka partikkelit pystyvät kulkemaan elimistössä solumembraanien läpi sekä tunkeutumaan tumaan. Mitä pienempi nanopartikkeli on, sitä helpommin se pystyy tunkeutumaan soluun. Myös

partikkelien muodolla ja morfologialla on merkitystä. Pyöreät nanopartikkelit voivat päästä elimistöön helpommin kuin sylinterin muotoiset. Partikkelien muodostaman pinta-alan kasvaminen lisää myös niiden bioaktiivisuutta. Nanopartikkelien pinnan varaus vaikuttaa partikkelien kykyyn olla vuorovaikutuksessa ympäristön kanssa, kuten solumembraanin tai DNA:n kanssa (Singh ym. 2009). Nanopartikkeleihin kiinnittyneet funktionaaliset ryhmät ja muut yhdisteet ovat vaikuttaneet suuresti partikkelien toksisuuteen *in vivo* ja *in vitro* -kokeissa. Hansen (2009) esittää muutamia tutkimuksia, joissa partikkelien pinnan kemialliset ominaisuudet ovat vaikuttaneet C₆₀ -fullereenien toksisuuteen soluissa (Hansen 2009).

EFSA:n (2009b) tieteellisessä lausunnossa referoidaan nanopartikkelien vaikutuksista ruoansulatuskanavassa tehtyjä tutkimuksia. Nanopartikkelit eivät mahdollisesti pysy elimistössä ruoansulatuskanavan onteloissa vapaina yhdisteinä vaan ne reagoivat ympäristön kanssa. Partikkelit voivat reagoida muiden yhdisteiden ja molekyylien kanssa mm. agglomeroitumalla, adsorboitumalla, muodostamalla sidoksia tai liukenemalla. Nanomateriaalit voivat reagoida myös happojen ja entsyymien kanssa, jolloin nanopartikkelit voivat menettää ominaisuuksiaan tai niille voi tulla uusia ominaisuuksia. Partikkelien siirtyminen suoliston seinämän läpi on monivaiheinen prosessi, jossa nanopartikkelit diffundoituvat suolen limakalvon läpi ja ovat vuorovaikutuksessa ohutsuolen epiteelin solujen kanssa. Nanopartikkelit tarvitsevat silloin aktiivista solukuljetusta. Epiteelisoluista suurin osa on erikoistunut ravintoaineiden imeytymisprosesseihin (EFSA 2009b).

EFSA:n (2009b) lausunnon mukaan imeytyneiden nanopartikkelien poistumisesta elimistöstä ei ole raportoitu kuin muutamia tutkimuksia. Nanopartikkelien poistumiseen elimistöstä vaikuttavat imeytymisen tavoin partikkelien fysikaaliskemialliset ominaisuudet. Muutamien tutkimusten mukaan nanopartikkelien positiivinen pintavarauksen nopeuttaa niiden poistumista elimistöstä (EFSA 2009b).

Elimistön olosuhteet voivat myös aikaansaada nanopartikkelien agglomeroitumisen isommiksi aggregaateiksi. Suurina kasautumina nanopartikkelien fysikaaliskemialliset ominaisuudet voivat muuttua ja sen seurauksena myös vaikutukset elimistössä voivat olla erilaiset. Singh ym. (2009) painottavat, että kapseloitujen nanopartikkelien vaikutukset voivat olla hyvin erilaiset verrattuna vastaavien kapseloimattomien nanopartikkelien vaikutuksiin.

Nanopartikkelien aineenvaihdunnasta on raportoitu hyvin vähän. Bouwmeester ym. (2007) esittävät, että reagoimattomat nanopartikkelit, kuten kulta- ja hopeapartikkelit, hiilinanoputket ja fullereenit, eivät todennäköisesti hajoa elimistön entsyymien vaikutuksesta. Sen sijaan näihin kiinnittyneenä olevat toiminnalliset yhdisteet voivat mahdollisesti hajota. Tällaisia ovat mm. kvanttipisteisiin sitoutuneet proteiinit, jotka voivat hajota proteaasi -entsyymien vaikutuksesta. Tällöin metallisten kvanttipisteiden ominaisuudet muuttuvat (Bouwmeester ym. 2007).

Nanopartikkelien merkittävänä fysikaaliskemiallisena ominaisuutena voidaan pitää partikkelien reaktiivista ulkopinta-alaa, joka voi absorboida biomolekyylejä ruoansulatuskanavassa. Nämä biomolekyylit voivat imeytyä mukosaan eli ruoansulatuskanavan peittävään limakalvoon kuljettamalla mukanaan erilaisia nanopartikkeleita (Bouwmeester ym. 2009). Nanomateriaalien kosketus maha-suolikanavan mukosa -limakalvokudoksen kanssa voi johtaa nanopartikkelien kulkeutumiseen kapillaareja pitkin maksaan tai imukudossysteemiin, josta ne voivat joutua tiehyiden kautta elimistön verenkiertoon (kuva 10) (EFSA 2009b; FSAI 2008). Mukosa -limakalvokerros koostuu musiini -proteiineista. Se auttaa poistamaan patogeenejä ja vieraita partikkeleita suolesta ennen niiden kosketusta suolen epiteelikerroksen kanssa (FSAI 2008; Chaudhry ym. 2008).

Nanopartikkelit voivat kulkeutua aivoihin kulkeutumalla hajuepiteelien läpi tai kulkeutumalla suoraan veri-aivoesteen (engl. blood brain barrier) läpi. Veri-aivoeste säätelee ja estää haitallisten yhdisteiden kulkeutumista verenkiertoon ja keskushermostoon. Tämän esteen läpäisevät vain molekyylit, jotka ovat lipofiilisiä tai erittäin pieniä liukoisia molekyylejä (< 500 Da) ($1 \text{ Da} = 1,6605 \times 10^{-24} \text{ g}$) (Bouwmeester ym. 2007). Bouwmeester ym. (2007) kirjoittavat, että nanopartikkelien uskotaan läpäisevän veri-aivoesteen ja kulkeutuvan keskushermostoon.

Singh ym. (2009) raportoivat metallisten ja teknisesti valmistettujen nanopartikkelien genotoksisuudesta eli taipumuksesta vahingoittaa DNA:ta ja tämän seurauksena aiheuttaa mutaatiota, karsinogeenista altistumista tai vaikuttaa lisääntymiskykyyn. Nanopartikkelien pienen koon suuren pinta-alan sekä fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien yhteisvaikutuksena nanopartikkeleilla voi olla tuntemattomia genotoksisia ominaisuuksia. Nanopartikkelit voivat vaurioittaa DNA:ta myös oksidatiivisen stressin kautta, jolloin reaktiiviset happiradikaalit reagoivat liiallisesti (Singh ym. 2009).

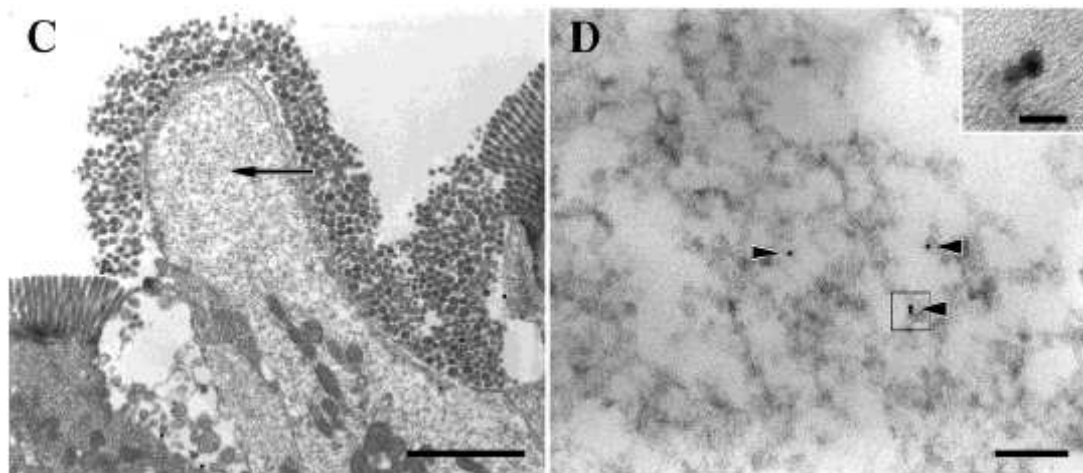
Metallisten nanopartikkelien toksisuus

Hopean (metallinen hopea, hopeaionit ja nanohopea) vaikutusmekanismit antimikrobisena aineena ovat vielä epäselviä, mutta mahdollisia mekanismeja on kuitenkin voitu päätellä muiden samantyyppisten yhdisteiden tai hopean mikrorakenteiden avulla. Nanohopeapartikkelien suuri pinta-ala mahdollistaa vuorovaikutuksen mikro-organismien kanssa, minkä arvellaan tekevän nanohopeasta tehokkaan antimikrobisen yhdisteen (Rai ym. 2009).

EFSA:n (2009b) lausunnossa referoidaan koe-eläinmalleilla tehtyjä tutkimuksia, joissa eläimiä altistettiin nanokokoisille hopeapartikkeleille oralisesti. Korkeimmat hopeapitoisuudet mitattiin mahalaukussa, munuaisissa ja maksassa sekä keuhkoissa, aivoissa ja veressä.

Naaraspuolisten koe-eläinten munuaisten hopeapitoisuus oli kaksi kertaa korkeampi kuin urospuolisten.

Hillyer ja Albrecht (2001) tutkivat 4, 10, 28 ja 58 nm halkaisijaltaan olevien **kolloidisten kultapartikkelien** absorptiota ja partikkelien leviämistä koe-eläinten elimistössä. Koe-eläimiä altistettiin oralisesti nanokokoisille kultapartikkeleille. Tutkimuksessa kävi ilmi, että nanopartikkelien koko oli merkittävimmin partikkelien läpäisevyyteen vaikuttava tekijä. Tutkituissa kudoksissa pienimpien (4 nm ja 10 nm) nanopartikkelien pitoisuus oli suuri verrattuna tutkimuksessa käytettyihin suurempiin partikkelipitoisuuksiin (28 nm ja 58 nm). Eniten 4 nm:n kokoiset partikkelit kerääntyivät mm. keuhkoihin, munuasiin, maksaan, vatsaan ja suolistoon. Tutkimukset elektronimikroskoopilla osoittivat, että nanokokoiset kolloidiset kultapartikkelit (halkaisija 4 nm) läpäisivät ohutsuolen ja pääsivät suolen solukkaan (kuva 10). Tutkimuksessa myös havaittiin ruoansulatuskanavan lumenissa nanokokoisia kultapartikkeleita, jotka pystyivät kulkeutumaan verenkiertoon (Hillyer ja Albrecht 2001; EFSA 2009b).



Kuva 10. Elektronimikroskooppikuvia kultapartikkelien sijainnista koe-eläimen ohutsuolessa. Kuvissa C ja D on merkitty nuolella 4 nm halkaisijaltaan olevien kultapartikkelien sijainti. Kuvan yläkulmassa on suurennos neliöllä kehystetystä alueesta (Hillyer ja Albrecht 2001).

Titaanidioksidin kidemuoto ja kidemuodon koko vaikuttavat yhdisteen toksisuuteen. Anataasi on biologisesti aktiivisempi kuin rutiili, mikä on tehnyt siitä myös toksisemman. Suuren määrän titaanidioksidia on havaittu aiheuttavan solukuolemaa sekä edistävän oksidatiivista stressiä. Tämä voi johtaa genotoksisuuteen, jolloin nanokokoiset titaanidioksidipartikkelit voivat aiheuttaa muutoksia DNA:ssa. Nanokokoisen titaanidioksidin on havaittu koe-eläinmalleissa aiheuttavan kromosomimuutoksia (Hansen 2009; Singh ym. 2009; Singh ja Nalwa 2007).

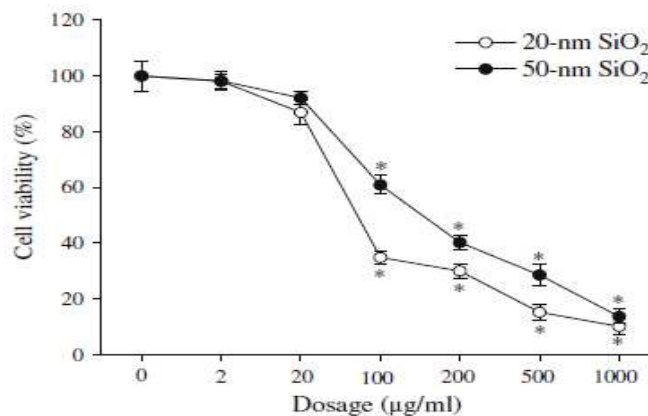
EFSA:n lausunnossa raportoitiin tutkimuksesta, jossa tutkittiin nanokokoisten titaanidioksidi -partikkelien jakaantumista koe-eläimen

ruoansulatuskanavassa. Nanokokoiset partikkelit olivat 500 nm:n kokoisia ja niitä löydettiin keuhkoista ja vatsakalvokudoksista, mutta ei sydäimestä tai munuaisista (EFSA 2009b).

Amorfinen piidioksidi eli silikaatti on valmistuksen helppouden ja edullisuuden vuoksi tärkeä raaka-aine teollisuudessa. Sitä on pidetty turvallisena ja se on myös hyväksytty käytettäväksi elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa olevissa materiaaleissa. Jotkut tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet, että amorfinen silikaatti on suurina annoksina hyvin toksista (Singh ja Nalwa 2007).

