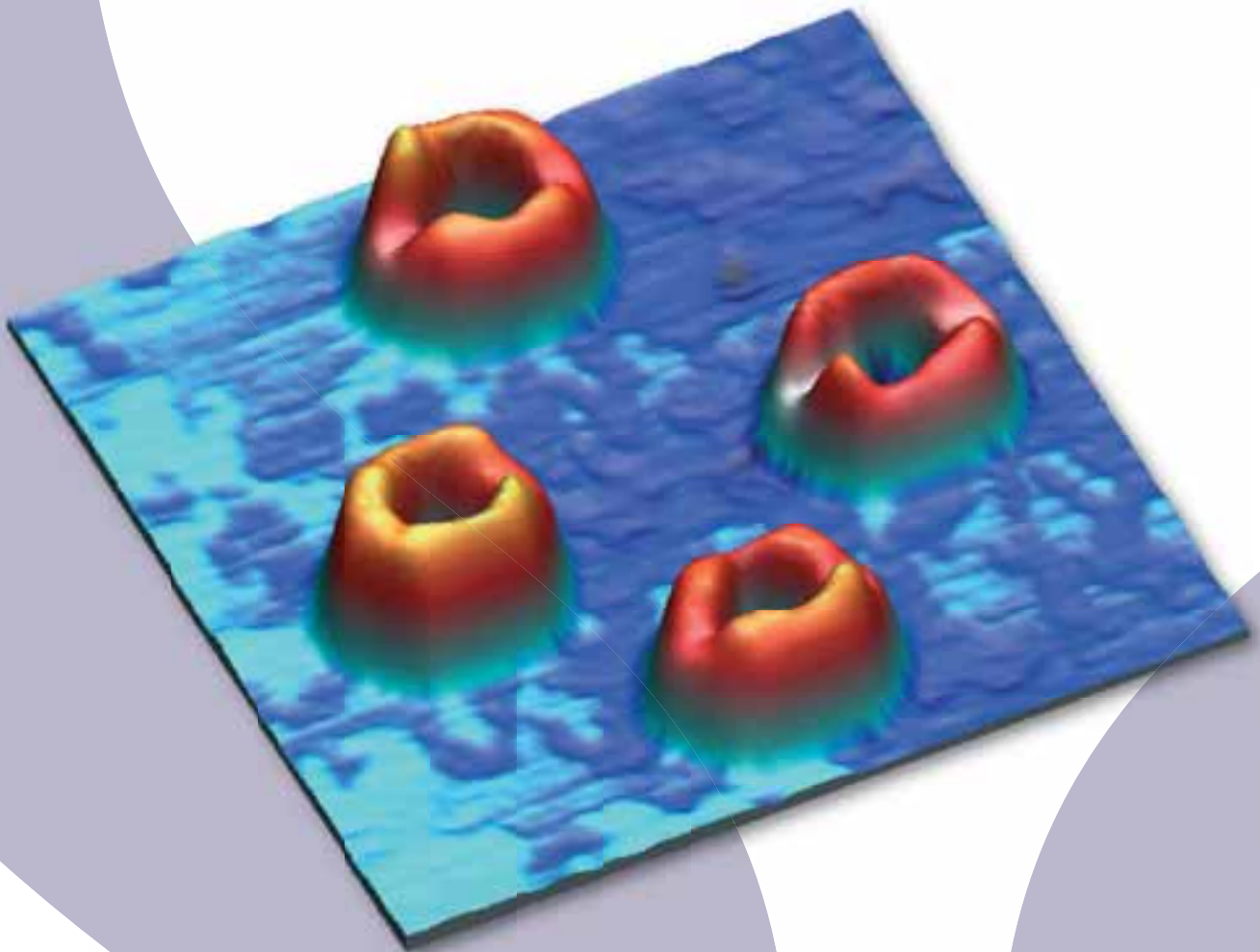


Helsinki NANO

HelsinkiNano-hankkeen loppuraportti



Mikro & Nanosysteemien ja
Aktiivimateriaalien osaamiskeskus



TEKNILLINEN KORKEAKOULU



Århusregionen
Århusregionen



Culminatum



HELSINGIN YLIOPISTO





HelsinkiNano-hankkeen loppuraportti



Mikro & Nanosysteemien ja
Aktiivimateriaalien osaamiskeskus



TEKNILLINEN KORKEAKOULU



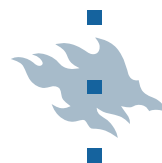
*Uudenmaan liitto
Nylands förbund*



Culminatum



TEKES



HELSINGIN YLIOPISTO



Kustantaja:
Mikro- ja nanosysteemien ja
aktiivimateriaalien osaamiskeskus,
Technopolis Ventures Oy

