

Nanoteknologia – tutkimus, tuotteet ja turvallisuus

27.4.2008 Jussi Tammisola, www.geenit.fi/Nano270408.pdf

Mitä on nanoteknologia?

Termiä 'nanoteknologia' käytetään useimmiten varsin löysästi [28]. Yleensä se määritellään kyvyksi valmistaa ja käyttää materiaaleja, laitteita ja järjestelmiä, joiden koko on 1–100 nanometriä [20] (ja joilla on erityisominaisuuksia [27]). Yksi nanometri puolestaan on miljoonasosa millimetriä.

Paperiarkin paksuus on noin 100 000 nanometriä, ja vaalea hiuksen halkaisija on yleensä 15 000 – 50 000 nanometriä. Tyypillinen proteiinimolekyyli, kuten esimerkiksi veren hemoglobiini, on halkaisijaltaan 5 nanometriä ja dna-kierre 2,5 nanometriä. Bakteri on tuhat kertaa suurempi. Hiili-atomeista valmistetun nanoputken halkaisija on 1 nanometri.

Kuten esimerkit osoittavat, biologian alueella nanoluokan ilmiöitä on tutkittu jo pitkään, perinteisellä 'molekyylibiologian' nimikkeellä. Geenitekniikkakin on eräs tämän tutkimuskentän osa-alue (se näet on perintöainekseen kohdistuvaa molekyylibiologiaa).

USA:n kansallisen nanoteknologiaohjelman (NNI) [20] mukaan nanotiede on nanoluokan materiaalien tutkimusta aineiden uusien ominaisuuksien ja käyttäytymistapojen löytämiseksi ja nanoteknologia puolestaan on joukko keinoja, joiden avulla nanotieteen keksintöjä hyödynnetään käytännössä.

Opetusministeriön työryhmäraportti [30] hahmottaa aihepiiriä seuraavasti:

Lähestyttäessä nanometrinen kokoluokka kappaleen ominaisuudet alkavat poiketa jyrkästi makroskooppisen kappaleen ominaisuuksista. Ominaisuuksien ymmärtäminen ja hyödyntäminen edellyttävät kvanttimekaniikan käsitteiden ja lainalaisuuksien käyttämistä.

Toiseksi, kappaleen pinnan suhteellinen osuus kasvaa. Esimerkiksi 0,1 millimetrin pallossa vain noin joka sadastuhannes atomi on pinnalla, kun taas 1 nanometrinen pallossa joka toinen atomi on pinnalla.

- Tämä on ratkaisevan tärkeää, sillä pinta- ja sisäatomien ominaisuudet ovat keskenään erilaisia.

Nanotieteeksi kutsutaan uutta tiedettä, joka käyttää hyväksi näitä uusia ominaisuuksia uudella tavalla ja uudenlaisten toimintojen aikaansaamiseksi.

- Perinteinen kemia, biokemia, materiaalitiede tai fysiikka ei yleensä ole nanotiedettä, vaikka raja-aidat voivat olla häilyviä.

Nanoteknologialla puolestaan tarkoitetaan nanotieteeseen ja nanomittakaavan rakenteisiin perustuvan uuden tekniikan kehittämistä ja nanotieteen hyödyntämistä toiminnallisesti uudentyyppisiin materiaaleihin ja laitteisiin.

Käytännön sovelluksia

Nanotutkimusta on laajemmin harjoitettu noin kaksi vuosikymmentä. Nanoteknologiassa kehitetään esimerkiksi seuraavanlaisia sovelluksia: lääketieteelliset laitteet, lääkkeiden annostelumenetelmät, tarkasti kohdistetut hoitokäsittelyt joilla on vähemmän sivuvaikutuksia, nopeammat ja tarkemmat diagnoosimenetelmät, sensorit joilla tunnistetaan haitallisia kemikaaleja ja eliöitä, menetelmät haitallisten aineiden puhdistamiseksi ympäristöstä, energiaa säästävää valaistusta, halvat suodattimet juomaveden tuottamiseksi, vahvemmat, kevyemmät ja kestävämmät materiaalit sekä puhdas, edullinen ja luotettava energiantuotanto (muun muassa aurinkoenergian valjastaminen jäljittelemällä kasvien ja sinilevien fotosynteesin mekanismeja [34]). [20]