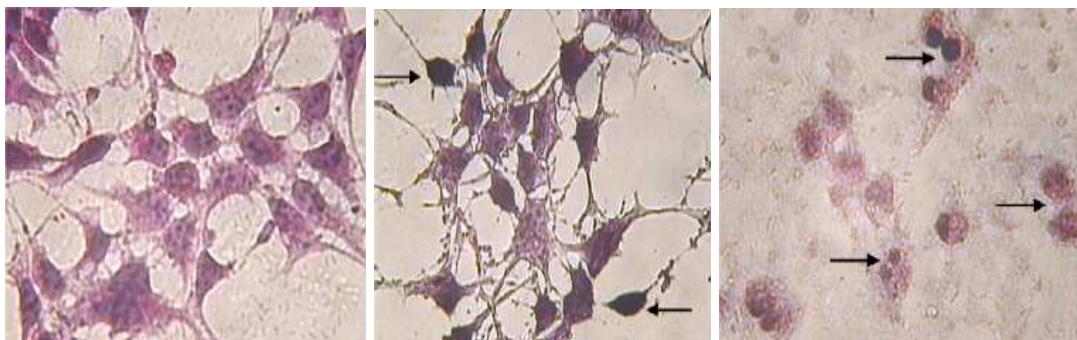
Singh ym. (2009) mukaan useissa tutkimuksissa nanokokoiset silikaatti-partikkelit ovat aiheuttaneet solukuolemaa ja oksidatiivista stressiä. Silikaatti-partikkelien todettiin muodostavan solun sisällä olevan tuman ympärille aggregaatteja ja näin estävän tuman normaalia toimintaa kuten DNA:n kahdentumista ja solujen lisääntymistä (Singh ym. 2009; Singh ja Nalwa 2007).

Wang ym. (2009) altistivat solulinjan HEK293 soluja nanokokoisille silikaatti-partikkeleille ja arvioivat altistumisen sekä annosmäärien vaikutusta solujen elinkykyyn ja oksidatiivisen stressin esiintymiseen. Käytetyt silikaatti-partikkelit olivat 20 nm:n ja 50 nm:n kokoisia ja niiden pitoisuutta solussa vaihdeltiin välillä 2–1000 µg/ml. Solun elinvoimaisuus laski, kun silikaatti-partikkelien annosmäärä soluissa kasvoi (kuva 11). Kahdenkymmenen nanometrin kokoiset partikkelit vähensivät elinvoimaisuutta enemmän kuin 50 nm:n partikkelit (Wang ym. 2009). Mitä pienempi partikkeli oli, sitä enemmän sillä vaikutti olevan toksisia ominaisuuksia elimistössä.



Kuva 11. Solujen elinvoimaisuuden heikkeneminen kun piidioksidin eli silikaatin (SiO₂) annosmäärä (µg/ml) kasvaa ja silikaatti-partikkelit ovat solussa kooltaan 20 nm (○) ja 50 nm (●) (Wang ym. 2009).

Wang ym. (2009) ovat kuvanneet nanokokoisille silikaattipartikkeleille altistuneita soluja mikroskoopilla (kuva 12). He havaitsivat silikaattipartikkeleille altistettujen solujen kutistuneen ja muuttuneen epäsäännöllisiksi. Solujen elinvoimaisuus myös väheni (Wang ym. 2009).



Kuva 12. Mikroskooppikuvia soluista (HEK293), jotka ovat altistuneet 20 nm kokoisille silikaattipartikkeleille (SiO_2) 24 tunnin ajan. Kuvassa vasemmalla on tilanne ennen altistusta. Keskimmaisessä kuvassa soluja on altistettu 50 $\mu\text{g/ml}$ pitoisuudella, oikeanpuoleisessa kuvassa soluja on altistettu 100 $\mu\text{g/ml}$ pitoisuudella. Nuolet osoittavat muuttuneita soluja (Wang ym. 2009).

Myös **nanokokoisten seleeni (Se) –partikkelien ja rauta (Fe) –oksidien** toksisuudesta on julkaistu tutkimuksia, joissa havaittiin nanokokoisten partikkelien aiheuttavan muutoksia soluissa (Hansen 2009; Singh ym. 2009; Singh ja Nalwa 2007).

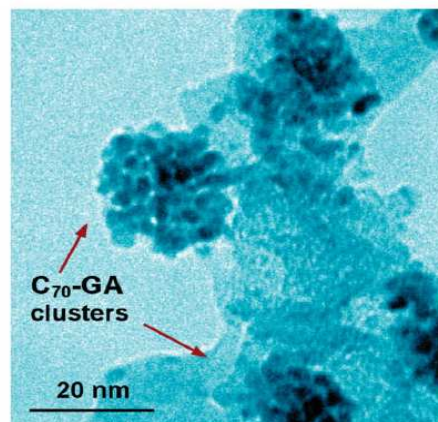
Hiileen perustuvien nanopartikkelien toksisuus

Teknisesti valmistettuja **hiilinanoputkia** kehitetään paljon bioteknologian, pakkausteknologian ja lääketieteen käyttöön. Singh ja Nalwa (2007) raportoivat hiilinanoputkien mahdollisista toksisista vaikutuksista hermostolle. Hiilinanoputket voivat muodostamaa aggregaatteja ja sitä kautta aiheuttaa soluissa toiminnallisia häiriöitä (Singh ja Nalwa 2007).

Fullereenien toksisuutta eläville organismeille tutkitaan paljon Singh ja Nalwa (2007) raportoivat, että fullereenien johdannaiset kulkeutuisivat elimistössä verenkiertoon ja aiheuttaisivat sitä kautta toksisuutta. Hansen (2009) kirjoittaa useista erilaisista tutkimuksista, joissa on tutkittu C_{60} –fullereenien toksisuutta soluissa. Suurin osa tutkimuksista on ollut akuutteja *in vivo* tai *in vitro* –kokeita ja vain joitakin pitkäaikaistutkimuksia on raportoitu (Hansen 2009).

Salonen ym. (2008) tutkivat C_{70} -fullereenien vuorovaikutusta elävien solujen kanssa *in vitro* sekä C_{70} -fullereenien ja galliinihapon (GA) yhteisvaikutusta. Galliinihappo eli 3,4,5-trihydroksibentsoehappo on fenoliyhdiste ja flavonoidi. Se toimii antioksidanttina estäen hapettumista. Galliinihappoa esiintyy

luontaisesti kasveissa ja erityisesti vihreässä teessä. Kuva 13 esittää havaittua fullereenien ja galliinihappomolekyylien aggregoitumista HT-29 solulinjan soluissa. C₇₀-GA –kompleksien keskimääräinen halkaisija oli noin 20 nm, mutta rykelmien koko vaihteli kymmenistä nanometreistä mikrometreihin. Galliinihapot adsorboituivat fullereenirykelmän pinnalle. HT-29 –solulinjan solujen todettiin altistuksen jälkeen kutistuvan 24,3 (±0,6) %. Salonen ym. (2008) mukaan solumembraanit edistävät nanokokoisten fullereenien adsorptiota ja aggregaatiota, mikä ei ole luontaista solumembraaneille. Hiileen perustuvan nanokokoisten fullereenien havaittiin aiheuttavan soluille epäjärjestyä ja kutistumista, mikä voi aiheuttaa solukuolemaa (Salonen ym. 2008).



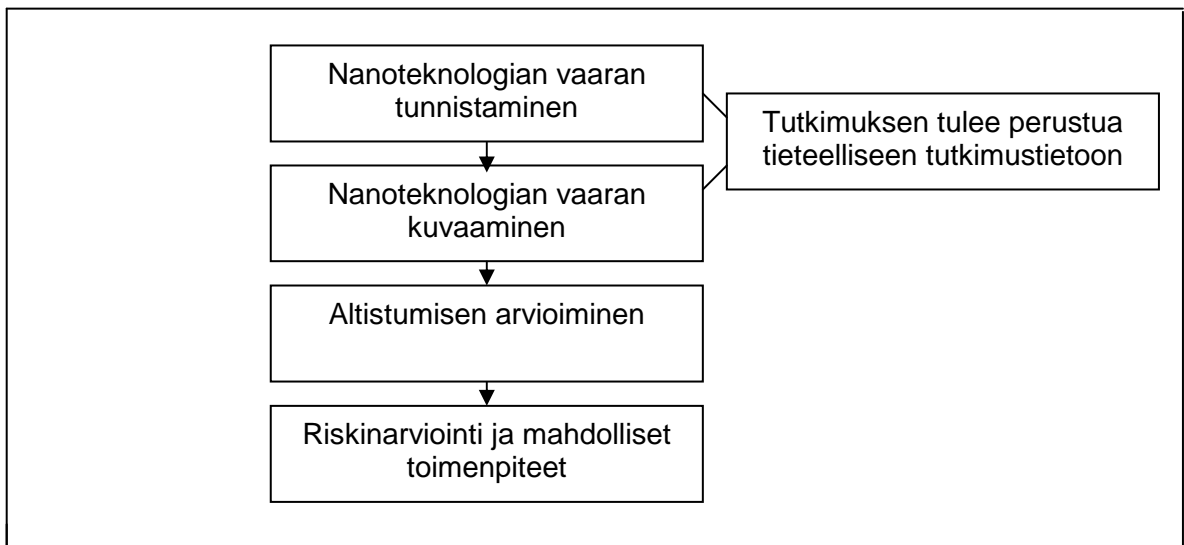
Kuva 13. Lämpöelektronimikroskooppikuva (TEM) C₇₀-fullereeni-galliinihappo –rykelmistä HT-29 solulinjan soluissa. Rykelmien halkaisijat olivat noin 20 nm (Salonen ym. 2008).

5.3 Riskinarviointi

- 1 Nanoteknologian avulla valmistettujen elintarvikkeiden riskinarvioinnissa arvioidaan nanopartikkelien aiheuttamia mahdollisia vaaroja ja riskejä ihmisille, eläimille ja ympäristölle.
- 2 Riskinarviointi perustuu pääosin teknisesti valmistettujen nanopartikkelien aiheuttamien riskien arviointiin.
- 3 Tarvittavaa tutkimusaineistoa ei ole Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen EFSA:n (European Food Safety Authority) (2009b) lausunnon mukaan saatavilla tarpeeksi.
- 4 EFSA:n (2009b) tieteellinen komitea raportoi elintarvikkeissa hyödynnettävien nanopartikkelien ja –materiaalien riskinarvioinnin tulisi olla tapauskohtaista kunnes tarvittavaa aineistoa on riittävästi.
- 5 Taulukossa 4 esitetään EFSA:n (2009b) ja Euroopan komission (2009b) lausunnoissa raportoituja nanoteknologian avulla valmistettujen elintarvikkeiden riskinarvioinnin tekijöitä, joihin tulee kohdistaa tutkimuksia.

Elintarvikkeiden riskinarviointi koostuu neljästä osatekijästä (kuva 14); vaaran tunnistamisesta, vaaran kuvaamisesta, altistuksen arvioinnista ja riskin kuvaamisesta sekä mahdollisten toimenpideskenaarioiden vaikutuksen arvioinnista (EFSA 2009b; FSAI 2008). Vaaran tunnistamisen ja riskinarvioinnin tulee pohjautua tieteelliseen tutkimustietoon. EFSA:n (2009b) tieteellisen komitean mukaan elintarvikkeissa hyödynnettävien nanopartikkelien ja –materiaalien riskinarvioinnin tulisi olla tapauskohtaista, kunnes tarvittavaa tutkimusaineistoa on olemassa riittävästi. Tällä hetkellä riskinarviointi keskittyy pääasiassa teknisesti valmistettuihin nanopartikkeleihin (EFSA 2009b).

Toksikologisilla testeillä tunnistetaan nanopartikkelien ja –materiaalien mahdollisesti aiheuttamia vaaroja (kuva 14). Niiden avulla saadaan tietoa nanopartikkelien käyttäytymisestä elimistössä eli miten nanopartikkelit vaikuttavat esimerkiksi iholla, maksassa, suussa, silmissä, keuhkoissa tai aivoissa. Toksikologisten testien luotettavuutta heikentävät nanokokoisten partikkelien määrittämiseen elintarvikematriisista tarkoitettujen analyysimenetelmien puute. Vaaran tunnistamiseen tarvitaan myös nanokokoisten partikkelien fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien tuntemista, koska ne usein ennustavat partikkelien käyttäytymistä esim. ruoansulatuskanavassa. EFSA:n (2009b) tieteellinen komitea suosittaa sekä kvalitatiivista että kvantitatiivisia toksikokineettisiä analyysejä (EFSA 2009b).



Kuva 14. Nanoteknologian riskinarvioinnin kulku pääpiirteittäin (muunnettuna FSAI 2008; EFSA 2009b).

Elintarvikkeissa hyödynnettävien nanopartikkelien ja –materiaalien riskinarvioinnissa tulee EFSA:n (2009b) ja Euroopan komission (2009b) lausuntojen mukaan keskittyä taulukossa 3 esitettyihin tekijöihin, joihin tulisi kohdistaa lisätutkimuksia.

Taulukko 3. Keskeisiä tekijöitä arvioitaessa nanopartikkeleita ja –materiaaleista aiheutuvia riskejä (EFSA 2009b; Euroopan komissio 2009b):

Riskinarviointi

- Nanopartikkelien fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien määrittäminen ja tunteminen
- Nanopartikkelien tutkimustietojen ja aineistojen kokoaminen
- Nanopartikkelien ja -materiaalien analyysi- ja mittausmenetelmien selvittäminen
- Altistuminen nanopartikkeleille ja –materiaaleille, altistumisen tutkiminen, altistuneiden määrän arviointi
- Elintarvikkeissa hyödynnettävien nanopartikkelien tunnistaminen ja analysoiminen elintarvikematriisista standardoitujen menetelmien avulla
- Nanopartikkelien toksisuuden määrittäminen ja yhteisvaikutusten tunteminen
- Nanopartikkelien toksikologisten ominaisuuksien tunteminen ja määrittäminen, kulkeutuminen elimistössä
- Ympäristön altistuminen nanopartikkeleille ja –materiaaleille

Tärkeä osa riskinarviointia on altistuksen arvioiminen. Siinä on keskeistä määrittää altistuslähde, altistuvien määrä sekä altistumisen voimakkuus eli annosvaste (EFSA 2009b).