ISBN 951-22-7864-2

Painotalo Casper Oy 2005

Sisällysluettelo

Esipuhe	2
1. Yhteenveto	3
Executive Summary	5
2. Johdanto – mitä on nanoteknologia?	7
3. Nanotutkimuksen nykytilanne	11
3.1. Esimerkkejä nanoteknologian sovellutuksista	11
3.2. Nanoteknologiaturkimuksen rahoituksen kasvu	13
3.3. Nanoteknologian tutkimus Euroopassa	15
3.3.1. Eurooppa	15
3.3.2. Suomen nanoteknologian tutkimus Helsingin seudun ulkopuolella	18
3.4. Helsingin seudun nanoteknologian tutkimus	20
3.4.1. Nanoteknologian tutkimuslaitokset Helsingin seudulla	20
3.4.2. Nanoteknologian tutkimus Helsingin yliopistossa	22
3.4.3. Nanoteknologian tutkimus Teknillisessä korkeakoulussa	25
3.4.4. VTT:n nanoteknologian tutkimus Helsingin seudulla	27
3.4.5. Tieteen tietotekniikan keskus CSC	29
3.4.6. SWOT-analyysi nanoteknologian tutkimuksesta Helsingin seudulla	29
4. Ehdotus Helsingin alueen nanoteknologiastategiaksi	32
4.1. Strategian lähtökohta ja visio tulevaisuudesta	32
4.2. Strategian osa-alueet	34
4.2.1. Nanoteknologian perustutkimus	34
4.2.2. Koulutus	37
4.2.3. Kaupallistamiseen tähtäävä nanoteknologian tutkimus- ja kehitystyö	39
4.2.4. Nanoteknologiaa hyödyntävä liiketoiminta	42
4.3. Yhteenveto tarvittavista toimenpiteistä	49
5. Johtopäätökset	50
LIITE 1, Nanoteknologian julkaisumäärä maittain	52
LIITE 2, Katsaus muutaman Euroopan maan nanoteknologiaturkimustilanteeseen .	53
LIITE 3, Nanoteknologiaan liittyvät laboratoriot Helsingin yliopistossa, Teknillisessä korkeakoulussa ja VTT:llä (Otaniemi)	60
LIITE 4, Yrityskysely	65
LIITE 5 Suomen Akatemian nanoteknologiaan liittyvät huippuyksiköt Helsingin seudulla ja Suomen Akatemian nanoteknologian tai sitä sivuavan tutkimuksen akatemiaprofessorit Helsingin seudulla	69
LIITE 6, Uudellamaalla toimivia yrityksiä, joiden toimintaan nanoteknologia liittyy tai tulee vaikuttamaan	70

Esipuhe

HelsinkiNano-hanke käynnistettiin Teknillisen korkeakoulun Uusien materiaalin keskuksen ja Aktiivimateriaalien ja mikrosysteemien osaamiskeskuksen aloitteesta kahdesta syystä. Ensinnäkin Helsingin seudun nanoteknologiaan liittyvä tutkimustoiminta on ollut koordinoimatonta. On nähty selvä tarve tiivistää nanoteknologiayhteistyötä ennen kaikkea Helsingin yliopiston, Teknillisen korkeakoulun ja VTT:n välillä. Toiseksi on haluttu edesauttaa nanoteknologian seudullista hyödyntämistä yritystoiminnassa.

Hankkeelle asetettiin seuraavat tavoitteet:

- Kartoittaa Helsingin seudun nanotieteitä ja -teknologioita tukevaa tutkimustoimintaa.
- Tehdä ehdotus Helsingin alueen nanotutkimuksen ja sitä hyödyntävän liiketoiminnan strategiaksi osana kansallista nanoteknologian strategiaa.
- Kasvattaa Helsingin seudun nanoteknologian osaamiskeskittymä kansainvälisesti houkuttelevaksi uudelle yritystoiminnalle.
- Edesauttaa uuden yritystoiminnan syntyä sekä teknologian siirtymistä olemassa olevien yritysten käyttöön.
- Varmistaa rahoitus jatkosuunnitelmien toteuttamiseksi vuodesta 2005 alkaen

Rahoittajina ovat olleet Helsingin yliopisto, Teknillinen korkeakoulu, VTT, Tekes, Espoon ja Helsingin kaupungit, Uudenmaan liitto ja Aktiivimateriaalien ja mikrosysteemien osaamiskeskus. Hankkeen kesto oli 1.1.2004-30.6.2005. Uudenmaan osaamiskeskus Culminatum vastasi hankkeen rahoituksen kokoamisesta ja Culminatumin hallitus asetti hankkeelle johtoryhmän.

Hankkeen johtoryhmän puheenjohtajana on toiminut Helsingin yliopiston vararehtori, professori Marja Makarow. Johtoryhmän muut jäsenet olivat professori Juhani Keinonen (Helsingin yliopisto), professori Olli Ikkala (Teknillinen korkeakoulu), tutkimusprofessori Hans Söderlund (VTT), FT Markku Lämsä (Tekes), kaupunginjohtaja, TM Elina Lehto (Uudenmaan liitto), DI Jouko Strand (Aktiivimateriaalien ja mikrosysteemien osaamiskeskus), TkT Runar Törnqvist (Teknillinen korkeakoulu), professori Paavo Uronen (Culminatum) 7.2.2005 saakka ja DI Heini Noronen (Culminatum) 7.2.2005 lähtien. Johtoryhmän sihteeri oli TkT Runar Törnqvist.

Hanketta on toteuttanut Teknillisen korkeakoulun Uusien materiaalien keskus, jonka vastuullisena johtajana on toiminut professori Olli Ikkala. TkT Runar Törnqvist on vastannut käytännön toteutuksesta.

Hankkeen aikana on kuunneltu yli sataa henkilöä, jotka edustavat hankkeen kannalta tärkeitä sidosryhmiä. Raportissa esitetyt käsitykset ja ehdotukset ovat syntyneet näiden keskustelujen pohjalta ottaen huomioon hankkeen tavoitteet, omat kokemukset ja johtoryhmän muiden jäsenten kommentit.

Haluan kiittää kaikkia niitä henkilöitä, jotka ovat myötävaikuttaneet työn tuloksiin. Erityisesti haluan kiittää Pirjo Kekäläinen-Torvista, Paavo Kinnusta ja Markku Rajalaa antoisista keskusteluista. Anu Sutta kiitän avusta raportin viimeistelemisessä ja Helsinki-Nanon kotisivujen laatimisessa.