Maataloudessa nanoteknologian avulla voidaan esimerkiksi vähentää torjunta-aineiden tai muiden tehoaineiden käyttömääriä ohjaamalla ne käyttökohteeseen aikaisempaa kohdistetummin. Tehoaine voidaan annostella nanopartikkelin sisällä siten, että se kiinnittyy (spesifisesti) kasvisolukon tai kasvintuhoojan pintaan ja kulkeutuu toivottuun kohteeseen eikä huuhtoudu ympäristöön. Nanokoon ansiosta teho voi myös olla parempi (ks. jäljempää), jolloin käsittelyyn käytettävää ainemäärää voidaan vähentää (mikä oikein toteutettuna vähentää myös ympäristöarastusta).

Terveydenhuollossa nanomateriaalien pieni koko yhdistettynä niiden uudenlaisen toiminnallisuuteen antavat toivoa saada hallintaan nykyisin parantumattomia sairauksia. Diagnoosien tehostuessa saadaan sairauksia myös hoitoon entistä aikaisemmin, jolloin hoidot tehoavat paremmin. [30]

Lääketieteessä eräs tyypillisimmistä soveltamistavoista on sellainen, että lääkemolekyylit saadaan nanopartikkeliin kiinnitettynä tai pakattuna kuljetetuksi tehokkaasti hoitokohteeseen, jonne niitä ei irrallisina pystytä viemään. Kohteessa lääkemolekyylit sitten jollain käsittelyllä vapautetaan tai viritetään, jolloin saavutetaan suuri hoitoteho valitussa paikassa. Esimerkiksi verkkokalvon ikärappeutumaan (AMD) kuuluvaa verisuonten liikakasvua tuhoava solumyrkky voidaan viedä perille nanopartikkelin pintaan kiinnitettynä ja kiinnittää se tuhoavaan solukkuun spesifisten vasta-aineiden avulla. Myrkyvaikutus laukaistaan sitten laservalokäsittelyllä. Tällä nanomenetelmällä saavutetaan hoitokohteessa 280 kertaa parempi käsittelyteho kuin lääkkeen kohdistamattomalla annostelulla [35].

Nanotiede ja -teknologia teollistuneissa maissa

Nanoteknologian suurvaltoja ovat Yhdysvallat ja Japani [30].

Yhdysvalloissa käynnistettiin kansallinen nanoteknologiaohjelma (NNI) [20–25] vuonna 2000. Julkiset panostukset nanoteknologiaan yli kolminkertaistuivat Yhdysvalloissa vuodesta 2001 vuoteen 2005 mennessä, ja siellä on perustettu useita suuria nanoteknologien tutkimus- ja tuotekehityskeskustoja ja kansallisia tutkimuslaitosverkostoja [30]. Tutkimusohjelmia on käynnistetty myös nanoteknologian ympäristökysymysten sekä yhteiskunnallisten, eettisten, taloudellisten ja koulutuksellisten vaikutusten tutkimiseen. Yritykset rahoittavat alan tutkimusta ja tuotekehitystä yhtä paljon kuin julkinen sektori (1,7 miljardia dollaria vuonna 2004).

Japanissa nanoteknologia on keskeisessä asemassa strategisissa suunnitelmissa uuden teollisuuden rakentamiseksi ja talouden elvyttämiseksi [30]. Japanin tutkijat ovat tehneet vuosikymmenen aikana

useita tieteellisiä ja teknisiä läpimurtoja alalla, ja teknologiaa siirretään jo monilla aloilla tuotantoon. Japanilla on teollisuusmaista kunnianhimoisin julkisesti rahoitettu nanoteknologiaohjelma. Yrityksistä mittavia tutkimusohjelmia ovat käynnistäneet muun muassa Fuji, HP, Hitachi, NEC ja Sony sekä synteettisiä kuituja valmistava Toray Industries.