Euroopan komissio (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR) on kehittänyt eräänlaisen neljäosaisen laskentamenettelyn arvioimaan kuluttajien mahdollista altistumista nanopartikkeleja sisältäville tuotteille. Menettelyssä voidaan arvioida altistusta tapauskohtaisesti. Ensin arvioidaan solujen ja kudosten altistuminen nanopartikkeleille. Seuraavaksi tutkitaan partikkelien kerääntymistä soluihin ja kudoksiin, joiden avulla voidaan arvioida pitkänajan altistumista. Viimeiseksi arvioidaan nanomateriaalien kykyä muuttua elimistölle toksiseksi (Euroopan komissio 2009b).

Nanopartikkelien ja -materiaalien määrittely on käynnissä CEN:n, ISO:n ja OECD:n toimesta (kts. taulukko 4). Tärkeämpiä ominaisuuksia riskinarvioinnin kannalta ovat nanopartikkeleiden koko, kyky agglomeroitua ja muodostaa aggregaatteja, massa, pinta-ala, muoto, tiheys, morfologia, huokoisuus ja pinnan ominaisuudet (EFSA 2009b).

6 Nanopartikkelien analyysimenetelmät ja standardointi

- 1 Nanopartikkelien ja -materiaalien pieni koko ja niiden osin tuntemattomat ominaisuudet vaikuttavat niiden mittaamista elintarvikkeissa.
- 2 Nanopartikkelien analyysimenetelmille ei ole yksiselitteisiä kansainvälisiä standardeja.
- 3 Eurooppalainen standardoimisjärjestö CEN (the European Committee for Standardization) laatii parhaillaan nanoteknologiaan liittyviä yhteisiä ohjeita ja toimintatapoja Euroopan unionin lainsäädännön tueksi.
- 4 Kansainvälinen standardoimisjärjestö ISO (International Organization for Standardization) tuottaa myös mm. nanoteknologiaan liittyviä kansainvälisiä standardeja.

Nanopartikkelien ja –materiaalien mitattavuus ja analyysimenetelmät

Nanopartikkelien ja -materiaalien pieni koko ja niiden osin tuntemattomat ominaisuudet vaikuttavat elintarvikkeissa olevien nanopartikkelien mittaamista ja analysointia. EFSA:n (2009b) tieteellisessä lausunnossa tämän arvioidaan johtuvan siitä, että nanopartikkelien vuorovaikutuksia elintarvikkeiden kanssa ei tunneta riittävän hyvin. FSAI (2008) puolestaan arvioi raportissaan, että elintarvikkeet sisältävät jo luonnostaan paljon nanopartikkeleita, jolloin nanopartikkeleiden määrää ja altistumista on vaikeaa hahmottaa. Nanopartikkeleiden analysoimiseen ei ole standardoituja menetelmiä ja analyysijä tehdään hyvin erilaisin menetelmin. Tämä vähentää tulosten luotettavuutta sekä tekee tulosten vertailun hankalaksi tai jopa mahdottomaksi. Menetelmät eivät myöskään ole sovellettavissa kaikkiin materiaaleihin vaan tarvitaan monia erilaisia standardoituja menetelmiä (EFSA 2009b; FSAI 2008; Itävaara ym. 2008).

Kun partikkelit ovat nanoluokkaa, niiden havaitsemiseen tarvitaan atomitason erotuskykyä. Nanopartikkelien ja -materiaalien tyypillisiä karakterisointimenetelmiä ovat mm. erilaiset optiset menetelmät, elektronimikroanalyysit, pyyhkäisyteknologiat, spektroskooppiset menetelmät, ioni-partikkelitekniikat ja termodynaamiset menetelmät. Optisissa menetelmissä tutkimusmenetelmänä hyödynnetään näkyvän valon aallonpituuksia (400–800 nm). Elektronimikroanalyysissä käytetään hyväksi elektronien ominaisuuksia, joilla voidaan kuvata ja määrittää materiaalien rakenteita. Käytetyimpiä menetelmiä ovat pyyhkäisyelektronimikroskopia (SEM) ja läpäisyelektronimikroskopia (TEM). Myös röntgentekniikalla

(aallonpituus 0,01–10 nm) voidaan analysoida nanopartikkeleita. Yleisimmin nanopartikkeleiden tunnistamiseen käytetty röntgenmenetelmä on röntgendiffraktio (XRD) (EFSA 2009b; Hornyak ym. 2008). Nanopartikkelien tunnistamiseen ja määrittämiseen sopii myös massaspektrometri (MS). Nanopartikkelien metallisia ominaisuuksia voidaan analysoida massaspektrometrillä (ICP-MS) ja elektronimikroskoopilla (EM) (Hornyak ym. 2008). Edellä kuvatut menetelmät soveltuvat hyvin puhtaiden nanopartikkelien mittaamiseen. Mukana oleva elintarvikematriisi tekee mittaamisesta huomattavasti haasteellisempaa.

Nanoteknologiaan liittyviä standardeja

CEN (the European Committee for Standardization) on eurooppalainen standardoimisjärjestö, jonka jäsenet tuottavat yhteistyössä vapaaehtoisia eurooppalaisia standardeja. CEN:llä on valmisteilla ja kehitettävänä useita nanoteknologiaan liittyviä standardeja jo olemassa olevan standardin CEN/TC 352 alle. Valmisteilla olevat standardit sisältävät mm. ohjeita nanopartikkelien mittaamiseen ja teknisesti valmistettujen nanopartikkelien ilmoittamiseen pakkausmerkinnöissä. Lisäksi valmisteilla on standardeja metallisten nanopartikkelien toksikologisiin testeihin (CEN 2009). Kansainvälinen standardoimisjärjestö ISO (International Organization for Standardization) tuottaa myös nanoteknologiaan liittyviä standardeja (CEN 2006; ISO 2009). CEN:n ja ISO:n valmiit standardit on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Nanoteknologiaa koskevat jo olemassa olevat standardit (CEN 2006; ISO 2009):

Standardi	Standardin sisältö
CEN/TC 352	Terminologia, mittausmenetelmät, nanoteknologian tuotteet
ISO/TC 229	Terminologia, nanopartikkelien määrittely, nanoobjektien määrittely
TC/146/SC 2	Nanoaerosolit, työperäinen altistuminen nanoaerosoleille

7 Elintarvikkeisiin liittyvän nanoteknologian turvallisuus ja tutkimus Euroopan unionissa

7.1 Eu-taso

Euroopan komissio, Euroopan parlamentti ja Euroopan unionin jäsenmaat ovat vastuussa elintarviketurvallisuuteen liittyvistä riskeistä ja riskien hallinnasta. Riskinhallintaprosessi kattaa mm. lainsäädännön valmistelun ja toimeenpanon, uusien linjauksien määrittelyn ja elintarviketurvallisuuteen liittyvän riskinhallinnan toimeenpanon. *Euroopan komissio* antaa tieteellisiä toimeksiantoja elintarviketurvallisuuteen liittyen *Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaiselle EFSA:lle*. EFSA:n päärooli on antaa riippumattomia tieteellisiä lausuntoja ja arvioita elintarviketurvallisuuteen liittyvistä kysymyksistä. Euroopan komissio ja EFSA tekevät tiivistä yhteistyötä jäsenvaltioiden kansallisten elintarviketurvallisuusviranomaisten kanssa. EU:n jäsenmaissa tehdään elintarvikkeisiin liittyvää riskinhallintaa ja -arviointia kansallisella tasolla.

EFSA tekee tiivistä yhteistyötä jäsenvaltioiden kansallisten elintarviketurvallisuusviranomaisten kanssa, jotta riskinarviointityö olisi EU:n kaikissa 27 jäsenvaltiossa järjestäytyntä ja tasapuolisesti kannustavaa. EFSA:n tieteellinen komitea jakaa tieteellistä tietoa ja muuta informaatiota jäsenmaiden kanssa. *EU:n jäsenmaissa* tehdään elintarvikkeisiin liittyvää riskinarviointia kansallisella tasolla. Jäsenmaat tekevät päätökset elintarviketurvallisuudesta kuitenkin edellyttäen, että päätökset ovat johdonmukaisia EU:n päätösten kanssa.

Euroopan unionin tuleviin uusiin terveysriskeihin erikoistunut tieteellinen komitea (The Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR) raportoi lausunnossaan, että nanokokoisilla partikkeleilla voi olla hyvin erilaisia toksikologisia ominaisuuksia verrattuna suuremman koon partikkeleihin. Nanomateriaalien riskejä tulee arvioida tapauskohtaisesti, koska erilaisilla nanopartikkeleilla on erilaiset ominaisuudet. Myös riskienarviointitapoja ja analyysimenetelmiä tulee kehittää tulevaisuudessa paljon enemmän, jotta terveysriskejä voidaan analysoida (Euroopan komissio 2009b).

Euroopan komission SANCO -osaston (the Directorate General for Health and Consumer, SANCO) tehtävänä on edistää kuluttajien tietoutta erilaisista terveyteen liittyvistä asioista Euroopan unionin alueella. Nanoteknologian yleistyessä elintarvikkeissa ja elintarvikepakkauksissa SANCO pyrkii edistämään sovellusten turvallisuutta. Se pyrkii tunnistamaan komission valmistelemasta selonteosta mahdollisia epäkohtia liittyen mm. lainsäädäntöön (SANCO 2009a ja 2009b).

Euroopan unionin elintarviketurvallisuusviranomaisen EFSA (The European Food Safety Authority) antoi lausunnon teknisesti valmistettujen nanomateriaalien riskeistä. Lausunnossa arvioitiin erityisesti tarkoituksenmukaisesti elintarvikkeisiin lisättyjen teknisesti valmistettujen nanomateriaalien riskejä kuluttajille. Lisäksi määriteltiin riskinarviointimenetelmiä teknisesti valmistetuille nanomateriaaleille elintarvikkeissa. Lausunnossa esitettiin myös teknisesti valmistetuille nanomateriaaleille tehtyjä toksikologisia tutkimuksia (EFSA 2009b).

EFSA:ssa toimii tieteellisiä lautakuntia, jotka koostuvat eri alan asiantuntijoista ja valmistelevat asiantuntijalausuntoja Euroopan komissiolle. Elintarvikkeisiin liittyvän nanoteknologian riskejä arvioidaan lautakunnassa, joka arvioi elintarvikkeiden kanssa kosketuksissa olevien materiaalien, entsyymien, aromien ja muovien (The EFSA panel on food contact materials, enzymes, flavourings and processing aids, CEF) turvallisuutta ja riskejä (EFSA 2009c).

Euroopan unionin seitsemännen puiteohjelman yhden teemaosion tavoitteena on edistää ja kehittää nanotieteen ja -teknologian tutkimusta. Puiteohjelma on lanseerattu vuosille 2007–2013. Siinä painotetaan seuraavia asioita: nanotieteet ja teknologiat, nanokokoiset materiaalit, uudet tuotantomenetelmät ja teknologian integrointi Euroopan unionissa. (Euroopan komissio 2009b; Tekes 2005). Euroopan komissio ylläpitää nanoteknologiaan liittyvää sivustoa (Community Research & Development Information Service, CORDIS) jossa esitetään Euroopassa käynnissä olevia ja jo valmistuneita tutkimushankkeita (Euroopan komissio 2005).

NANOSH (engl. Inflammatory and genotoxic effects of engineered nanomaterials, 2006–2009) on Euroopan unionin kuudennen puiteohjelman tukema nanoteknologiaan liittyviä tutkimusprojekti. NANOSH keskittyy tutkimaan työperäistä altistumista teknisesti valmistetuille nanopartikkeleille ja -materiaaleille ja pyrkii selvittämään nanopartikkelien aiheuttamia terveysvaikutuksia. Projektissa tutkitaan teknisesti valmistettujen nanopartikkelien terveysriskejä. NANOSH painottaa lausunnossaan, että nanoteknologian terveysvaaroista tiedetään hyvin vähän ja mahdolliset terveysuhat ja -ongelmat voidaan välttää tutkimalla nanoteknologian mahdollisia terveysriskejä (NANOSH 2009).

Elintarvikkeiden nanosovellukset ovat uuselintarvikkeita, joille pitää hakea Euroopan komissiolta uuselintarvikelupa, ennen kuin ne voidaan tuoda markkinoille EU:n alueella. Uuselintarvikkeisiin liittyviä arviointeja ja päätöksiä tehdään yhteisesti koko EU:n alueella. Päätöksentekoon osallistuvat siten kaikki jäsenvaltiot ja komissio. Uuselintarvikehakemuksesta tehdään ensiarvio siinä maassa, jossa uuselintarvike aiotaan tuoda ensimmäiseksi markkinoille. Muut jäsenmaat kommentoivat ensiarvioita ja lopullisen päätöksen tekee EU:n komissio (MMM 2009).

7.2 Esimerkkejä eri EU:n jäsenmaista

7.2.1 Suomi

Suomessa elintarvikelainsäädännöstä ja valvonnan yleisestä ohjauksesta vastaa maa- ja metsätalousministeriö. Alan keskusvirastona toimii Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Suomessa Evira on nimetty yhteysviranomaiseksi uuselintarvikkeista koskevista lupa-asioissa. Evira toimittaa materiaalin Suomen uuselintarvikelautakunnalle arvioitavaksi (Evira 2009a ja 2009b; MMM 2009).