Espoossa, 9.9.2005

Runar Törnqvist

1. Yhteenveto

Nanoteknologia on yhteisnimike sille osaamiselle, joka syntyy kyvystä käsitellä luontoa atomi- tai molekyyllitasolla, ja joka *mahdollistaa uusien ilmiöiden hyödyntämisen*. Nanoteknologia on hyvin laaja käsite, eikä kyse ole yksittäisestä tieteestä vaan pikemminkin useista eri taidoista ja ilmiöistä, joita voidaan soveltaa monelle eri alalle.

Tämä raportti pyrkii antamaan ehdotuksia, joiden tavoitteena on edesauttaa Helsingin seutua (Uttamaata) hyötymään mahdollisimman paljon nanoteknologian kehityksestä. Tärkeimpänä hyödyn mittarina ovat tällöin syntyneet työpaikat niin lähivuosina kuin viidentoista vuoden jälkeen.

Raportissa on makrotasolla tarkasteltu nanoteknologian julkisen tutkimusrahoituksen kehitystä maailmanlaajuisesti. Viimeisen kymmenen vuoden aikana julkisen sektorin panostus nanoteknologian tutkimukseen on lähes kymmenkertaistunut. Muutamasta Euroopan maasta on tehty tarkempi katsaus. Suomen osuus maailman julkisen sektorin nanoteknologian panostuksesta on 0,5 %. Maamme on kokonsa huomioon ottaen pysynyt kohtuullisen hyvin mukana alan tutkimuksen kehityksessä. Koska tieto leviää nykyisin nopeasti, korostuvat tiedon löytämisen ja mahdollisuuksien oivaltamisen merkitys teknologiakilpailutekijöinä perustutkimuksen rinnalla.

Helsingin yliopistossa, Teknillisessä korkeakoulussa ja VTT:llä toimii noin kolmessakymmenessä laboratoriossa tai tutkimusryhmässä suunnilleen 200 tutkijaa nanoteknologian parissa. Nämä tutkimuslaitokset muodostavat yhdessä pohjoismaisessakin mittakaavassa merkittävän nanoteknologian keskittymän, joka vastaa noin puolesta maamme julkisen sektorin rahoittamasta nanoteknologian tutkimustoiminnasta. Helsingin seudulla on kansallisesti keskeinen rooli sekä nanoteknologian opetuksessa, tutkimuksessa että liiketoiminnan edistämisessä.

Opetuksessa tulisi erityisesti kiinnittää huomiota ongelmanratkaisuun ja luovuuteen. Yhteistyötä suositellaan myös Helsingin seudun kauppakorkeakoulujen, Taideteollisen korkeakoulun, ammattikorkeakoulujen ja ammattikoulujen kanssa, koska nanoteknologian opetuksen tulisi liittää kaupallistamista ja soveltamista tukevaa opetusta ja kasvatusta. Opetusjaksojen suorittamista ulkomaalaisissa huippuyliopistoissa tulisi valikoidusti kannustaa. Tarvitsemme sekä *nanoteknologian uudet aluevaltaukset hallitsevia tutkijoita* että nanoteknologian osaajia, jotka *pystyvät tunnistamaan kaupallisesti merkittäviä mahdollisuuksia*.

Tieteellisen tutkimustyön pitäisi tukea sekä maamme elinkeinoelämän osaamistarpeita että ennakkoluulottomia uusia avauksia. Panostus vahvoin yksikköihin on edellytys huipun saavuttamiseksi. Helsingin seudun tukituslaitoksilla on tähän maamme oloissa parhaat valmiudet. Nanoteknologian tutkimusvälineiden suhteellinen kalleus puoltaa usein niiden sijoittamista Helsingin seudulle, missä edellytykset niiden mahdollisimman tehokkaaseen käyttöön ovat hyvät nanoteknologian merkittävän tutkimusaktiviteetin ansioista. Kyse on ennen kaikkea ministeriötasolla tehtävistä linjauksista ja Suomen Akatemian ja Tekesin päätöksistä.

Nanoteknologiaa on useamman vuoden ajan sovellettu jo kaupallisestikin jonkun verran, eli Suomessakin on jo olemassa nanoteknologian innovaatioita hyödyntävää liiketoimintaa. Mikäli halutaan seurata ja tukea nanoteknologian kaupallistamista, on jo nyt mahdollista tarkastella koko innovaationketjun toimivuutta perustutkimuksesta kypsään liiketoimintaan.

Nanoteknologian kaupallistamiseen liittyvät maassamme samat haasteet kuin uuden teknologian kaupallistamiseen yleensä.

Uudellamaalla toimii toistakymmentä yritystä, joissa nanoteknologia muodostaa ydinosaamisen. Yritykset työllistävät tällä hetkellä arviolta 300 henkilöä. Niiden joukossa on maamme nanoteknologian uranuurtajayrityksiä kuten Orion Diagnostica ja Planar Systems. Tämän lisäksi on yli kaksikymmentä yritystä, joiden toimintaan nanoteknologia tulee todennäköisesti vaikuttamaan lähivuosina. Nanoteknologian työllistävää vaikutusta näissä yrityksissä on vaikea arvioida, mutta kyse voi olla tuhansista henkilöistä. Vakiintuneiden yritysten nanoteknologiaa hyödyntävän liiketoiminnan tukemiseksi on alueellisesti tärkeintä tukea yrityksiä kouluttamalla huipputason osaajia. Tätä tukee muun muassa todella korkeatasoinen tutkimus yritysten kannalta merkittävillä alueilla.