Nanotiede ja -teknologia EU:ssa

EU:ssa tunnetaan huolta siitä, että tutkimuspanoksia ja hyviäkään tutkimustuloksia ei ole pystytty hyödyntämään yhteisössä yhtä tehokkaasti kuin esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Japanissa [30]. Tämä ”eurooppalainen paradoksi” tunnetaan ennestään monelta tutkimusalueelta, ja kouraantuntuvimpia kokemuksia eurooppalaisten tutkimussovellusten karkaamisesta kilpailijamaiden hyödyksi on saatu modernin biotekniikan alueella.

EU-komissio on hyväksynyt yhteisölle nanotieteen ja nanoteknologian toimintaohjelman vuosille 2005–2009, ja nanotieteet ja nanoteknologia ovat edustettuina EU:n tutkimuksen seitsemännessä puiteohjelmassa. Jäsenvaltioista tämän alan tutkimukseen panostavat merkittävimmin Saksa, Ranska ja Iso-Britannia. Merkittävää tutkimusta on myös Hollannissa, jossa NanoNed-konsortio on keskittynyt yhteentoista kansallisesti vahvaan ns. lippulaivaohjelmaan (kokonaisrahoitus 235 miljoonaa euroa vuosina 2004–2008). Ruotsissa (20 miljoonaa euroa) päätutkimusaloja ovat muun muassa hiilinanorakenteet, kvanttimateriaalit, ftoniikka ja kvanttioptiikka, magneettiset materiaalit, funktionaaliset pinnat ja bionanotiede, ja tutkimuslaitokset tekevät yhteistyötä teollisuuden kanssa. [30]

Suomen tilanne

Nanotieteen tilannetta Suomessa kartoitettiin vuonna 2005 valmistuneessa opetusministeriön työryhmämuistiossa [30]. Työryhmä esitti, että nanotieteen kehittämisohjelmassa yliopistojen tutkimusedellytyksiä tulee vahvistaa erityisesti ns. keihäänkärkialoilla. Tällaisiksi se katsoi Suomessa nanomateriaalit, nanoelektronikan ja -fotoniikan sekä nanobioteknologian. Työryhmämuistioon perustuen on asetettu julkisten rahoittajien edustajista *laajennettu nanotieteen yhteistyöfoorumi* ajalle 1.3.2007–30.6.2010 (liite).

Sekä Suomen Akatemia [32, 33] että Tekes [31] ovat käynnistäneet mittavat tutkimus- ja teknologiaohjelmat (kumpikin on antanut ohjelmalleen nimeksi FinNano), ja opetusministeriö on varannut nanotieteisiin 24 miljoonan euron rahoituspanostuksen vuosille 2007–2009. Hallinnonaloilla on valmisteilla nanotieteeseen liittyviä hankkeita; muun muassa sosiaali- ja terveysministeriössä on suunniteltu nanotieteiden terveysvaikutuksien ja nanotieteen kehityksen seurantar ryhmän perustamista.

Akatemian tutkimusohjelmassa toimii esimerkiksi kolmen yliopiston (Jyväskylän yliopisto, Tampereen teknillinen yliopisto ja Helsingin yliopisto) konsortio FUNANO [33], joka tutkii nanopartikkelien ja -rakenteiden varauksensiirto-, lämmönsiirto- ja magneettiominaisuuksia sekä pyrkii kehittämään esimerkiksi taipuisia väriaurinkokennoja, kevyitä matalan erotuskyvyn näyttöjä sekä miniatyyrikokoisia valoilmaisimia. Tutkijoita kiinnostaa muun muassa, kuinka orgaaninen väriainemolekyylillä kestävä väriainemolekyylillä vangita valofotonin energian 100 miljoonaa kertaa peräkkäin hajoamatta, kuten tuollaiselle molekyylille yleensä käy auringonvalossa.