Suomessa tapahtuvat nanoteknologian tutkimus on laajaa ja ulottuu hyvin eri tutkimusaloille (taulukko 5). Nanotieteen tutkimusohjelma FinNano (2006–2010) on Suomen Akatemian tutkimusohjelma, jossa yhdistetään kemian, fysiikan ja biotieteiden nanomittakaavaista tutkimusta ja tuetaan alan kehittymistä Suomessa. Tutkimusohjelman tavoitteena on tukea korkeatasoista nanotieteen perustutkimusta, aktivoida alan tieteidenvälistä lähestymistapaa, kehittää tutkijankoulutusta ja tutkimusympäristöä ja luoda verkostoitumista ja kansainvälisyyttä. Ohjelman tavoitteena on myös edistää nanoteknologian vastuullista kehittämistä (eettiset haasteet, turvallisuus, terveellisyys) ja alan eurooppalaista ja muuta kansainvälistä toimintaa. FinNano –tutkimusohjelmaan kuuluu kymmenen suomalaista hanketta, joihin Akatemia on osoittanut rahoitusta vuosille 2006–2010. Tutkimushanke toteutetaan yhteistyössä Tekesin FinNano –tutkimusohjelman kanssa (Suomen Akatemia 2009).

Tekesin FinNano nanoteknologian ohjelmassa on käynnissä yli 100 tutkimus- ja tuotekehitysprojektia. Tekesin FinNano –ohjelma keskittyy nanorakenteisiin materiaaleihin, nanosensoreihin sekä nanoelektroniikkaan. EU on mukana rahoittamassa nanoteknologian ja -tieteiden kehittämistä vuosina 2007–2013 ja tutkimus kuuluu Euroopan unionin seitsemänten puiteohjelmaan. Tekesin (2009) julkaisun mukaan nanoteknologiaa hyödyntävien suomalaisyritysten määrä on jo yli 200. Suurin osa yrityksistä toimii kemianteollisuudessa tai terveys- ja hyvinvointisektorilla (Tekes 2009).

VTT, Finpro ja Tekes tutkivat ja kehittävät yhdessä älypakkauksia, elintarvikkeiden jäljittämistä elintarvikeketjusta ja erilaisia nanoväriaineita. VTT on kehittänyt näkyvän väripäällysteisen indikaattorin, joka ilmaisee asiakkaalle elintarvikkeen tuoreuden ja tuotteen turvallisuuden. Indikaattori vaihtaa väriä, jos se joutuu kosketuksiin muodostuneen vetysulfidin kanssa. Samantyyllisiä indikaattoreita voidaan käyttää myös reagoimaan mm. elintarvikkeita pilaavien kaasujen tunnistuksessa kuten hapen tunnistuksessa (Food from Finland 2009).

Nanoteknologian sovelluksia tutkitaan ja kehitetään paljon eri teollisuussektoreilla. Nykyiset pakkausmateriaalien projektit nanoteknologian alalla keskittyvät mm. pahvien päällystämiseen nanomateriaaleilla ja uusien sovellusten kehittämiseen mm. vaahdon soveltuvuuden kehittäminen elintarvikepakkausmateriaaliksi (KCL 2009).

VTT tutkii nanoteknologian mahdollisuuksia ja sovelluksia elintarvikkeiden pakkaamisessa ja pakkausmateriaaleissa. Tutkimus on keskittynyt älykkäiden ja aktiivisten pakkausten kehittämiseen. VTT tutkii myös painetun älykkyyden mahdollisuuksia pakkauksissa lisäämällä tuotteen laatua. Tutkimuksessa kehitetään mm. kuitumateriaaleja. VTT on kehittänyt myös tuoreusindikaattorin elintarvikkeille, joka kertoo kuluttajalle tuotteen laadusta. Tutkimuksen alla on myös bioaktiivinen paperi, jossa lisätään biomolekyylien funktionalisuus kuitumateriaalituotteeseen. Biomolekyylit ovat mm. entsyymejä tai vasta-aineita. Lisäksi VTT:llä tutkitaan nanoteknologiaa elektroniikkasovelluksissa (VTT 2009).

VTT, TKK ja UPM perustivat Suomen Nanoselluloosakeskuksen, jossa kyseessä oli kolmen yhteistyökumppanin tutkimusryhmä. Nanoselluloosakeskuksen tavoitteena oli luoda nanoteknologian avulla selluloosalle uusia käyttömahdollisuuksia raaka-aineena. Sovelluskohteita ovat mm. erikoispaperit, paperipinnoitteet, pakkaukset ja rakennusmateriaalit (VTT 2008). Nämä tutkimukset johtavat myös elintarvikkeiden pakkausteknologian kehittymiseen ja nanoteknologian kehittymiseen tällä alalla.

Suomessa on perustettu Pohjois-Suomen mikro- ja nanoteknologian strategiyhteistyö, jossa kehitetään nanoteknologian tutkimusta ja kehitystä erityisesti Pohjois-Suomessa. Strategia on määritetty vuosille 2008–2013 ja strategian teknologiset ja kaupalliset painopisteet ovat riittävän suuret ja kohdennetut panostukset teknologisille painopistealueille. Nanoteknologian klusteriohjelman (2007) tiedotteen mukaan vuosina 2008–2013 keskeisiä hyödyntämistoimialoja elintarviketoimialalla ovat mm. anturit, älykkäät pakkaukset, nanopartikkelit, suodattimet ja funktionaaliset komponentit (Nanoteknologian klusteriohjelma 2007).

Suomessa nanopartikkelien terveysvaikutuksia tutkii Työterveyslaitos. Työterveyslaitos (2009) tutkii mm. nanopartikkelien toksisia ominaisuuksia. Eräässä käynnissä olevassa tutkimuksessa selvitetään teollisuuden hyödyntämien nanopartikkelien terveysvaikutuksia. Työterveyslaitos tutkii nanopartikkelialtistumisen aiheuttamia muutoksia ihmisen makrofaagi- ja keuhkosoluviljelmissä. Tutkimuksessa selvitetään myös mahdollisen oksidatiivisen stressin aiheuttamia soluvaurioita testaamalla nanomateriaaleja, jotka sisältävät nanokokoisia metallioksideja ja hiilinanoputkia. Tutkimuksessa havaitut muutokset antavat tietoa solumuutosten ja -vaurioiden tapahtumisesta ja antavat mahdollisuuksia riskinarviointiin ja altistumista kuvaavien biomonitoimintomenetelmien kehittämiseen (Työterveyslaitos 2009).

Suomen Eduskunnassa arvioidaan nanoteknologian mahdollisuuksia ja riskejä tulevaisuusvaliokunnassa. Tulevaisuusvaliokunta käsittelee tulevaisuuden kehitykseen vaikuttavia tekijöitä, tulevaisuuden tutkimusta ja teknologiakehityksen vaikutuksia. Tulevaisuusvaliokunta sai esiselvityksen nanomateriaalien mahdollisuuksista ja riskeistä nanotieteenalan asiantuntijoilta vuonna 2008. Esiselvityksen tavoitteena oli muodostaa yleiskäsitys nanoteknologian tutkimuksen ja kehitystyön laajasta kentästä. Erityisesti selvityksessä tarkasteltiin nanotekniikkaan liittyviä turvallisuuskysymyksiä (Itävaara ym. 2008). Myös sosiaali- ja terveysministeriö on antanut lausunnon nanoteknologian terveysvaikutusten tutkimiseen. Riskien torjunta on erityisen tärkeää ihmisen ja ympäristön kannalta ja kuluttajien luottamus nanoteknologiaa kohtaan takaa teknologian menestyksen tulevaisuudessa (Sosiaali- ja terveysministeriö 2006).

Opetusministeriön työryhmä on asettanut nanotieteen ja -teknologian kehittämisohjelman vuosille 2007–2009, jossa tuetaan korkeatasoista nanotieteen koulutusta ja tutkimusta yliopistoissa. Kehittämisohjelman avulla pyritään tukemaan, että alan koulutustarjonta vastaa työelämän tarpeita ja tukea nanotieteen kalliiden tutkimusinfrastruktuurin hankintaa, ylläpitoa ja tukipalveluita (Opetusministeriö 2005).

Suomessa on myös laajaa nanoteknologian tutkimusta ja koulutusta elektroniikan-, lääketieteen- ja muun tekniikan alalla (taulukko 5). Helsingin yliopistossa toimivat mm. biotekniikan instituutti, ja biokeskus, joissa tutkitaan lääketieteen ja biotekniikan nanoteknologian tutkimuksia. Lisäksi yliopistossa opetetaan nanoteknologiaa matemaattis-luonnontieteellisessä yliopistossa. Jyväskylän yliopistossa sijaitsee Nanoscience Center, Lappeenrannan teknillisessä yliopistossa teknillisessä tiedekunnassa tutkitaan nanomateriaaleja ja -teknologiaa, Oulun yliopistossa sijaitsee mikro- ja nanoteknologian keskus, joka tarjoaa nanoteknologian huippututkimusta. Teknillisessä korkeakoulussa Espoon Otaniemessä sijaitsee Micronova, mikro- ja nanotekniikan laitos sekä muita nanoteknologian tutkimukseen ja opetukseen keskittyneitä laitoksia. Turun yliopistossa sijaitsee funktionaalisten elintarvikkeiden kehittämiskeskus sekä muuta biokemiaan ja bioteknologiaan liittyvää nanoteknologian tutkimusta.

Taulukko 5. Esimerkkejä nanoteknologiaa tutkivista tutkimustahoista ja yliopistoista elintarvike-, pakkaus-, ja bioteknologiaan liittyen (muunneltuna Itävaara ym. 2008).

Nanoteknologiaa tutkivia tutkimustahoja, -ohjelmia ja yliopistoja	
Elintarviketurvallisuusvirasto Evira	<ul style="list-style-type: none"> • Valvonta
Helsingin yliopisto, Helsinki	<ul style="list-style-type: none"> • Institute of Biotechnology • Biocentrum Helsinki • Technomedicum
Jyväskylän yliopisto	<ul style="list-style-type: none"> • Nanoscience Center
Lappeenrannan teknillinen yliopisto	<ul style="list-style-type: none"> • Teknillinen tiedekunta, materiaalfysiikka, nanoteknologia
Maa- ja metsätalousministeriö MMM	<ul style="list-style-type: none"> • Virallinen lainsäädännöllinen kanta nanoteknologiaan
OSKE, Valtioneuvoston erityisohjelma Osaamiskeskusohjelma Oulun yliopisto	<ul style="list-style-type: none"> • Nanoteknologian kehitys 2007–2013 • Mikro- ja nanoteknologian keskus
Suomen Akatemia	<ul style="list-style-type: none"> • Nanotieteen tutkimusohjelma FinNano 2006–2010
Suomen itsenäisyyden juhlarahasto SITRA	<ul style="list-style-type: none"> • Innovaatiot, yleisen keskustelun aloitus, tutkimusta muiden tahojen kanssa
Suomen ympäristökeskus SYKE	<ul style="list-style-type: none"> • Ympäristönsuojelu
Teknillinen korkeakoulu, Espoo	<ul style="list-style-type: none"> • Mikro- ja nanotekniikan laitos, Micronova • Teknillisen fysiikan laitos, NanoSpin Group, NanoMaterials Group
Teknologian kehittämiskeskus Tekes	<ul style="list-style-type: none"> • FinNano 2005–2010
Terveyden ja hyvinvoinnin laitos THL	<ul style="list-style-type: none"> • Nanotieteellinen tutkimus
Turun yliopisto ja Åbo Akademi, Turku	<ul style="list-style-type: none"> • Funktionaalisten elintarvikkeiden kehittämiskeskus • Nanoscience and nanotechnology in Turku, Department of biochemistry and food chemistry • Turku Center for Biotechnology
Työterveyslaitos TTL	<ul style="list-style-type: none"> • Tutkii nanoteknologian terveysvaikutuksia
Valtion teknillinen tutkimuskeskus VTT	<ul style="list-style-type: none"> • Nanoteknologian tutkimusta, elektroniikka, farmasia ja elintarvikkeet ja pakkaukset

7.2.2 Irlanti

Irlannin elintarvikeviranomaisen (the Food Safety Authority of Ireland, FSAI) on julkaissut raportin nanoteknologian sovellusten turvallisuudesta elintarvike- ja rehuteollisuudessa (engl. The Relevance for Food Safety of Applications of Nanotechnology in the Food and Feed Industries) (FSAI 2008). Irlannin elintarvikeviranomaisen tieteellinen komitea pohti valtakunnallista tarvetta nanoteknologiaa hyödyntävien elintarvikesovellusten tieteelliselle riskinarvioinnille nanoteknologiaa hyödyntäville elintarvikesovelluksille. Tieteellisen komitean lausunnon tarkoituksena oli neuvoa tunnistamaan ja arvioimaan kaikkia mahdollisia ilmaantuvia riskejä, joita nanoteknologian käyttö saattaa tuoda esiin. Tarkoituksena oli myös tunnistaa elintarvikelainsäädännön epäkohtia ja määrittää puuttuvia tietoja, joita tarvitaan riskinarviointiin. Tieteellisen komitean lausunnon tarkoituksena oli myös neuvoa Irlannin elintarvikeeturvallisuusvirastoa nanoteknologiaan liittyvissä asioissa ja tuoda tietoa elintarvikeeturvallisuudesta Irlannin kansalaisille (FSAI 2008).

7.2.3 Iso-Britannia

Isossa-Britanniassa nanoteknologiaa tutkii ja valvoo elintarvikestandardeja valvova viranomaisen (The Food Standards Agency FSA). FSA on riippumaton viranomaisen, jonka tehtävänä on turvata terveelliset elintarvikkeet kuluttajille (FSA 2008). Ison-Britannian hallitus on julkaissut esityksen nanoteknologiasta (Novel Materials in the Environment: The Case of Nanotechnology). Esityksessä mainitaan, että hallitus haluaa kehittää ihmisten ja ympäristön terveyttä, jatkaa nanoteknologian tutkimusryhmien toimintaa, tukea tutkimusryhmiä myös ulkomailla, toimia yhteistyössä ulkomaisten yhteistyökumppaneiden kanssa kehittäen tehokasta tutkimusta ja lisätä yleistä keskustelua nanoteknologiasta, jotta uusi teknologia otettaisiin positiivisena vastaan kuluttajien keskuudessa (UK Government 2009).