Uusien kasvuyritysten synty on yhä tärkeämpää, mihin nanoteknologia tarjoaa uusia mahdollisuuksia. Tällöin on kyse monista toimenpiteistä, joiden tulos nähdään vasta vuosien päästä. Nanoteknologialähtöisen ja työpaikkoja luovan uuden liiketoiminnan kannalta pullonkaulana ovat enemmän liiketoiminnan edellytykset kuin tutkimuslaitosten tutkimuksen tieteellinen taso tai edes innovaatiokyky. Erityistä huomiota on kiinnitettävä varhaisen vaiheen rahoitukseen ja pätevien henkilöiden kokemuksen hyödyntämiseen. Kasvuyritysten synnyttämiseksi ehdotetaan uudentyyppistä alueellista kokeilua.

Nanoteknologian hyödyntämisen kannalta pidetään tärkeänä, että muodostetaan alueellinen keskittymä, HRNI (Helsinki Region Nanotechnology Initiative), joka keskittyisi sellaisiin koulutuksen, tutkimuksen ja liiketoiminnan edistämiseen liittyviin kysymyksiin, joissa nähdään yhteistä seudullista etua. Kyse ei ole uusien tutkimustilojen rakentamisesta, eikä merkittävien uusien organisaatioiden luomista, vaan opetuksen koordinoinnista, tutkimusyhteistyön lisäämisestä (esim. laitehankinnat) ja toimenpiteistä nanoteknologiaa hyödyntävän liiketoiminnan tukemiseksi.

Executive Summary

Nanotechnology covers the ability to manipulate and control matter on the atomic or molecular scale, *which makes it possible to make use of new properties and functions*. Nanotechnology is not a well defined science. It rather describes several skills and phenomena, which can be applied in many different areas.

The purpose of this report is to suggest actions in order to help the Helsinki Region to benefit as much as possible from the development of nanotechnology. The most important measure for benefit in this context is the number of jobs created, both in the next few years and in the longer term.

The worldwide development of public funding of nanotechnology research has been studied on a macro level in this report. During the last ten years public support to nanotechnology research has increased almost ten fold. A closer study has been done for a few European countries. Finland's share of the worldwide public nanotechnology research funding is 0.5 %. Taking the size of the country into account, Finland has been able to keep up with the development in this field rather well. Since information is now rapidly available all over the world, finding new information and identifying new opportunities have become important competitive technology strengths in addition to basic research.

In the Helsinki Region there are about 200 nanotechnology researchers in some 30 laboratories or research groups at University of Helsinki, Helsinki University of Technology and VTT Technical Research Centre of Finland. These research institutes account for about half of the publicly funded nanotechnology research in Finland, and together they form a significant center for nanotechnology even in comparison to other Nordic Countries. On a national scale the Helsinki Region plays a central role in nanotechnology education, research and in promoting business that uses nanotechnology.

Problem solving and creativity should be taken into account in teaching. Cooperation with business schools, engineering schools, the University of Art and Design Helsinki, polytechnics and vocational schools is to be recommended. Nanotechnology education should be connected to education that supports commercialization and applications. Studies in outstanding nanotechnology universities abroad should be selectively supported. We need both researchers, *who create new knowledge in nanotechnology* and skilled persons, *who can identify important opportunities for commercialization*.

Scientific research should meet the needs of both Finnish business community and open-minded new approaches. To reach the peak, resources should be concentrated in strong units. Nationally the research organizations in the Helsinki region best fit this description. Since nanotechnology research equipment is relatively expensive, it often makes sense to place it in the Helsinki region, where the conditions for efficient use are present due to high research activity in this field. In this respect, guidelines of different ministries and decisions taken by the Academy of Finland and TEKES (National Technology Agency of Finland) are crucial.

Nanotechnology has, to some extent, been applied commercially for several years and there already is some Finnish business taking advantage of nanotechnology innovations. Today, it is already possible to monitor and support the commercialization of nanotechnology and to observe the functioning of the whole innovation chain from basic research to mature

business. In terms of commercialization, nanotechnology faces similar challenges as other fields of technology do in Finland.

In the greater metropolitan area of Helsinki there are more than ten companies with a core competence in nanotechnology. Together these companies employ some 300 people. Pioneering nanotechnology companies in Finland such as Orion Diagnostica and Planar Systems are among these. Additionally there are more than twenty companies which are likely to be impacted by nanotechnology in the next few years. The number of new nanotechnology-related jobs in these companies is difficult to estimate, but it may be in the thousands. Educating and training top talent is the most important regional support to nanotechnology in established companies. In the fields most relevant to companies this is supported by research at the highest level.

Fostering new growth companies is becoming increasingly important. Nanotechnology offers new opportunities in this regard. Several actions are needed, the results of which will be seen many years from now. Business conditions are the bottleneck for nanotechnology-based job creation rather than the scientific level of the research organizations or indeed their innovativeness. Special attention should be paid to pre-seed funding and to utilizing the experience of experts. In order to create new growth companies, innovative regional foray is being suggested.

In order to realize the potential of nanotechnology it is important to form a local forum HRNI (Helsinki Region Nanotechnology Initiative), which would concentrate on education, research and business-related issues with a joint regional advantage. The goal is neither to build new research facilities, nor to create new organizational structures, but to coordinate education, to intensify research collaboration (e.g. in purchasing new equipment) and to take actions in support of nanotechnology-intensive business.