Nanoteknologian strateginen merkitys

Tutkimusten perusteella on selvää, että nanotekniikasta voi olla suuria hyötyjä ihmiselle ja ympäristölle – hallitusti käytettynä [2, 7, 20, 26–32]. Asianmukaisten käyttötapojen varmistamiseksi onkin varmistettava, että eri alojen lainsäädännössä on otettu riittävästi huomioon myös nanosovel-
luksiin liittyvät erityiskysymykset.

Miten pieni koko muuttaa aineiden käyttäytymistä?

Pienikokoiset partikkelit voivat kulkeutua elimistössä eri paikkoihin kuin suuremmat. Esimerkiksi nanoputket voivat suurina määrinä hengitettynä vahingoittaa keuhkoja. Riskejä ei pidä liioitella, mutta ne on tutkittava, kuten muissakin uusissa tekniikoissa. Tärkeintä on, että päätöksenteko tapahtuu eri materiaalien kohdalla tutkimustulosten eikä luulojen ja pelkojen perusteella. [30]

Pieninä hiukkasina annosteltuna tehoaine voi imeytyä nopeammin ja eri tavalla kuin aikaisemmin. Pienemmiksi hiukkasiksi jakautuneena aineella on myös huomattavasti suurempi pinta-ala, jolloin sillä on vastaavasti enemmän mahdollisuuksia vuorovaikutukseen ympäristön rakenteiden ja muiden aineiden kanssa. Tämä saattaa huomattavasti lisätä aineen tehokkuutta.

Jos aineen hiukkaskoko muuttuu merkittävästi aikaisemmasta, tarvitaan siksi uusia vaikuttavuus-
tutkimuksia, jotta voidaan päättää aineen oikeasta käyttötavasta, muun muassa sopivasta annostuk-
sesta.

Siirryttäessä molekyylien suuruusluokkaan voi aineen käyttäytymisessä ilmetä muitakin, esimer-
kiksi kvantti-ilmiöihin liittyviä muutoksia.

Tutkimusohjelmia ja kartoituksia on käynnissä bio- ja luonnontieteiden tiedeyhteisössä sekä kansainvälisissä asiantuntijajärjestöissä eri puolilla maailmaa nanokokoon liittyvien vaikutusten selvit-
tämiseksi ja nanomateriaalien asianmukaisten käyttötapojen selvittämiseksi [1, 2, 5, 6, 7–12, 14–19, 20, 23, 26–29].

Nanotekniikka otetaan huomioon säädännössä sektoreittain

Kansainvälisten asiantuntijaorganisaatioiden työssä on tultu siihen peruspäätelmään, että erillisen nanoteknologiasäädännön laatiminen ei olisi tarkoituksenmukaista. Kaikilla sektoreilla, joissa nanoteknologiaa aiotaan soveltaa, on jo olemassa kyseisen sektorin peruslainsäädäntö, jossa on sää-
detty myös kyseisen sektorin turvallisuuskysymyksistä. Tämä säädäntö tulee nyt käydä läpi ja var-
mistua siitä, että niihin on tehty tai tehdään nanoteknologian edellyttämät lisäykset tai tarkennukset.
[11, 16]

Esimerkiksi ehdotuksessa EU:n uuselintarvikeasetuksen uudistamiseksi mainitaan nanoteknologia uutena valmistusmenetelmänä, jota käytettäessä tuote katsotaan uuselintarvikkeeksi, jolloin siltä vaaditaan asetuksessa säädetyt turvallisuustutkimukset [13].

EU-komission terveyden ja kuluttajansuojan pääosasto (SANCO) viimeistelee selvitystä EU-sää-
dännön rakenteen riittävytydestä nanoteknologian tuotteiden suhteen [11].