DEFRA on Ison-Britannian ympäristö-, elintarvike- ja maatalousministeriö (The Department for Environment, Food & Rural Affairs, DEFRA), joka vastaa edellä mainittuihin liittyvistä asioista. Ministeriö on perustanut nanoteknologiaa tutkivan ryhmän (The Nanotechnology Research Coordinated Group, NRCG), jonka tehtävänä on valvoa julkisesti rahoitettavia nanoteknologian tutkimuksia, määrittää riskiarviointia ja mahdollisia nanoteknologiaan liittyviä terveysvaikutuksia (DEFRA 2009).

Isossa-Britanniassa toimii myös elintarvikkeiden ja ympäristön tutkimusvirasto (The Food and Environment Research Agency, FERA), joka

tutkii nanoteknologiaa ja nanoteknologian turvallisuutta. Virastossa selvitetään nanoteknologian myötä kehitettyjä uusia materiaaleja, elintarviketuotteita ja –sovelluksia. Tutkimuksissa tutkitaan, ovatko tuotteet ja sovellukset turvallisia ihmisten terveydelle ja ympäristölle. Tutkimuksiin kuuluu myös selvitykset lainsäädännön toteutumisesta nanoteknologiatuotteissa. FERA:n tutkijat osallistuvat myös Euroopan komission nanoteknologian tutkimuksiin (FERA 2009).

7.2.4 Saksa

Saksan elintarvikeviranomaisen (The Federal Office of Consumer Protection and Food Safety, Bundesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, BVL) valvoo elintarvikkeiden ja kuluttajatuotteiden turvallisuutta ja elintarvikelainsäädännön toteutumista Saksassa. Saksassa riskinarviointia tehdään riskinarviointi-instituutissa (Federal Institute for Risk Assessment, BfR). BfR:ssa on arvioitu nanoteknologian avulla valmistettujen elintarvikkeiden riskejä. Saksassa tehdään myös asiantuntevaa tutkimusta nanoteknologiasta.

Saksan kemianteollisuuden järjestö (German Chemical Industry Association, Verband der Chemischen Industrie e.V., VCI) on vastuullisen nanoteknologian tuotteiden ja käytön puolestapuhuja. VCI painottaa työntekijöiden turvallisuutta työskenneltäessä kemikaalien ja nanopartikkelien kanssa. Saksassa on käynnissä yhteistyöprojekti kemianteollisuuden yritysten ja yliopistojen tutkimusinstituuttien kanssa, jossa tutkitaan nanopartikkelien agglomeraatiota ja aggregaattien ominaisuuksia sekä yksittäisten nanopartikkelien stabiilisuutta. Tutkimukseen kuuluu myös vertailla olemassa olevien mittausmenetelmien sopivuutta ilmassa olevien nanopartikkelien tutkimiseen (VCI 2008).

8 Nanoteknologia Euroopan ulkopuolella

- 1 USA:ssa elintarvike- ja lääkeviranomaisen FDA (The United States Food and Drug Administration) vastaa elintarvikkeiden turvallisuudesta.
- 2 FDA raportoi, että nanoteknologian kohdalla lainsäädäntöä arvioidaan tapauskohtaisesti ja tarpeelliset analyysit ja toksikologiset testit vaaditaan arvioitaessa nanoteknologian avulla valmistettujen tuotteiden turvallisuutta.
- 3 USA:ssa on jo saatavilla nanoteknologiaa hyödyntäviä elintarvikkeita ja nanopakkauksia internetistä (kts. liite 1).
- 4 Kanadassa nanoteknologian vaaroja ja riskejä arvioi nanoteknologiaan erikoistunut lautakunta.
- 5 Kanadassa ei ole erillistä lainsäädäntöä elintarvikkeille, joissa on hyödynnetty nanoteknologiaa.

8.1 Esimerkkejä nanoteknologian tutkimuksesta ja valvonnasta Euroopan unionin ulkopuolisissa maissa

8.1.1 Nanoteknologian tutkimus ja valvonta USA:ssa

FDA (The United States Food and Drug Administration) on USA:n elintarvike- ja lääkeviranomaisen, joka vastaa elintarvikkeiden ja lääkkeiden turvallisuudesta ja siihen liittyvien elintarvikkeiden raaka-aineiden kuten lisäaineiden ja väriaineiden sekä elintarvikepakkauksimateriaalien turvallisuudesta. FDA:sta raportoidaan, että nanoteknologia voi luoda lainsäädännöllisiä haasteita uusien ominaisuuksien vuoksi. Vuonna 2006 FDA perusti nanoteknologiaa tutkivan työryhmän (Nanotechnology Task Force), joka lähestyy nanoteknologian käyttöä elintarvikkeissa ja elintarvikepakkauksissa lainsäädännön kautta (Bugusu ym. 2009; FDA 2007).

FDA:n työryhmä julkaisi lausunnon (FDA 2007), jossa raportoidaan nanomateriaalien erityisominaisuuksia, nanomateriaaleja sisältävien elintarvikkeiden turvallisuusriskejä ja voimassa olevien lakien ja säädösten merkitystä niiden turvallisuudelle. Lausunnossa arvioitiin, että nykyiset FDA:n viranomaiset ovat päteviä vastaanottamaan nanoteknologian tuomia haasteita, analyysijä ja suosituksia liittyen nanoteknologian lainsäädäntöön (Bugusu ym. 2009; FDA 2007). Koska teknologia kehittyy nopeasti, lainsäädäntöä ja säätelyä pitää arvioida tapauskohtaisesti. FDA:n viranomaisten omien sanojen mukaan he säätelevät tuotteita, eivät

teknologiaa. FDA vaati teollisuutta sitoutumaan viraston asiantuntijuuteen, tutkimukseen ja kehitykseen jo nanoteknologiaa hyödyntävien tuotteiden valmistuksen alussa, jotta tulevat tuotteet voidaan hyväksyä ja saattaa markkinoille turvallisesti (Bugusu ym. 2009).

CFSAN (The Center for Food Safety and Applied Nutrition, CFSAN) on FDA:han kuuluva osasto, joka on vastuussa elintarvikkeiden pakkausmateriaalien lainsäädännön toteutumisesta. CFSAN säätelee nanoteknologian avulla valmistettuja elintarvikepakkausmateriaaleja, joista nanopartikkeleita voi migratoitua elintarvikkeisiin. CFSAN:n tehtävänä on tutkia nanopakkausmateriaalien turvallisuutta ja mahdollisten terveysvaarojen esiintymistä (Cole ja Bergeson 2008).

FDA:lla on lista yleisesti turvallisiksi hyväksytyistä elintarvikkeista, elintarvikkeiden ainesosista tai kemikaaleista (engl. generally recognized as safe, GRAS). Kun ainesosa on listalla, ei valmistajan tai tuottajan tarvitse tehdä erillistä selontekoa ainesosien turvallisuudesta tai elintarvikkeiden nanokokoisten lisäaineiden siirtymisestä pakkausmateriaalista elintarvikkeisiin (Cole ja Bergeson 2008).

USA:n ympäristöviraston EPA:n (The United States Environmental Protection Agency) tavoitteena on suojella ihmisten terveyttä ja ympäristöä. EPA:ssa toimii tutkimus- ja kehitysministeriö (The Office of Research and Development, ORD), joka tekee tieteellistä tutkimusta ministeriön ja viraston käyttöön. NIA on nanoteknologiaeteollisuuden järjestö (Nanotechnology Industries Association, NIA), joka on myös mukana EPA:n ja ORD:in tutkimuksissa (EPA 2008 ja 2009).

USA:n maatalouden jaoston (The United States Department of Agriculture, USDA) tutkimus ja kehitysosasto (Cooperative State Research, Education and Extension Service, CSREES) panostaa nanoteknologiaan liittyviin tutkimuksiin elintarvike- ja maataloustieteiden kannalta. USDA ja CSREES toimivat myös yhdessä muiden tutkimusorganisaatioiden kanssa kehittäen nanoteknologiaa ja teknologian sovelluksia. USDA:n tutkimuskohteet nanoteknologiassa ovat mm. elintarvikeprosessit ja –valmistus, kasvi-, eläintuotannon ja ympäristön suojeleminen. CSREES –tutkimusryhmässä tutkitaan mm. nanosensoreita, älytuotteita ja nanomateriaaleja (USDA 2009).

Woodrow Wilson International Center for Scholars on tutkimusinstituutti, jossa on analysoitu nanoteknologiaa hyvinkin avoimesti ja poliittisesti. Woodrow Wilson Center tutkii nanoteknologian aiheuttamia mahdollisia terveys- ja ympäristöriskejä, työntekijöiden mahdollista altistumista nanopartikkeleille ja –materiaaleille ja lainsäädännön toteutumista (Woodrow Wilson Center 2007). Woodrow Wilson Center (2008) on julkaissut riskinarviointiraportin nanomateriaalien käytöstä elintarvikkeiden pakkaamisessa. Raportti keskittyy pakkausmateriaaleissa käytettävien teknisesti valmistettujen nanopartikkelien turvallisuusarviointiin. Raportin mukaan lainsäätäjät kuten FDA, EPA ja USDA tarvitsevat yleiskatsauksen

siitä, mitä tuotteita olisi tulossa markkinoille ja kuinka nanoteknologia vaikuttaa pakkauksissa. Raportin toivotaan olevan alku nanotieteen yleiselle keskustelulle liittyen elintarvikepakkauksiin. Woodrow Wilson Centerin (2008) raportissa tarkastellaan elintarvikepakkauksen lainsäädäntöä (Woodrow Wilson Center 2008).

NIOSH (The Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) on raportoinut teknisesti valmistettujen nanopartikkelien ominaisuuksista ja riskeistä. Raportti selventää nanopartikkelien ja -materiaalien mahdollisia terveysvaikutuksia ja niille altistumisen arviointia. NIOSH on keskittynyt tutkimaan mm. altistumista nanomateriaaleille, riskinarviointia, mittausmenetelmien määrittämistä ja nanoteknologian sovellusten turvallisuuden määrittämistä (NIOSH 2009). NIOSH on perustanut nanoteknologian tutkimuskeskuksen (*NIOSH Nanotechnology Research Center, NTRC*), jossa tutkimuksen avulla pyritään takaamaan nanoteknologian kanssa työskenteleville turvalliset ja terveelliset työolosuhteet (NIOSH 2009).

8.1.2 Nanoteknologian tutkimus ja valvonta Kanadassa

Kanadassa nanoteknologiaa liittyvää tutkimusta johtaa asiantuntijoista koostuva lautakunta (The Expert Panel on Nanotechnology). Asiantuntijat pyrkivät tutkimaan Kanadan neuvoston (Council of Canadian Academies) asettamana mm. nanoteknologian aiheuttamia mahdollisia terveys- ja ympäristövaikutuksia. Neuvosto vastaa Kanadan terveysviranomaisille ja raportoi nanomateriaalien ominaisuuksista, terveysriskeistä ja Kanadan lainsäädännöstä liittyen nanoteknologiaan. Nanoteknologiaan liittyvä asiantuntijalautakunta on raportoinut, että Kanadassa ei ole nanomateriaaleihin liittyvää erikoistunutta lainsäädäntöä. Kanadan terveys- ja ympäristöviranomaiset (Health Canada, Environment Canada) ovat kuitenkin tiedostaneet nanomateriaalien mahdollisesti aiheuttamat riskit (Council of Canadian Academies 2008).

Kanadassa pyritään kehittämään väliaikainen terminologia ja tunnistusmenetelmät nanopartikkeleille ja -materiaaleille, käynnistämään nanoteknologiaan liittyvän lainsäädännön laatiminen ja kehittämään standardoituja menetelmiä nanokokoisten materiaalien käsittelemiseksi turvallisesti. Kanadan viranomaiset pyrkivät myös kehittämään uusia analyysimenetelmiä, jotta osattaisiin suojella työntekijöitä, kuluttajia ja ympäristöä nanoteknologian aiheuttamilta mahdollisilta riskeiltä (Council of Canadian Academies 2008).

9 Nanoteknologia tieteellisissä organisaatioissa

- 1 IOMC (The Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals) on yhteistyöorganisaatio, johon kuuluvat mm. OECD, WHO ja Unesco. Organisaation tavoitteena on kehittää yhteinen näkemys elintarvikkeiden turvallisuudesta nanoteknologian sovelluksissa. IOMC:n tavoitteena on jakaa tietoa ympäri maailman.
- 2 OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) tutkii nanoteknologiaa eri näkökulmien kautta mm. myös taloudellisesta ja kaupallisesta näkökulmasta. OECD tutkii nanoteknologian globaaleja vaikutuksia mm. ympäristöön, puhtaaseen juomaveteen ja ilmastonmuutokseen.
- 3 Unesco:n (The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) nanoteknologian tutkimus painottuu tieteen etiikan tutkimukseen. Unesccon tutkimuksissa bioetiikka, periaatteet ja eettiset normit ovat tärkeitä.
- 4 WHO:n (the World Health Organisation) tehtävä nanoteknologian tutkimuksessa on kannustaa ja neuvoa elintarvikealan toimijoita ja tukea yhteistyötä nanoteknologian saralla.
- 5 IRGC (the International Risk Governance Council) on puolueeton tutkimussäätiö, joka hyödyntää nanoteknologian tutkimuksessa asiantuntijuutta sekä yksityiseltä että julkiselta sektorilta.
- 6 The Friends of the Earth organisaatio (FOE) suhtautuu kriittisesti nanoteknologiaan ja teknologian uusiin sovelluksiin ja on ympäristö- ja terveysasioita ajava mielipideorganisaatio. Organisaatio painottaa nanoteknologian mahdollisista terveysvaaroista.

The Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals, IOMC

IOMC (The Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals) on vuonna 1995 perustettu yhteistyöorganisaatio, joka perustettiin voimistamaan yhteistyötä ja lisäämään koordinoitua kemiallisen turvallisuuden alalla. Organisaatioon kuuluu seitsemän osallistajaorganisaatiota, jotka ovat FAO (the Food and Agriculture Organization of the United States), ILO (the International Labour Organization), OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development), UNEP (the United Nations Environment Programme), UNIDO (the United States Industrial Development Organization), UNITAR (the United Nations Institute for Training and Research) ja WHO (the World Health Organisation) (IOMC 2009).

Organisaation päätavoitteina on kehittää yhteinen näkemys elintarvikkeiden turvallisuudesta nanoteknologian sovelluksissa elintarvike- ja maataloussektoreilla. Tavoitteena on myös jakaa tietoa muiden maiden ja organisaatioiden kanssa, jotka ovat jo aloittaneet tutkimukset nanoteknologiasta. Tarkoituksena on hyväksyä etusijalla olevat tavoitteet, jotta voidaan hallita mahdollisia elintarvikkeiden turvallisuuteen liittyviä vaaroja ja riskejä liittyen nanoteknologian sovelluksiin elintarvike- ja maatalousalalla (IOMC 2009).

Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD

OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) on perustanut työryhmän tutkimaan nanomateriaalien turvallisuutta (Working Party on Nanotechnology, WPN). Lisäksi OECD:ssä toimii myös muita nanoteknologiaan liittyviä työryhmiä. OECD:llä on kokemusta kemikaalien turvallisuustestauksen ja -arvioinnin menetelmien kehittämisestä. Työryhmällä on kahdeksan nanoteknologian tulevaisuuden pääteemaa. Nämä teemat ovat mm. tietopankin kehittäminen terveyteen liittyville turvallisuustutkimuksille, tutkimusstrategia ja turvallisuustutkimusmääritelmä teollisesti valmistetuille nanopartikkeleille, analysointimenetelmien kehittäminen, riskienarviointimenetelmien kehittäminen, nanoteknologiaan liittyvien toksikologisten tutkimusten kehittäminen sekä vaihtoehtoisten tutkimusmenetelmien kehittäminen ja nanopartikkeleille altistumisen mittausten menetelmien kehittäminen (OECD 2009c).

OECD tutkii nanoteknologian mahdollisuuksia vastata globaaleihin haasteisiin kuten ympäristöön, puhtaaseen juomaveteen, ilmastonmuutokseen, maatalouteen tai energian rajallisuuteen. OECD painottaa kestävästä kehityksestä puolesta. Ensimmäinen tutkimusohjelma alkoi jo vuonna 2008, jolloin OECD alkoi tutkia nanoteknologian mahdollisuuksia puhtaan veden hankkimisessa. Tuloksia tutkimuksesta odotetaan loppuvuodesta 2009 (OECD 2009b). OECD:ssä tutkitaan myös nanoteknologian tulevaisuuden mahdollisuuksia taloudessa ja kaupankäynnissä. OECD tutkii, tuoko nanoteknologia uusia ja erityisesti turvallisuuteen liittyviä haasteita yrityksille. Tutkimukset kohdistuvat bio- ja nanoteknologian alalle (OECD 2009a). OECD tarjoaa internetsivuilla hakupalvelun, jonka avulla voi tarkastella nanoteknologiaan liittyviä maailmanlaajuisia tutkimuksia. OECD julkaisee vuoden 2010 alussa tilastoja nanoteknologiasta.

The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Unesco

Unesco (the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) painottaa nanoteknologian tutkimusohjelmassaan tieteen etiikan tutkimusta. Vuonna 1998 Unesco perusti komission, jossa tutkimuskohteena oli tieteen ja

teknologian etiikka (the World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology, COMEST) (Unesco 2006). Komission tehtävänä on olla tieteellinen foorumi, jossa voi vaihtaa ideoita ja kokemuksia, määrittää ensimmäisiä merkkejä riskitilanteista, edistää keskustelua tieteellisten yhdistysten, päätöksentekijöiden ja kuluttajien kesken (Unesco 2006).

Unesco:n eettisen ja tieteellisen jaoston (The Division of Ethics of Science and Technology) tehtävänä on edistää eettisiä arvoja ja normeja, ohjata tieteellistä ja teknologista kehitystä ja sosiaalista muutosta yhteiskunnassa. Unesco:n (2006) mukaan nanoteknologian eettiset kysymykset tulee tunnistaa ja analysoida, jotta saadaan tietoa uuden teknologian seurauksista. Nanoteknologia kehittyy nopeasti, joten ennakoiva lähestyminen nanoteknologian eettisiin kysymyksiin on tarpeellista (Unesco 2006).

Nanoteknologian terveysvaikutuksista ja turvallisuudesta tiedetään hyvin vähän. Tämä voi aiheuttaa kuluttajissa kielteisiä ajatuksia nanoteknologiasta, kuten geenimuunneltujen elintarvikkeiden kohdalla on huomattu. Unesco (2006) näkee organisaationsa olevan taho, joka voi helpottaa uuden teknologian kehitystä ja kaupallisten tuotteiden standardien hyväksymistä sekä kannustaa antamaan eettisiä standardeja kaupalliseen, mutta myös perinteiseen tieteelliseen nanoteknologian tutkimukseen (Unesco 2006).

The World Health Organisation, WHO

WHO:n organisaatio (the World Health Organisation) arvioi nanoteknologian todellisia ja mahdollisia sovelluksia elintarvike- ja maataloussektoreilla. Organisaation tarkoituksena on tunnistaa mahdollisia elintarvikkeiden turvallisuuteen liittyviä tekijöitä liittyen nanoteknologian sovelluksiin ja arvioida olennaiset nanotieteen alueet, joista halutaan tieteellistä neuvoa eri viranomaisilta. WHO:n organisaation tehtävänä on myös kannustaa ja neuvoa elintarvikealan toimijoita yhteiseen keskusteluun nanoteknologiasta (WHO 2009).

United Nations, UN

Yhdistyneet kansakunnat (United Nations, UN) on julkaissut raportin nanoteknologiasta ja meneillään olevista tutkimuksista liittyen nanoteknologiaan ja sen terveysvaikutuksiin. Myös YK painottaa nanoteknologian globaalin kehityksen hyviä vaikutuksia. Näitä ovat mm. nanoteknologian kehittäminen niin, että kolmannen maailman väestönsat hyötyisivät siitä. YK toimii globaalisti ja painottaa nanoteknologian terveysvaikutuksia uuden teknologian kehityksen rinnalla (United Nations 2009).

The International Risk Governance Council, IRGC

IRGC (The International Risk Governance Council) on itsenäinen säätiö Sveitsissä, jonka tarkoituksena on tunnistaa ja ehdottaa suosituksia hallita lisääntyviä maailmanlaajuisia riskejä. Jotta voidaan taata puolueettomuus neuvoissa ja suosituksissa, IRGC hyödyntää kansainvälistä tietämystä ja asiantuntijuutta sekä yksityiseltä että julkiselta sektorilta. IRGC kehittää tämän avulla tietoon perustuvaa riskinhallintasuosituksia politiikantekijöille, yrityksille tai muihin poliittisiin näkökantoihin. IRGC on julkaissut raportin elintarvikkeiden ja kosmetiikan riskeistä ja riskinarvioinnista. Raportissa annetaan suosituksia nanokokoisten materiaalien riskinarviointiin (IRGC 2009).

Leatherhead Food International

Leatherhead Food International (LFI) on vuonna 1919 perustettu elintarvikkeiden turvallisuuteen keskittynyt organisaatio, johon kuuluu yli 1000 elintarvikeyritystä. Organisaation asiantuntijat neuvovat yrityksiä elintarvikkeisiin liittyvissä asioissa kuten elintarvikkeiden lanseerauksessa, elintarviketurvallisuudessa ja -laadussa, lainsäädännössä sekä elintarvikepakkauksiin liittyvissä asioissa. Organisaation toimintaan kuuluu myös julkisesti ja yksityisesti rahoitettujen tutkimusten organisointi ja tutkimustyö sekä tuottaa tutkimuksia ja analyttisiä projekteja FSAl:lle, EU:lle ja terveysalan ministeriölle Englannissa (LFI 2009a).

LFI –organisaatio on perustanut NanoWatch työryhmän. Ryhmä tekee yhteistyötä nanoteknologian osaamisverkoston (the Nanotechnology Knowledge Transfer Network, NanoKTN) kanssa. Tutkimustyöryhmän tarkoituksena on luoda verkosto, joka edistää ja kehittää dialogia Englannin hallituksen ja elintarviketeollisuuden kanssa ja keskittyy lisääntyvään mikro- ja nanoteknologiaan elintarvikkeissa, juomissa ja lääketeknologisissa sovelluksissa. Ryhmän tavoitteina on myös tunnistaa mahdolliset teknologiat, jotka vaikuttavat elintarvike- ja juomateollisuudessa ja helpottavat elintarvikeketjua ja siirtää nanoteknologian tietämystä elintarviketeollisuuden käyttöön (LFI 2009b ja 2009c).

The Friends of the Earth

The Friends of the Earth –organisaatio (FOE) on organisaatio, joka ilmaisee kriittisesti mielipiteitä ilmastoon, elintarvikkeisiin ja teollisuuteen sekä moniin muihin ihmisiä ja ympäristöä koskeviin aiheisiin. Organisaatio suhtautuu nanoteknologiaan ja sen elintarvikesovelluksiin hyvin kriittisesti ja painottaa erityisesti nanoteknologian mahdollisista terveysvaaroista. The Friends of the Earth –organisaatio on julkaissut yleisen katsauksen nanoteknologiasta elintarvikkeissa ja elintarvikepakkauksissa sekä katsauksen nanokokoisista hopeapartikkeleista ja niiden terveysvaikutuksista. Edellisessä katsauksessa

arvostellaan hyvin kriittisesti nanokokoisten hopeapartikkelien kasvavaa käyttöä teollisuudessa ja niiden vaikutuksista ihmisten terveyteen (the Friends of the Earth 2008 ja 2009).

10 Yhteenveto

Nanoluokkaa olevien partikkelien ja –materiaalien hyödyntäminen elintarvikkeissa ja elintarvikepakkauksissa luo suuria odotuksia elintarvikekehitykselle. Samaan aikaan eri tahot pohtivat teknologian mahdollisia riskejä ihmisille, eläimille ja ympäristölle.

Kiinnostus nanoteknologian soveltamiseen elintarvikkeissa ja elintarvikepakkauksissa lisääntyy nopeasti. Nanoteknologiaa hyödyntäviä elintarvikepakkauksia kehitetään Suomessakin. Nanoteknologian avulla on mahdollista pidentää elintarvikkeiden elinikää, parantaa tuotteiden laatua ja informoida kuluttajaa tuotteen laadusta. Myös nanokokoisten antimikrobisten partikkelien ja –materiaalien käyttö ja tutkimus lisääntyy jatkuvasti. Kiinnostus teknologiaa kohtaan lisääntyy elintarvikesovellusten ilmaantuessa markkinoille. Toistaiseksi nanoteknologiaa hyödyntäviä elintarvikkeita on saatavilla vain internetin välityksellä.

Nanoteknologian avulla valmistettujen elintarvikkeiden ja elintarvikepakkauksien riskinarvioinnissa erityisen kiinnostuksen kohteena ovat teknisesti valmistettujen nanopartikkelien ja –materiaalien turvallisuus, niille altistuminen ja niiden käyttäytyminen elimistössä. Elintarvikkeiden kannalta kiinnostavia teknisesti valmistettuja nanomateriaaleja ovat hiilinanoputket ja fullereenit. Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen EFSA on antanut lausunnon teknisesti valmistettujen nanomateriaalien riskeistä ja riskinarvioinnista. Nanoteknologian elintarvikesovelluksissa tulisi huomioida myös luontaisten biomolekyylien ja muiden nanopartikkelien hyödynnettävyys.

Nanopartikkelien ja –materiaalien riskinarviointiin tarvitaan tietoa altistumisesta, jotta voidaan arvioida mahdolliset altistumisreitit ja niiden vaikutukset elimistöön. Nanopartikkeleille voidaan altistua mm. hengitysilman, suun, ihon, elintarvikkeiden tai juomaveden välityksellä. Erityisen huolestuneita ollaan työperäisestä altistumisesta, sillä se lisääntyy nanoteollisuuden kasvaessa. Työperäisestä altistumisesta ei ole saatavilla riittävästi tietoa, jotta voitaisiin arvioida riskit luotettavasti ja kattavasti ja laatia arvioinnin pohjalta oikeanlaiset toimintamallit.

Nanopartikkelien ja –materiaalien toksisuuteen liittyviä *in vivo* -tutkimuksia on tehty runsaasti. Tutkimukset koskevat pääasiassa akuuttia toksisuutta eikä luotettavia pitkäaikaistutkimuksia ole raportoitu kuin muutamia. Lisäksi tarvitaan luotettavia *in vitro* –kokeita. Toksisuutta selvittelevissä tutkimuksissa on saatu hyvin huolestuttaviakin tuloksia. Koe-eläimillä nanokokoisten metallipartikkelien ja teknisesti valmistettujen nanopartikkelien havaittiin kerääntyvän elimistöön ja partikkeleita löydettiin mm. keuhkoista, maksasta ja suolistosta. Vastaavia tutkimuksia tulisi lisätä, saataisiin lisää luotettavaa ja yleistettävää tietoa nanopartikkelien vaikutuksista.

Euroopan unionissa valmistellaan nanoteknologiaan liittyvää lainsäädäntöä. Nykyinen lainsäädäntö kattaa osin nanoteknologian käytön elintarvikkeissa, mutta ei spesifisesti määrittele nanopartikkelin ja –materiaalin spesifisiä ominaisuuksia. Yksittäisten nanopartikkelien ja –materiaalien fysikaaliskemialliset erityisominaisuudet muuttuvat, kun partikkelikoko pienenee ja jokaisella yhdisteellä, hiilinanoputkella ja fullereenilla on omat erityisominaisuudet. Lainsäädännön tulee myös pohjautua toksisuustutkimuksiin sekä nanoteknologiaan liittyviin standardeihin. Lainsäädännön tulisi olla käytettävissä myös ennen kuin nanoteknologian avulla valmistettuja elintarvikkeita on saatavilla, jotta elintarvikkeiden turvallisuus olisi taattu ja välttyttäisiin mahdollisilta väärinkäytöksiltä ja kuluttajien harhaanjohtamiselta.