1. Johdanto - mitä on nanoteknologia?

Japanilainen professori Norio Taniguchi käytti vuonna 1974 tiettävästi ensimmäisenä sanaa nanoteknologia, jolla hän tarkoitti materiaalien käsittelyä atomi- tai molekyyllitasolla (*"Nanotechnology mainly consists of the processing of separation, consolidation, and deformation of materials by one atom or one molecule"*). Merkittävät askeleet nanoteknologian kehityksessä olivatkin tunnelointimikroskoopin ja atomivoimamikroskoopin käyttöönotto 80-luvulla, koska ne mahdollistivat yksittäisten atomien ja molekyylien havaitsemisen. Tehokkaammat tietokoneet, paremmat mallinnusvälineet ja entistä paremmat suurresoluutioläpivalaisuelektronimikroskoopit ovat muita esimerkkejä kehityksestä, joka on edesauttanut atomi- ja molekyyllitasolla tapahtuvien ilmiöiden ymmärtämistä ja hyödyntämistä.

Koska kvanttimekaniikan lait alkavat vaikuttaa aineen perusominaisuuksiin nanometrialuetta lähestyttäessä ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), voidaan valmistaa rakenteita, joilla on uusia ja käytännön kannalta mielenkiintoisia ominaisuuksia. Esimerkkinä voidaan mainita, että kiinteän aineen sulamispiste laskee hiukkaskoon ollessa muutamia nanometrejä. Tätä ilmiötä voidaan käyttää hyväksi valmistettaessa hienoresoluutioelektroniikkapiirejä painatus- tai suihkuteknologiaa (*ink jet*) hyväksikäyttäen. Toisena esimerkkinä voidaan mainita kvanttipistelaserit. Myös hiukkasten tai huokoisten rakenteiden pinta-alan suhde tilavuuteen (tai massaan) kasvaa voimakkaasti koon pienentyessä. Suureen pinta-alaan yhdistettävä pinnan ominaisuuksien muokkaaminen tarjoaa monia hyödynnettävissä olevia mahdollisuuksia. Esimerkkejä löytyy niin lääketieteellisestä diagnostiikasta kuin pakokaasujen katalyysaattoreista.

Nanoteknologia on yhteisnimitys sille osaamiselle, joka syntyy kyvystä käsitellä luontoa atomi- tai molekyyllitasolla, ja joka mahdollistaa uusien ilmiöiden hyödyntämisen. Nanoteknologia on hyvin laaja käsite – kyse ei ole yksittäisestä tieteestä vaan pikemminkin useista eri taidoista, joita voidaan soveltaa monelle eri alalle. **Oleennaista nanoteknologiassa on se, että pystymme tietoisesti luomaan uusia ominaisuuksia tai toimintoja luonnon perusrakenteita ja -ilmiöitä hyväksikäyttäen.** Tämä edellyttää nanomaailman ilmiöiden syvällistä ymmärtämistä ja hallitsemista.

Ei ole mahdollista antaa yksiselitteistä rajaa sille, mitä voidaan pitää nanoteknologiana. **Pelkkä nanometrialueen ilmiöiden hyödyntäminen tai ymmärtäminen ei välttämättä tarkoita sitä, että kysymyksessä olisi nanoteknologia.** Kemistit työskentelevät usein nanometrialueella, koska kemiallisen sidoksen pituus on noin 0,1 nm ja molekyylit ovat tyypillisesti 1 – 10 nm kokoluokkaa. Uusia aineita on osattu syntetisoida jo pitkälti yli sata vuotta, eikä kemia sinänsä ole nanoteknologiaa. Käytettäessä hyväksi kemiallisten rakennesien ominaisuuksia uusien toimintojen aikaansaamisessa, kuten itsejärjestyvissä materiaaleissa ja supramolekyyleissä tehdään, kyse voi olla nanoteknologiasta, erityisesti jos nanorakenteiden räätälöinti mahdollistaa jonkun halutun toiminnon. Biotieteessä käsitellään atomitasolla tarkasti määriteltyjä luonnon rakenteita, jotka pystyvät jopa monistamaan itsensä. Vaikka luonto on täynnä käsittämättömän kehittyneitä nanokoneita, ei biotekniikka yleensä ole nanoteknologiaa. Nanoteknologiasta on kyse kun esimerkiksi DNA:n koodia käytetään muodostamaan nanoelektroniikan rakenteita tai kun DNA on yhdistetty nanopartikkeleihin sensorien aikaansaamiseksi. **Siksi on korostettava, että nanoteknologia edellyttää uusien ilmiöiden systemaattista ja tarkoituksenmukaista hyödyntämistä.**

Koska nanoteknologiassa on vaikea erottaa eri luonnontieteitä, työ on usein poikkitieteellistä.

USA:ssa vuonna 2002 käynnistyneessä kansallisessa nanoteknologiahankkeessa (National Nanotechnology Initiative, NNI) määritettiin nanoteknologia ja –tiede niin, että sen on täytettävä seuraavat kolme ehtoa (vapaa käännös):

1. Tutkimus tai teknologiakehitys atomi-, molekyyli- tai makromolekyyllitasolla, jossa suuruusluokka on 1-100 nm.
 2. Luodaan tai käytetään rakenteita, laitteita ja systeemejä, joilla on uudentyyppisiä ominaisuuksia ja toimintoja pienen tai pienehkön kokonsa ansiosta.
 3. Voidaan hallita ja vaikuttaa rakenteisiin atomitasolla.
1. Research and technology development at the atomic, molecular or macromolecular levels, in the length scale of approximately 1 - 100 nanometer range.
 2. Creating and using structures, devices and systems that have novel properties and functions because of their small and/or intermediate size.
 3. Ability to control or manipulate on the atomic scale