Turvallisuuden arviointi

Valmistettujen nanomateriaalien turvallisuuden arvioimiseksi tarkastellaan muun muassa seuraavia seikkoja [27]:

- 1) Saantilähteet, altistumisen määrä, kulkeutuminen ja hajoamisreitit
 - millä nanomateriaaleilla on suuri todennäköisyys joutua ympäristöön ja ravintoketjuun?
 - mitä niille siellä tapahtuu, mitkä ovat tässä keskeiset prosessit ja kuinka nanomateriaalin kohtalo riippuu sen fysikaalisista ja kemiallisista ominaisuuksista?
 - kuinka suuri on ympäristöön joutumisesta aiheutuva altistumisen määrä?
- 2) Mitkä ovat valmistettujen nanomateriaalien käytöstä ja niille altistumisesta aiheutuvat vaikutukset ihmiselle ja ekologiselle ympäristölle (ottaen huomioon ne erityiset vastaanottajamolekyylit, joihin kyseinen nanomateriaali kiinnittyy)?
- 3) Turvallisuuden arviointimenetelmät
 - ovatko kyseisellä sektorilla käytössä olevat tuotteiden turvallisuusarvioinnin menetelmät riittäviä, vai onko tarpeen muokata niitä nanomateriaalien erikoispiirteiden ottamiseksi huomioon?
 - esimerkiksi OECD:n nanoteknologian tutkimusohjelmassa [2] on tämän selvittämiseksi käynnissä 40 tapaustutkimusta eri sektoreilla, jotta saadaan yleiskuva sovellettavien riskinarviointikäytäntöjen toimivuudesta nanomateriaalien suhteen
 - Euroopan elintarviketurvallisuusviranomaisen EFSA selvittää myös parhaillaan ruoassa tai rehuissa käytettävien nanomateriaalien ja nanoteknologialla tuotettujen aineiden turvallisuusarviointia [14–19].
- 4) Riskien ehkäiseminen
 - mitä teknologioita ja käytänteitä voidaan soveltaa valmistettujen nanomateriaalien riskien minimoimiseksi, ottaen huomioon niiden koko elinkaari, ja kuinka nanoteknologian hyödyllistä käyttöä voidaan maksimoida ympäristön suojelemiseksi?

Käytännössä ongelmia saattaa helpoimmin esiintyä työsuojelun alueella [28, 29]. Suurin altistumisen riski on tällöin nanomateriaaleja valmistavien laitosten työntekijöillä sekä nanotuotteita työtoiminnassaan käyttävillä ammatinharjoittajilla.

Sitä mukaa kuin valmistettuja nanomateriaaleja tulee laajempaan käyttöön esimerkiksi lääketieteessä ja elintarviketuotannossa, niillä voi periaatteessa olla vaikutusta näiden sektorien tuotteita käyttävien ihmisten terveyteen ja myös ympäristöön. Toisaalta perinteisten tehoaineiden annostelu nanomenetelmillä parantaa usein niiden tehoa ja vähentää siten huomattavasti valmisteiden käyttömääriä [35–37]. Oikein toteutettuna tämä voi vähentää käyttäjien ja ympäristön altistumista.

Mielipidejärjestöt

Nanoteknologia jakaa tällä hetkellä jossain määrin ns. aktivistiliikkeiden mielipiteitä. Toisaalta on julkisuudessa esiintynyt näkemyksiä, että nanotekniikan käyttö voitaisiin hyväksyä myös luomutuotannossa. Toisaalta osa aktivistijärjestöistä on ehtinyt jo vaatia nanoteknologian kieltämistä, esimerkiksi FoE (Friends of the Earth) sekä teknologiakehitystä yleisemminkin vastustava ETC Group (ent. RAFI). Tältä osin kampanjointi muistuttaa tilannetta 1990-luvun puolivälistä, jolloin poliittista päätöstä geenimuuntelun kieltämisestä luomutuotannossa ei ollut vielä tehty (EU-kielto säädettiin vuonna 1997).