Nanoteknologian käytöstä elintarvikkeissa olisi saatava enemmän tietoa. Kuluttajien tulisi saada tieto siitä, käytetäänkö elintarvikkeessa nanoteknologiaa. Nanoteknologian avulla valmistetuissa elintarvikkeissa, elintarvikepakkauksissa ja muissa sovelluksissa tulee olla selkeästi ilmoitettu nanoteknologian käytöstä. Nanokokoisten materiaalien käytöstä tulisi myös viestiä avoimesti ja luotettavasti, jotta kuluttajien luottamus uuteen teknologiaan ei muuttuisi kielteiseksi. Nanoteknologian soveltaminen on kasvava tulevaisuuden teknologia, joka voi tuoda uusia ulottuvuuksia elintarviketeknologiaan. Uuden teknologian kehityksessä tulee huomioida teknologian turvallisuus kuluttajille elintarvikkeissa ja muissa sovelluksissa.

11 Lähteet

- Ahola, E. Nanoteknologia vastaa kysyntään. 2008. <http://www.tekes.fi/eu/fin/julkaisut/ett/0404/4.html>.
- Avella, M., De Vlieger, J.J., Errico, M.E., Fischer, S., Vacca, P., Volpe M.G. Biodegradable starch/clay nanocomposite films for food packaging applications. *Food Chem*, 2005; 93:467-474.
- Bouwmeester, H., Dekkers, S., Noordam, M.Y., Hagens, W.I., Bulder, A.S., de Heer, C., ten Voorde, E.C.G., Wijnhoven, S.W.P., Marvin, H.J.P., Sips, A. Review of health safety aspects of nanotechnologies in food production. *Regul Toxicol Pharm*, 2009; 53:52–62.
- Bouwmeester, H., Dekkers, S., Noordam, M., Hagens, W., Bulder, A., de Heer, C., ten Voorde, S., Wijnhoven, S., Sips, A. Health impact of nanotechnologies in food production. 2007. <http://www.rivm.nl/bibliotheek/digitaaldepot/healthimpactnanotechnologies.pdf>
- Bugusu, B., Meija, C., Magnuson, B., Tafazoli, S. Global regulatory policies on food nanotechnology. *Food Tech*, 2009; 5:24–28.
- CEN. CEN/TC 352 Standards under development. 2009. <http://www.cen.eu/CENORM/Sectors/TechnicalCommitteesWorkshops/CENTechnicalCommittees/WP.asp?param=508478&title=CEN%2FTC+352>
- CEN. CEN/TC 352. Nanotechnologies. 2006. <http://www.cen.eu/nr/cen/doc/ExecutivePDF/508478.pdf>
- Chaudhry, Q., Scotter, M., Blackburn, J., Ross, B., Boxall, A., Castle, L., Aitken, R., Watkins, R. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Addit Contam*, 2008; 23:241-258.
- Chen, C.C., Wagner, G. Vitamin E nanoparticle for beverage applications. *Chem Eng Res Des A*, 2004; 82:1432-1437.
- Cole, M.F., Bergeson, L.L. Regulation of new forms of food packaging produced using nanotechnology. Teoksessa Wilson C (toim.) *Intelligent and active packaging for fruits and vegetables*, 2008, Taylor and Francis Group, LLC.
- Council of Canadian Academies. Small is different: a science perspective on the regulatory challenges of the nanoscale. 2008. <http://www.nanolawreport.com/JulyCanadaReport.pdf>
- de Azeredo, H.M.C. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Res Int*, 2009; Painossa.
- DEFRA. Nanotechnology, Research Coordinated Group 2009, <http://www.defra.gov.uk/environment/nanotech/research/index.htm>.
- Duke, M.C., Lim, A., de Luz, S.C., Nielsen, L. Lactic acid enrichment with inorganic nanofiltration and molecular sieving membranes by pervaporation. *Food Bioprod Process*, 2008; 86:290-295.
- EFSA. Guidelines on submission of a dossier for safety evaluation by the EFSA of active or intelligent substances present on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food. *The EFSA Journal*, 2009a; 1208:1-11.

EFSA. Scientific Opinion of the Scientific Committee. The potential risks arising from nanoscience and nanotechnologies on food and feed safety. The EFSA Journal, 2009b; 958:1–39.

EFSA. Scientific Panels & Units, 2009c, http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_ScientificPanels.htm

EPA. About us, 2009, <http://www.epa.gov/epahome/aboutepa.htm>.

EPA. Draft nanomaterials research strategy. Office of Research and Development. 2008. http://epa.gov/ncer/nano/publications/nano_strategy_012408.pdf

ETUC. Resolution on nanotechnologies and nanomaterials. 2008. http://www.etuc.org/IMG/pdf_ETUC_resolution_on_nano_-_EN_-_25_June_08.pdf

Euroopan komissio. Commission decision of 30 April 2009 authorising the placing on the market of lycopene as novel food ingredient. 2009a. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:110:0054:0057:EN:PDF>

Euroopan komissio. Risk assessment of products of nanotechnologies. Scientific Committee on emerging and newly identified health risks. 2009b. http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_023.pdf.

Euroopan komissio. Nanoteknologia. Innovaatioita ihmisen hyväksi. 2007. ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nano_brochure_fi.pdf

Euroopan komissio. Some figures about nanotechnology R&D in Europe and beyond. 2005. <http://cordis.europa.eu.int/nanotechnology>.

Euroopan parlamentti ja neuvosto. Asetus (EY) N:o 1935/2004 elintarvikkeen kanssa kosketukseen joutuvista materiaaleista ja tarvikkeista. 2004. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:338:0004:0017:FI:PDF>.

Evira. Uuselintarvikkeet. 2009a. http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/valvonta_ja_yritt_j_t/uuselintarvikkeet/

Evira. Uuselintarvikeilmoitukset ja lausuntopyynnöt olennaisesta vastaavuudesta. 2009b. http://www.evira.fi/portal/fi/elintarvikkeet/valvonta_ja_yritt_j_t/uuselintarvikkeet/uuselintarvikeilmoitukse_ja_lausuntopyynnot_olennaisesta_vastaavuudesta/

FDA. Nanotechnology. A report of the U.S. Food and Drug Administration Nanotechnology Task Force. 2007. <http://www.fda.gov/downloads/ScienceResearch/ScienceandResearchSpecialTopics/Nanotechnology/ucm110856.pdf>.

FERA. Fera plays a leading role in nanotechnology safety research. 2009. <http://www.fera.defra.gov.uk/showNews.cfm?id=398>.

Food from Finland. Nanotechnology offers new levels of food safety and Finland is taking a lead. 2009. <http://www.foodfromfinland.com/index.phtml?s=583>.

FSA. Nanotechnology. 2008. <http://www.food.gov.uk/gmfoods/novel/nano>.

FSAI. The relevance for food safety of applications of nanotechnology in the food industries. Food additives, chemical contaminants & residues. 2008. <http://www.fsai.ie/assets/0/86/204/b81b142b-9ef7-414c-9614-3a969835b392.pdf>

Friends of the Earth. Nano & biosidal silver. 2009.
<http://nano.foe.org.au/filestore2/download/340/nanosilver-US.pdf>

Friends of the Earth. Out of the laboratory and on to our plates. Nanotechnology in food & agriculture. 2008.
http://www.foeeurope.org/activities/nanotechnology/Documents/Nano_food_report.pdf

Graveland-Bikker, J.F., de Kruif, C.G. Unique milk protein based nanotubes: Food and nanotechnology meet. Trends Food Sci Tech, 2006; 17:196-203.

Groves, K. Potential benefits of micro and nanotechnology for food industry: does size matter? New food, 2008; 4:49–52.

Hansen, S.F. Regulation and risk assessment of nanomaterials – Too little, too late? 2009.
<http://www.env.dtu.dk>.

Heino, J., Lindén, M. Nanopartikkelit vievät lääkkeen täsmällisesti solun sisään. Helsingin Sanomat. 5.8.2009.

HF-Finnatech. Nanofiltration. 2009.
http://www.hf-finnatec.com/en/Home/Plant_systems/Nanofiltration_NF

Hillyer, J.F., Albrecht, R.M. Gastrointestinal persorption and tissue distribution of differently sized colloidal gold nanoparticles. J Pharm Sci, 2009;90: 1927-1936.

Honeywell. Aegis® OXCE Barrier Nylon Resin. 2009.
<http://www51.honeywell.com/sm/aegis/products-n2/aegis-ox.html>

Hornyak, G.L., Dutta, J., Tibbals, H.F., Rao, A.K. Introduction to nanoscience. 2008. CRC Press. Boca Raton.

IOMC. Activities on nanotechnologies in the IOMC organizations. 2009.
<http://www.who.int/iomc/events/nanotechnology.pdf>

IRGC. Risk governance of nanotechnology applications in food and cosmetics. 2008. Geneva. http://www.irgc.org/IMG/pdf/IRGC_Report_FINAL_For_Web.pdf

ISO. TC 229 Nanotechnologies. 2009.
http://www.iso.org/iso/iso_catalogue/catalogue_tc/catalogue_detail.htm?csnumber=44278

Itävaara, M., Linder, M., Kauppinen E. Nanomateriaalien mahdollisuudet ja riskit. Esiselvitys eduskunnan tulevaisuusvaliokunnalle. 2008.
<http://web.eduskunta.fi/dman/Document.phx?documentId=tx22708130724161&cmd=download>

Jyväskylän yliopisto. Nanotomografia fysiikan tutkijoille. 2009.
<http://www.jyu.fi/ajankohtaista/arkisto/2009/07/tiedote-2009-07-08-10-36-37-236855/>

KCL. Nanoscience & Nanotechnology at KCL. 2009.
http://www.kcl.ac.uk/page.php?page_id=472.

Korhonen, H.J. Terveysvaikutteiset elintarvikkeet – kansanterveyden ja tuotekehityksen uudet haasteet. MTT Elintarvike ja terveys –lehti 2007; 21:14–19.

Koponen, H.K. Nanoteknologian soveltamismahdollisuudet kemian- ja kemiaa hyödyntävässä teollisuudessa. OSKE Nanoteknologian klusteriohjelma. 2008.
http://www.ketek.fi/tiedostot/Nanoteknologian_soveltaminen_kemian-ja_kemiaa_hyodyntavassa_teollisuudessa.pdf.

Leong, T.S.H., Wooster, T.J., Kentish, S.E., Ashokkumar, M. Minimising oil droplet size using ultrasonic emulsification. *Ult Sonochem*, 2009; 721-727.

LFI. About Leatherhead Food International. 2009a.
<http://www.leatherheadfood.com/lfi/flatmenu.asp?about=o>

LFI. Nanotechnology Food Focus Group. 2009b.
<http://www.leatherheadfood.com/lfi/submenu.asp?section=10&subsection=256&item=4092>

LFI. NanoWatch Working Group. 2009c.
<http://www.leatherheadfood.com/lfi/submenu.asp?section=10&subsection=256&item=4093>

Leino, R. Nanopinnoite tappaa sairaalabakteerit. *Tekniikka & Talous*. 5.6.2009.

Loveday, S.M., Singh, H. Recent advances in technologies for vitamin A protection in foods. *Trend Food Sci Tech*, 2008; 19:657-668.

Lu, F., Gu, L., Meziani, M.J., Wang, X., Luo, P.G., Vega, L.M., Sun, Y.-P. Advances in bioapplication of carbon nanotubes. *Adv Mater*, 2009; 21:139-152.

Lu, G., Ocola L.E., Chen J. Room-temperature gas sensing based on electron transfer between discrete tin oxide nanocrystals and multiwalled carbon nanotubes. *Adv Mater*, 2009a; 21:2487-2491.

MMM. Uuselintarvikelautakunta. 2009.
<http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/elintarvikkeet/uuselintarvikkeet/uuselintarvikelautakunta.html>

Morris, V.J. Nanotechnology in the food industry. *New food*, 2008; 4:53–55.

NANOSH. About NANOSH. 2009. <http://www.ttl.fi/Internet/partner/Nanosh/>

Nanoteknologian klusteriohjelma. Pohjois-Suomen mikro- ja nanoteknologia. Nykytila-analyysi ja esitys jatkotoimenpiteiksi 2008–2013. 2007.
http://www.micropolis.fi/files/micropolis/nanoklusteri/www_nanoesite.pdf

NIOSH. Approaches to Safe Nanotechnology. Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials. 2009. DHHS (NIOSH) Publication.

Nishiyama, N., Kataoka, K. Current state, achievements, and future prospects of polymeric micelles as nanocarriers for drug and gene delivery. *Pharmacol Therapeut*, 2006; 112:630-648.

Nobel Prize. Kemian Nobel -palkinto. 1996.
http://nobelprize.org/nobel_prizes/chemistry/laureates/1996/

Nurro, M. Nanohiukkasten terveysvaikutuksia aletaan kartoittaa. *Kaari*, 2008; 2:11-13.
<http://www.evira.fi/uploads/WebShopFiles/1212578748800.pdf>

OECD. Addressing challenges in the business environment specific to nanotechnology. 2009a.
http://www.oecd.org/document/21/0,3343,en_21571361_41212117_42325205_1_1_1_1,00.html

OECD. Fostering nanotechnology to address global challenges. 2009b.
http://www.oecd.org/document/29/0,3343,en_21571361_41212117_42325213_1_1_1_1,00.html

OECD. Series on the safety of manufactured nanomaterials. The working party on chemicals and biotechnology. 2009c.