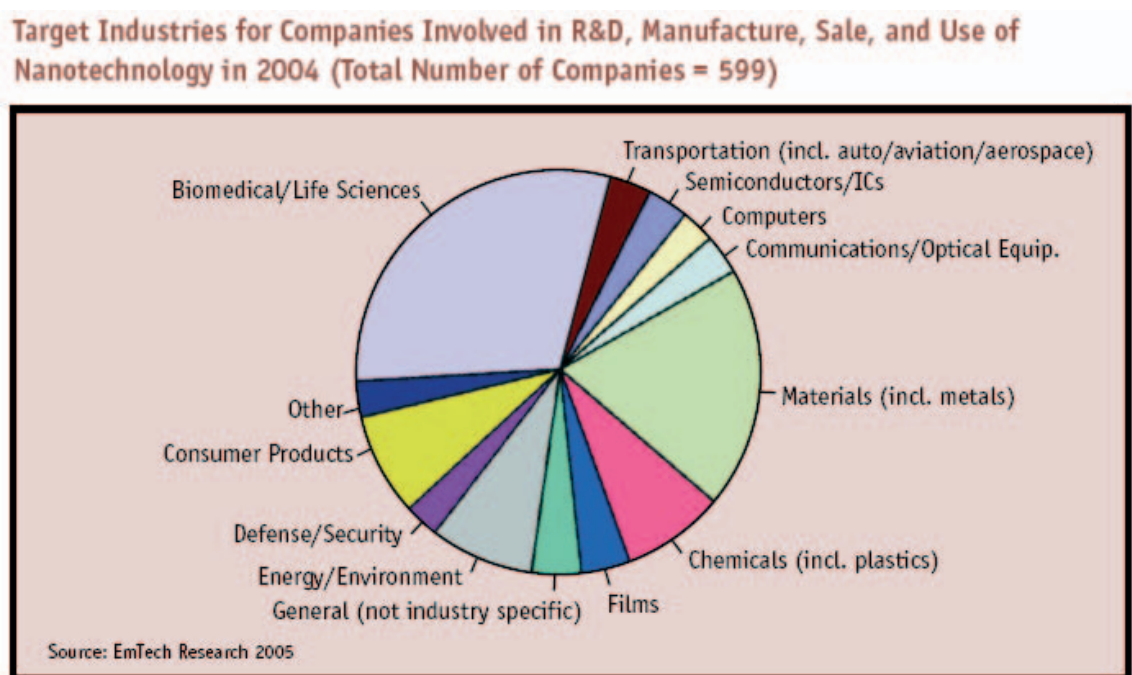
Näin määriteltynä nanoteknologia kattaa paljon sellaista osaamista, joka on syntynyt ennen itse nanoteknologiatermin yleistymistä.

Nanoteknologiaa onkin useita vuosia jonkin verran sovellettu kaupallisesti, eli on jo olemassa nanoteknologian innovaatioita hyödyntävää liiketoimintaa. Mikäli halutaan seurata ja tukea nanoteknologian kaupallistamista, on jo nyt mahdollista tarkastella koko innovaatio-ketjun toimivuutta perustutkimuksesta kypsään liiketoimintaan. Näin voidaan kohdistaa toimenpiteet niihin osa-alueisiin, joissa todetaan suurimmat puutteet. Vaikka nanoteknologian kehitys on voimakkaassa kasvussa ja tutkimukseen on syytä panostaa, ei se vielä riitä. **Nanoteknologian kaupallistamiseen liittyvät maassamme samat haasteet kuin uuden teknologian kaupallistamiseen yleensä.**

Koska nanoteknologian tutkimiseen ja kehittämiseen panostetaan voimakkaasti, on selvää, että nanoteknologiakäsitettä helposti käytetään tarkoitushakuisesti rahoituksen saamiseksi. Jotta nanoteknologian mahdollisuuksia voitaisiin tehokkaasti hyödyntää jatkossa, **on tutkimustyössä olennaista tavoitella uudentyyppisten ominaisuuksien tai uusien toimintojen luomista, eikä tyytyä jatkamaan vanhojen asioiden uudella nimikkeellä.** Luonnollisesti meidän tulee noudattaa kansainvälistä käytäntöä nanoteknologiatermin soveltamisessa.

Tärkeää on myös antaa realistinen kuva nanoteknologiasta, sen tarjoamista mahdollisuuksista ja siihen liittyvistä epävarmuustekijöistä. Nanoteknologia lupaa mullistavia ratkaisuja monelle eri alalle. Esimerkkeinä voidaan mainita entistä kestävämmät materiaalit, uudet energialähteet sekä tehokkaammat elektroniset laitteet ja lääkkeet. Ei ihme, jos nanoteknologiasta on tullut jopa muotisana. Keskeistä on kuitenkin se, miten pysymme itse mukana kehityksessä, kun mittarina on viime kädessä yhteiskunnan taloudellinen hyöty. Nanoteknologia on eräänlainen ”työkalupakki”, johon mahtuu useita eri nanoteknologian työkaluja. **Taloudellisen hyödyntämisen kannalta on olennaista, että kehitämme sopivat nanoteknologian työkalut ennen kaikkea niillä aloilla ja niihin sovellutuksiin, joissa voimme kilpailla mahdollisimman menestyksellisesti maailmanmarkkinoilla.**

Kuvassa 1 on esitelty miten 599 nanoteknologian parissa työskentelevää yritystä Yhdysvalloissa jakaantuu eri aloille. Eri aloilla ja eri sovellutuksissa tarvitaan erilaisia nanoteknologian työkaluja.



Kuva 1. Nanoteknologian soveltaminen eri teollisuuden aloille Yhdysvalloissa (perustuen 599 yrityksen tietoihin)¹.