Tietolähteitä

OECD

- [1] http://www.oecd.org/department/0,3355,en_2649_37015404_1_1_1_1_1,00.html Safety of Manufactured Nanomaterials
- [2] http://www.who.int/entity/ifcs/documents/standingcommittee/nano_oecd.doc Nanotechnologies at the OECD
- [3] <http://www.nanowerk.com/news/newsid=4749.php> OECD:n em. raportista kertoo lyhyemmin *Nanowerk News*
- [4] [http://appli1.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/env-jm-mono\(2008\)2](http://appli1.oecd.org/olis/2008doc.nsf/linkto/env-jm-mono(2008)2) Manufactured Nanomaterials: Programme of Work 2006-2008
- [5] http://www.riskcenter.jp/nanorisk_symposium2008/index_e.html International Symposium on the Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials
- [6] [http://appli1.oecd.org/olis/2007doc.nsf/43bb6130e5e86e5fc12569fa005d004c/a2a4a59a1e4c229dc125732f00597959/\\$FILE/JT03230791.pdf](http://appli1.oecd.org/olis/2007doc.nsf/43bb6130e5e86e5fc12569fa005d004c/a2a4a59a1e4c229dc125732f00597959/$FILE/JT03230791.pdf) Current Developments/ Activities On The Safety Of Manufactured Nanomaterials/ Nanotechnologies. Tour de Table at the 2nd Meeting of the Working Party on Manufactured Nanomaterials, Berlin, Germany, 25-27 April 2007

EU-komissio

- [7] <http://cordis.europa.eu/nanotechnology/> Nanotechnology Homepage of the European Commission
- [8] ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/agenda_final.pdf Workshop on research on the safety of nanomaterials: reviewing the knowledge gaps. Brussels on 17-18 April 2008
- [9] <ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/final-version.pdf> EU nanotechnology R&D; in the field of health and environmental impact of nanoparticles
- [10] ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/nanotechnology/docs/nanocode-recommendation-pe0894c08424_en.pdf A code of conduct for responsible nanosciences and nanotechnologies research
- [11] http://ec.europa.eu/health/ph_risk/nanotechnology/nanotechnology_en.htm SANCO Nanotechnologies. Euroopan komission terveyden ja kuluttajansuojelun pääosaston (SANCO) pääsivu nanoteknologiasta
- [12] http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihr/docs/scenihr_o_003b.pdf Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks (SCENIHR): Modified Opinion (after public consultation) on The appropriateness of existing methodologies to assess the potential risks associated with engineered and adventitious products of nanotechnologies, 10 March 2006.
- [12a] <http://ec.europa.eu/health/opinions2/en/nanotechnologies> Kansantajuistettu nettisivusto em. SCENHIR-raportista
- [13] http://217.71.145.20/TRIPviewer/temp/TUNNISTE_E_16_2008_fi.html Ehdotus Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukseksi uuselintarvikkeista ja asetuksen (EY) N:o XXX/XXXX/ [yhtenäinen menettely] muuttamisesta. Perusmuistio MMM2008-00247. Helsinki 13.3.2008.

EFSA (EU)

- [14] Heinäkuussa 2008 on tulossa yleisön kuulemiseen EFSA:n perusdokumentti nanotekniikan turvallisuusarvioinnista.
- [15] EFSA:n esitelmä OECD:n työryhmäkokouksessa (Task Force for the Safety of Novel Foods and Feeds 8.-10.4.2008)
- [16] http://www.efsa.europa.eu/EFSA/KeyTopics/efsa_locale-1178620753812_Nanotechnology.htm Nanotechnology

- [17] http://www.efsa.europa.eu/EFSA/efsa_locale-1178620753812_1178678412333.htm EFSA:n nanotekniikkatyöryhmä
- [18] http://www.efsa.europa.eu/EFSA/DocumentSet/2007-11-27_sc_nanotech_revisedmandate_en.pdf EFSA:n nanotekniikkatyöryhmän tarkennettu toimeksianto
- [19] <http://nanotech.lawbc.com/tags/efsa/> EFSA Calls for Data on Applications of Nanotechnology and Nanomaterials Used in Food and Feed. February 13, 2008 by Lynn L. Bergeson