[http://www.oilis.oecd.org/oilis/2008doc.nsf/LinkTo/NT000034C6/\\$FILE/JT03248749.PDF](http://www.oilis.oecd.org/oilis/2008doc.nsf/LinkTo/NT000034C6/$FILE/JT03248749.PDF)

Ollila, M. Tulevaisuuden pakkaus. Älykäs kalapakkaus. 2008.
http://fff.utu.fi/arkisto/liitteet/Kalapakkaus080902/Tulevaisuuden%20pakkaus_kala_%202_9.pdf

Pajarinen, P. Nanoteknologiaa lautaselle. Kehittyvä elintarvike, 2009; 3:43.

The Project on Emerging Nanotechnologies . Canola active oil. 2009a.
http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/canola_active_oil/

The Project on Emerging Nanotechnologies. Food and beverage supplements. 2009b.
http://nanotechproject.us/inventories/consumer/browse/categories/food_beverage/supplements/page2/

The Project on Emerging Nanotechnologies . Nanotea. 2009c.
<http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/nanotea/>

The Project on Emerging Nanotechnologies. Nanotech-enable consumer products top at 1000 mark. 2009d. <http://www.nanotechproject.org/news/archive/8277/>

Pszczola, D.E. How aromas can translate into dollars and scents. Food Tech, 2009; 4:65-73.

Rai, M., Yadav, A., Gade, A. Silver nanoparticles as new generation of antimicrobials. Biotech Adv, 2009, 27:76-83.

The Royal Society. Nanoscience and nanotechnologies. 2004.
<http://www.nanotec.org.uk/report/Nano%20report%202004%20fin.pdf>.

Ruokatieto. Elintarvikeketjussa nanoteknologia tulossa ensin rehuihin ja pakkauksiin. 2009.
<http://uutiset.ruokatieto.fi/>.

Sabliov, C.M., Astete, C.E. Encapsulation and controlled release of antioxidants and vitamins Teoksessa Garti, N. (toim.) 2008. Delivery and controlled release of particular nutraceuticals. Woodhead Publishing. Cambridge.

Salonen, E., Lin, S., Reid, M.L., Allegood, M., Wang, X., Rao, A.M., Vattulainen, I., Ke, P.C. Real-time translocation of fullerene reveals cell contraction. Small, 2008; 4:1986-1992.

SANCO. Mission Statement. 2009a.

http://ec.europa.eu/dgs/health_consumer/general_info/mission_en.html.

SANCO. SANCO Nanotechnologies. 2009b.

http://ec.europa.eu/health/ph_risk/nanotechnology/nanotechnology_en.htm.

Savolainen, K. Nanoteknologia, nanomateriaalit ja niiden turvallisuus. 2008.
<http://www.ttl.fi/NR/rdonlyres/62D02BE1-1A70-46ED-AA00-8D93563843BC/0/luentokalvot.pdf>

ScentSational Technology. About our technology. 2009.
<http://www.scentsationaltechnologies.com/technology.cfm>.

Semo, E., Kesselman, E., Danino, D., Livney, Y.D. Casein micelle as a natural nanocapsular vehicle for nutraceuticals. Food hydrocolloids, 2007; 21:936-942.

- Sipiläinen-Malm, T. Aktiiviset ja älykkäät elintarvikepakkaukset. 2006. VTT. http://www.iha.tut.fi/research/regional/valkeakoski/esitykset/aktijaaly_sipilainen-malm.pdf.
- Singh, N., Manshian, B., Jenkins G.J.S., Griffiths, S.M., Williams, P.M., Maffei, T.G.G., Wright, C.J., Doak, S.H. NanoGenotoxicology: The DNA damaging potential of engineered nanomaterials. *Biomaterials*, 2009;30:3891-3914.
- Singh, S., Nalwa, H.S. Nanotechnology and health safety – toxicity and risk assessments of nanostructured materials on human health. *J Nanosci Nanotechnol*, 2007; 7:3048–3070.
- Sozer, N., Kokini, J.L. Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends Biotechnol*, 2009; 27:82–89.
- Sosiaali- ja terveysministeriö. Panostuksia nanoteknologian turvallisuuteen. 2006. <http://www.stm.fi/tiedotteet/tiedote/view/1221755>.
- Smolander, M. Potential Nanotechnology Applications in Food Packaging. 2009. VTT julkaisu.
- Suomalainen, S., Hakkarainen, T. Nanoteknologia ja ympäristönsuojelu. Ympäristöministeriön raportteja 11/2008. http://www.nanobusiness.fi/attachments/ymra_11_2008__nanoteknologia_ja_ymparistonsuojelu.pdf
- Suomen Akatemia. Nanotieteen tutkimusohjelma FinNano (2006-2010). 2009. <http://www.aka.fi/A/Tiedeyhteiskunnassa/Tutkimusohjelmat/kaynnissa/FinNano-2006-2010.html>.
- Tekes. FinNano –ohjelman kuvaus. 2009. <http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/NANO/fi/ohjelmankuvaus.html>.
- Tekes. Nanotiede, materiaalit ja uudet tuotantomenetelmät. 2005. <http://www.tekes.fi/eu/fin/7PO/yhteistyö/nano.html>
- Timestrip. Smart Label Technology. 2009. <http://www.timestrip.com/>
- Työterveyslaitos. Tutkimushanke. Nanopartikkeleiden terveysvaikutusten tutkiminen proteomiikan avulla. 2009. <http://www.ttl.fi/Internet/Suomi/Tutkimus/Tutkimustietokanta+TAVI/naytaProjekti?id=327982&type=Tutkimus>
- UK Government. UK government Response to The Royal Commission on Environmental Pollution (RCEP) Report: Novel Materials in the Environment: The Case Of Nanotechnology. 2009. <http://www.official-documents.gov.uk/document/cm76/7620/7620.pdf>
- Unesco. The ethics and politics of nanotechnology. 2006. <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001459/145951e.pdf>.
- United Nations. Ongoing work on the safety of nanomaterials. 2009. <http://www.unece.org/trans/doc/2009/ac10c4/ST-SG-AC10-C4-2009-03e.pdf>
- University of Pennsylvania. What is carbon nanotube? 2009. www.seas.upenn.edu/mse/images/nanotube1.jpg.
- University of southern Denmark. Dendrimer. 2009. <http://www.sdu.dk>.

- USDA. Nanotechnology. 2009. <http://www.csrees.usda.gov/ProgViewOverview.cfm?prnum=12440>.
- Vartiainen, J. Antimikrobiset pakkaukset herättävät kiinnostusta ja ennakkoluuloja. Kehittyvä elintarvike 2006; 5:40–41.
- VCI. Responsible production and use of nanomaterials. 2008. http://www.vci.de/template_downloads/tmp_VCIInternet/122306Nano_Responsible_Producti on.pdf?DokNr=122306&p=101
- Vermeiden, L., Heirlings, L., Devlieghere, F., Debevere, J. Oxygen, ethylene and other scavengers. 2003. Kirjassa Ahvenainen, R. (toim.) Novel food packaging techniques. 2003. Woodhead Publishing.
- VTT. Teknologista liiketoimintaa. 2009. <http://www.vtt.fi>.
- VTT. VTT, TKK ja UPM perustivat kansainvälisesti ainutlaatuisen Suomen Nanoselluloosakeskuksen. 2008. <http://www.vtt.fi/newsletter/012008art04.jsp?lang=fi>.
- Wang, F., Gao, F., Yuan, H., Liu, J. Oxidative stress contributes to silica nanoparticle-induced cytotoxicity in human embryonic kidney cells. Toxic in Vitro, 2009; 23:808-815.
- Weiss, J., Takhistov, P., McClements, J. Functional materials in food nanotechnology. J Food Sci, 2006; 71:107–116.
- Weng, Y.-H., Wei, H.-J., Tsai, T.-Y., Chen, W.-H., Wei, T.-Y., Hwang, W.-S., Wang, C.-P., Huang, C.-P. Separation of acetic acid from xylose by nanofiltration. Sep Purif Technol, 2009; 67:95-102.
- WHO. Joint FAO/WHO expert meeting on the application of nanotechnologies in the food and agriculture sectors: potential and safety implications. Scope and objectives. 2009. http://www.fao.org/ag/agn/agns/expert_consultations/Nanotech_EC_Scope_and_Objectives.pdf.
- Woodrow Wilson Center. Assuring the Safety of Nanomaterials in Food Packaging. 2008. http://eprints.internano.org/62/1/Food_Packaging_pen12.pdf.
- Woodrow Wilson Center. The Promise of Nanotechnology. 2007. http://www.wilsoncenter.org/index.cfm?fuseaction=news.item&news_id=235624.
- Zhang, J.A., Wang, S., Tang, J. Physical, chemical and microbiological changes in stored green asparagus spear as affected by coating of silver nanoparticles-PVP. Food Sci Technol-LEB, 2008; 41:1100-1107.

Liite 1. Esimerkkejä nanoteknologian avulla valmistetuista elintarvikepakkauksista ja –pakkausmateriaaleista (Esimerkkejä lähteestä The Project on Emerging Nanotechnologies 2009).

Nanoteknologian avulla valmistettuja elintarvikepakkauksia tai -pakkausmateriaaleja

Nanosovellus	Tarkoitus	Viite	Tuotenimi	Maa
Nanomateriaaleja sisältävä polymeeri (nanosavi)	Käytetään juomapulloissa ja elintarvikepakkauksissa, suojaa tuotetta, lisää elintarvikkeiden elinikää	http://www.nanocor.com/Cases/case_imperm.asp	Imperm®	USA
Naylon -muovi, joka sisältää nanokokoisia hartsipartikkeleita.	Käytetään juomapulloissa (PET) suojaamaan tuotetta hapelta	http://www51.honeywell.com/sm/aegis/products-n2/aegis-ox.html	Aegis® OXCE Barrier Nylon Resin	USA
Nanomateriaaleja sisältävä biopolymeeri	Biohajoava pakkaus, valmistetaan uusiutuvista materiaaleista, ei kuormita pohjavesivarantoja	http://www.plantic.com.au/docs/Plantic_Cadbury_CS.pdf	Cadbury Schweppes: Cadbury Dairy Milk Tray, Cadbury Eden chocolate boxes	Australia
Muovinen olutpullo, jossa nanosavipartikkeleita	Estää kaasujen migraatiota	http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/beer_bottle_plastics	Eri valmistajia	USA
Alumiinifolio	Tarttumaton pinta	http://www.melitta.info/cms/presse/pressedb/index.php?sel=ShowArticle&ID=1	Melitta Toppits Alumiinifolio	Saksa
Muovinen olutpullo (PET), jossa nanohartsipartikkeleita	Edistää elintarvikkeen elinikää, hyvät suojausominaisuudet	http://www.invista.com/polyshield.html	PolyShield® PET/MXD6	USA
Muovipulloja ja -tuotteita, jotka vapauttavat aromeja	Muoveista vapautuu aromeja pakkauksen avattaessa tai kuumennettaessa pakkausta	http://scentsationaltechnologies.com/news/FM403Fabri-Kal_feature.pdf	CompelAroma®	USA
Elintarvikepakkaus	Kirkas laminaattimuovi, hyvät suojausominaisuudet	http://www.multifilm.com/products_N-Coat.htm	N-Coat™	USA

Liite 2. Esimerkkejä nanoteknologian avulla valmistetuista elintarvikkeista (Esimerkkejä lähteestä The Project on Emerging Nanotechnologies 2009).

Nanoteknologian avulla valmistettuja elintarvikkeita

Nanosovellus	Tarkoitus	Viite	Tuotenimi	Maa
Rypsiöljy, jossa nanokokoisia misellejä	Edistää terveysvaikutteisten materiaalien imeytymistä	http://www.shemen.co.il	Canola Active Oil	Israel
Tee, jossa nanopartikkeleita	Vapauttaa teen aromeja	http://www.nanotechproject.org/inventories/consumer/browse/products/nanotea/	Nano Tea	Kiina
Hedelmämehuja, joissa rautaa	Fe -nanopartikkeleita	http://www.highvive.com/sunactiveiron.htm	SunActive Iron	USA
Hedelmämehuja, joihin lisätty rautaa ja muita funktionaalisia yhdisteitä	Fe -nanopartikkeleita (300nm)	http://jambahawaii.com/vita-boost.asp	SunActive Fe	USA

Liite 3. Esimerkkejä nanoteknologian avulla valmistetuista ravitsemuslisistä (Esimerkkejä lähteestä The Project on Emerging Nanotechnologies 2009).

Nanoteknologian avulla valmistettuja ravintoaineita tai lisäaineita

Nanosovellus	Tarkoitus	Viite	Tuotenimi	Maa
CoQ10 molekyylijä sisältävä ravintolisä	CoQ10 molekyylit imeytyvät kymmenen kertaa paremmin nanokoossa	http://www.pharmanex.com/global/library/pdf/products/pip_nano_coq10.pdf	NanoCoQ10	USA
Energiaravintolisä, joka sisältää kahvin ainesosia mm. kofeiinia	Kahviravintolisä	http://www.nano-coffee.com/retailers.html	NanoCoffee™	USA
Nanokokoisia sinkkioksidi-partikkeleita	Sinkkioksidi	http://www.advancednanomaterials.com	AdNano ZnO	USA
Nanokokoisia misellejä ja muita funktionaalisia yhdisteitä	Nanokokoisia misellejä kapselointiin	http://www.nutrarelease.com	NutraLease NSSL	USA
Pakkausmateriaaliin lisättävää silikaattia	Pakkausmateriaaliin lisättävää silikaattia	http://www.aerosil.com	Aerosil Fumed Silica	USA, Eurooppa
Ravintolisä painonpudotukseen	Nanokokoisia suklaapartikkeleita	http://www.rbclifesciences.com/Products.aspx?ItemID=38	Slim Shake Chocolate	USA