Nanoteknologia lupaa ympäristön ja terveyden kannalta uusia hyödyllisiä ratkaisuja. Esimerkkeinä voidaan mainita energialähteet, kuten polttokennot ja aurinkokennot ja paremmat ilman saastumista estävät laitteet, kuten pakokaasukatalyysaattorit ja ilman-suodattimet. Muita esimerkkejä ovat sairaisiin kudoksiin hakeutuvat täsmälääkkeet, kehon toimintoja tarkasti seuraavat anturit ja myrkkyykaasuja helposti tunnistavat välineet. Nanoteknologiaan liittyy kuitenkin myös ympäristöön ja terveyteen liittyviä epävarmuustekijöitä, joihin on suhtauduttava asiallisen vakavasti. Suurin huoli on pienten nano-hiukkasten mahdollisista terveysvaikutuksista, joista on toistaiseksi riittämättömästi tietoa.

USA:n kansallisen nanoteknologiahankkeen (NNI) viisivuotisseurantaraportin yhteydessä tehtiin teknisen neuvontaryhmän (Technical Advisory Group, TAG) asiantuntijajäsenille kysely, jossa heitä pyydettiin arvioimaan, millä nanoteknologian tutkimusalueilla voitaisiin odottaa merkittävää edistystä¹. Sen pohjalta koottiin seuraava lista potentiaalisista lyhyen, keskipitkän ja pitkän aikavälin tutkimusaiheista.

¹ "The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel", President's Council of Advisors on Science and Technology, May 2005 (saatavissa web-osoitteesta <http://www.nano.gov/index.html>)

³ <http://www.taketheroad.com/index.view?ARTID=21942>

Lyhyt aikaväli (1-5 vuotta)

- Nanokomposiitit, joiden lujuus/paino-suhdetta, kestävyyttä ja muita ominaisuuksia on merkittävästi parannettu.
- Veden puhdistukseen, suolanpoistoon ja muihin sovelluksiin kehitetyt nanokalvot ja suodattimet.
- Katalyytit, joissa tarvitaan nykyistä selvästi vähemmän jalometalleja.
- Herkät, selektiiviset ja luotettavat kiinteän olomuodon kemialliset ja biologiset anturit.
- Point-of-care lääketieteen diagnostiikkalaitteet.
- Pitkäkestoiset ladattavat paristot.

Keskipitkä aikaväli (5-10 vuotta)

- Täsmälääkehoito.
- Tehostettu lääketieteellinen kuvantaminen.
- Tehokkaat ja edulliset aurinkokennot.
- Paremmat polttokennot.
- Tehokas teknologia vedyn tuottamiseksi vedestä.
- Hiilipäästöjen torjunta.

Pitkä aikaväli (20+ vuotta)

- Lääkkeiden annostelu soluseinän läpi.
- Molekylaarinen elektroniikka.
- Täysoptinen tiedon prosessointi.
- Hermokorvikkeet halvausten, sokeuden ja muiden sairauksien hoidossa.
- Energian tuotanto ympäristön lämpöön ja kemiallisiin reaktioihin perustuen.

Olemme tässä työssä käyttäneet termiä nanoteknologia, myös kun on kyse tieteellisestä tutkimustoiminnasta. Tieteellisestä työstä käytetään usein myös termiä nanotiede (nanosciences). Koska Nanotechnology-termi näkyy vakiintuneen kansainvälisesti myös tieteellisen tutkimustyön yhteydessä, käytämme tässä raportissa kuitenkin yleensä termiä nanoteknologia.

Haluamme painottaa sitä, että termi nanoteknologia ei välttämättä tarkoita teknologian kehittämistä kaupallistamismielessä. Siksi korostamme, että nanoteknologian tieteellisellä tutkimustyöllä on muita tavoitteita kuin nanoteknologian soveltavalla tutkimustyöllä. Tieteellisen työn tulokset mitataan tieteellisten julkaisujen avulla. Soveltavan tutkimustyön tulokset arvioidaan saavutetun hyödyn muodossa. Yleensä tämä hyöty mitataan viime kädessä rahassa. Näin ollen nanoteknologian tutkimustyötä tulee ohjata eri tavoin tavoitteista riippuen.

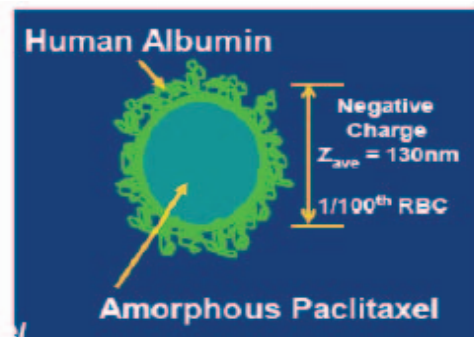
3. Nanotutkimuksen nykytilanne

3.1. Esimerkkejä nanoteknologian sovellutuksista

Nanohiukkasiin perustuvat syöpälääkkeet

Abraxane™ -syöpälääke (American Pharmaceutical Partners, Inc.) perustuu albumiiniin sidottuun nanohiukkaseen, joka mahdollistaa lääkeaineen (paklitakseli, Taxol) kuljettamisen suoraan syöpäsoluihin.

Abraxane™, joka on saanut FDA-hyväksynnän (U.S. Food and Drug Administration) tammi-kuussa 2005, mahdollistaa moninkertaisen syöpälääkeannostuksen.



Lähde: Lux Research Inc. (www.luxresearchinc.com)

Kustannussäästöjä kännyköiden valmistuksessa nanoteknologian avulla

Useimmissa 3G-kännyköissä on neljä muistipiiriä, jotka kaikki on optimoitu eri tarkoitusta varten (SRAM, PSRAM, NOR flash ja NAND flash).

IC-yritykset kuten Altis (IBM/Infineon JV), Freescale, Nantero ja Zettacore ovat kehittämässä nanoteknologian avulla muistipiirejä, joiden avulla voidaan korvata yhdellä piirillä kolme tai neljä kännykän nykyisistä muistipiireistä.