National Nanotechnology Initiative (USA)

- [20] <http://www.nano.gov/html/facts/whatIsNano.html> National Nanotechnology Initiative
- [21] http://www.nano.gov/html/news/home_news.html Newsroom
- [22] <http://www.nano.gov/html/news/reporter.html> Reporter Resources
- [23] http://www.nano.gov/Understanding_Risk_Assessment.pdf Understanding Risk Assessment of Engineered Nanomaterials by Trudy E. Bell. (February 2007)
- [24] www.nano.gov/html/news/releases/20080214_NNI_Releases_EHS_Research_Strategy.html Strategy for Nanotechnology-Related Environmental, Health, and Safety Research. National Science and Technology Council, Committee on Technology Subcommittee on Nanoscale Science, Engineering and Technology (NSET). February 14, 2008.
- [25] http://www.nano.gov/NNI_08Budget.pdf The National Nanotechnology Initiative. Research and Development Leading to a Revolution in Technology and Industry. Supplement to the President's FY 2008 Budget.

FDA (USA)

- [26] <http://www.fda.gov/nanotechnology/taskforce/report2007.pdf> Nanotechnology. A Report of the U.S. Food and Drug Administration Nanotechnology Task Force, July 25, 2007

EPA (USA)

- [27] http://es.epa.gov/ncer/nano/publications/nano_strategy_012408.pdf Draft Nanomaterial Research Strategy (NRS), January 24, 2008

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health, USA)

- [28] <http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/default.html> Nanotechnology at NIOSH
- [29] <http://www.cdc.gov/niosh/topics/nanotech/safenano/> Approaches to Safe Nanotechnology: An Information Exchange with NIOSH

Opetusministeriö

- [30] www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Julkaisut/2005/liitteet/opm_266_tr39.pdf?lang=fi Nanotieteen keihäänkärjet Suomessa. Opetusministeriön työryhmämuistioita ja selvityksiä 2005:39.

FinNano (Tekes)

- [31] <http://akseli.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/ohjelmat/NANO/fi/etusivu.html> FinNano 2005-2010 (Tekesin nanoteknologiaohjelma)

FinNano (Suomen Akatemia)

[32] <http://www.aka.fi/fi/A/Tiedeyhteiskunnassa/Tutkimusohjelmat/kaynnissa/FinNano-2006-2010/> Nanotieteen tutkimusohjelma (FinNano 2006-2010)

[33] <http://www.apropos.fi/pj3.php> FUNANO kokosi kolmen yliopiston tutkijavoimat. *Apropos* 1/2008.

Yhteyttämisen valoreaktioiden valjastaminen energiantuotantoon

[34] http://www.esf.org/fileadmin/be_user/activities/research_conferences/Docs_NEW/2008/2008-253fp.pdf Rögner M (2008). Basics of Photosystem 2 function and applications for biohydrogen production. ESF-EMBO Symposium: Molecular Bioenergetics of Cyanobacteria: Towards Systems Biology Level of Understanding. 29.3.-3.4.2008 Costa Brava, Espanja.

Lääkkeiden ja tehoaineiden kohdistettu annostelu

[35] <http://nanotechweb.org/cws/article/tech/23661> Nanocarrier suits eye disease treatment. *Nanotechweb.org* 23.11.2005

[36] http://www.syngenta.com/en/day_in_life/microcaps.aspx A microscopic formula for success [mikrokapselien koko on tässä 2 500 nanometriä – nanosovelluksesta ei siis vielä ole kyse]. Syngenta

[37] <http://www.agronano.com/nanogro.htm> Nano-Gro™. AgroNano.

Liite. Laajennettu nanotieteen yhteistyöfoorumi

Pvm 13.2.2007, Dnro 11/040/2006

Asia: Laajennetun nanotieteen yhteistyöfoorumin nimittäminen

Nanotieteet ja nanoteknologia mahdollistavat monilla sovellusaloilla tuotantoprosessien ja tuotteiden uudistamisen ja nanotieteet eri tavoin painotettuina on nostettu useissa teollistuneissa maissa keskeiseksi kehittämiskohteeksi. Suuret Euroopan maat panostavat erityisesti nanotieteen perustutkimukseen ja laaja-alaiseen nanoteknologioiden kehittämiseen, pienissä maissa kehittämispäpanostuksissa on tehty valintoja maan vahvuuksien ja kansallisten intressien perusteella. Julkisten investointien lisäksi myös yritykset ovat investoineet nanotieteeseen perustuvien uusien tekniikkojen ja sovellusten kehittämiseen.

Suomessa julkisista rahoittajista sekä Suomen Akatemia että Tekes ovat käynnistäneet mittavat FinNano-tutkimus- ja teknologiaohjelmat ja opetusministeriö on varannut nanotieteisiin 24 miljoonan euron rahoituspanostuksen vuosille 2007–2009. Hallinnonaloilla on valmisteilla nanotieteeseen liittyviä hankkeita; muun muassa sosiaali- ja terveysministeriössä on suunniteltu nanotieteiden terveysvaikutuksien ja nanotieteen kehityksen seurantarvymän perustamista.

Opetusministeriö on nimennyt kansallisen nanotieteen yhteistyöfoorumin julkisten rahoittajien edustajista ajalle 1.2.2006–30.6.2010. Yhteistyöfoorumissa ovat edustettuina Suomen Akatemia, Tekes ja opetusministeriö. Nanotieteen kentän kattava koordinaatio ja kehittämistarpeiden tunnistaminen edellyttävät laajapohjaisempaa yhteistyötä ja tiedonvaihtoa valtiorhallinnossa.

Opetusministeriö on päättänyt laajentaa asettamaansa kansallista nanotieteen foorumia keskeisten ministeriöiden väliseksi yhdyshenkilöverkostoksi, jonka tehtävänä on nanotieteeseen ja

-teknologiaan liittyvien asioiden koordinointi valtionhallinnossa. Ryhmän tehtävänä on koordinoida ja ennakoida nanotieteiden alan kansallisia toimia, toimijoiden työnjakoa ja resursointia.

Laajennetun kansallisen nanotieteen yhteistyöfoorumin jäseniksi ajalle 1.3.2007–30.6.2010 nimetään:

Opetusneuvos Erja Heikkinen, opetusministeriö, puheenjohtaja
Ohjelmapäällikkö Petri Ahonen, Suomen Akatemia
Teknologia-asiantuntija Markku Lämsä, Tekes
Ylitarkastaja Petteri Kauppinen, opetusministeriö
Ylitarkastaja Ulla Mäkeläinen, opetusministeriö
FT Liv Kukkonen, Elintarviketurvallisuusvirasto
Ylitarkastaja Pirjo Kutinlahti, kauppa- ja teollisuusministeriö
Neuvotteleva virkamies Kimmo Pitkänen, sosiaali- ja terveysministeriö
Professori Asko Riitahuhta, Tampereen yliopisto
Ulkoasiainsihteeri Helena Silvonon, ulkoasiainministeriö
Ympäristöneuvos Antero Honkasalo, ympäristöministeriö

Ryhmä voi tarvittaessa kuulla sopimaksi katsomiaan tahoja koordinoidessaan ja suunnitellessaan kansallisen julkisen panostuksen kohdentamista, toimijoiden työnjakoa ja ennakoidessaan alan tulevaisuutta. Tämä mahdollistaa korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten sekä elinkeinoelämän ja keskusjärjestöjen osallistumisen suunnittelu- ja ennakointiprosessiin.

Yhteistyöfoorumin työskentelystä aiheutuvat kulut maksetaan valtion talousarvion momentilta 4.05.29.10.22.1 (va 25901, mks 609).

Johtaja Markku Mattila
Opetusneuvos Ari Saarinen