Uudet muistipiirit otetaan käyttöön v. 2006 – 2007, jolloin niiden arvioidaan alentavan kännyköiden hintaa 10-20 eurolla.

Lähde: Lux Research Inc. (www.luxresearchinc.com)



Naarmuuntumattomat pinnat

Mercedes-Benz on ilmoittanut ottaneensa käyttöön keraamisiin nanohiukkasiin perustuvan maalin, joka estää naarmujen muodostumista tehokkaammin kuin aikaisemmin käytetyt maalit³.

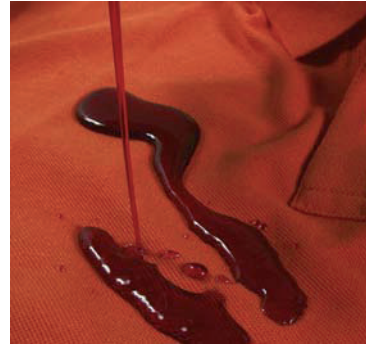
Likaantumattomat tekstiilit

Vuonna 1999 perustettu Nano-Tex on kehittänyt nanoluokan molekyylejä, jotka sitoutuvat tekstiilien kuituihin estäen pinnan kastumista ja likaantumista. Kyse ei ole pinnan peittämisestä, eivätkä tekstiilin ominaisuudet käyttäjän kannalta muutu.

Työ juontaa juurensa University of California at Berkeleyssä tehtyyn polymeeritutkimukseen.

Yrityksellä on yli sata asiakasta, joiden joukossa ovat esimerkiksi Lee, Lewis ja Nike.

Lähteet: Nano-Tex Company Backgrounder (dstevens@double-forte.com), www.nano-tex.com



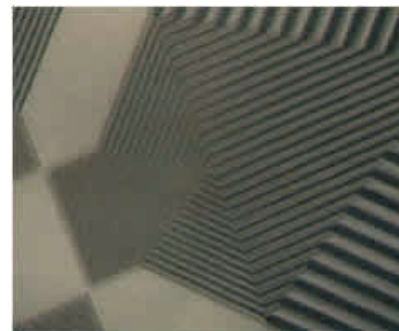
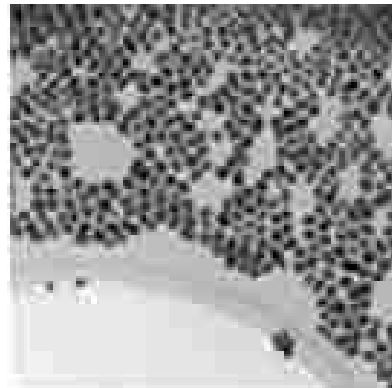
Sähköisten elektroniikkapiirien valmistamisessa käytettävät johdenesteet

Johdepastaa on mahdollista valmistaa käyttämällä monodispersiivisiä (so. saamankokoisia) metallisia nanohiukkasia, joiden halkaisija on muutaman nanometrin pituinen, ja joiden pintaan kiinnitetään hiukkasia toisistaan erillään pitäviä molekyylejä. Pasta on huoneenlämpötilassa lähes nestemäistä huolimatta korkeasta metallipitoisuudesta. Kuumentamalla nestettä (alle 200 °C) nanohiukkaset yhdistyvät ja luovat samalla johtavan kiinteän metallin.

Tällaisen nesteenomaisen johdeaineen avulla voidaan painatus- tai suihkutekniikalla valmistaa esimerkiksi suuresoluutioelektroniikkapiirejä ilman, että käytetään monimutkaisempia kuviointimenetelmiä (fotolitografiaa ja syövytystä).

Japanilainen kemian alan yritys Harima on kaupallistamassa tällaista teknologiaa.

Lähde: Harima Electronic Materials
http://www.harima.co.jp/products/electronics/e_series_frame.html



30 µm /30 µm resoluutio

Uusia tuoteratkaisuja, kuten taipuisat aurinkoparistot

Yhdysvaltalainen start-up-yritys Konarka on kehittänyt tässä taipuisia aurinkoparistoja, joissa hyödynnetään titaanidioksidinanohiukkasten ominaisuuksia.

Aurinkoparistojen substraattina käytetään muovia ja valmistus perustuu kustannustehokkaaseen painatusprosessiin (roll-to-roll).

Taipuisille aurinkoparistoille löytyy käyttöä hyvin monissa eri sovellutuksissa, kuten elektroniikan kannettavissa laitteissa.



Lähde: Lux Research Inc. (www.luxresearchinc.com)

3.2. Nanoteknologiatutkimuksen rahoituksen kasvu

Nanoteknologian tutkimusrahoitus on kasvanut erittäin voimakkaasti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Julkisen sektorin panostus on jaksolla lähes kymmenkertaistunut (Taulukko 1). Sama kehitys näkyy nanoteknologian tieteellisten julkaisujen, nanoteknologian patenttien ja patenttihakemusten lukumäärissä. Nanoteknologiatermin yleistyminen lienee jonkin verran vaikuttanut lukuihin. Julkisen sektorin tutkimusrahoituksen kasvu on kuitenkin kiistaton. Samalla on muistettava, että luvut voivat vaihdella maasta toiseen riippuen siitä, miten nanoteknologia on määritelty. Maakohtaiset luvut eivät siksi välttämättä ole täysin vertailukelpoisia.

Taulukko 1. Arvioitu valtiollinen nanoteknologian rahoitus vuosina 1997-2005 ¹.
Rahayksikkö: milj. USD (nominaalisesti).

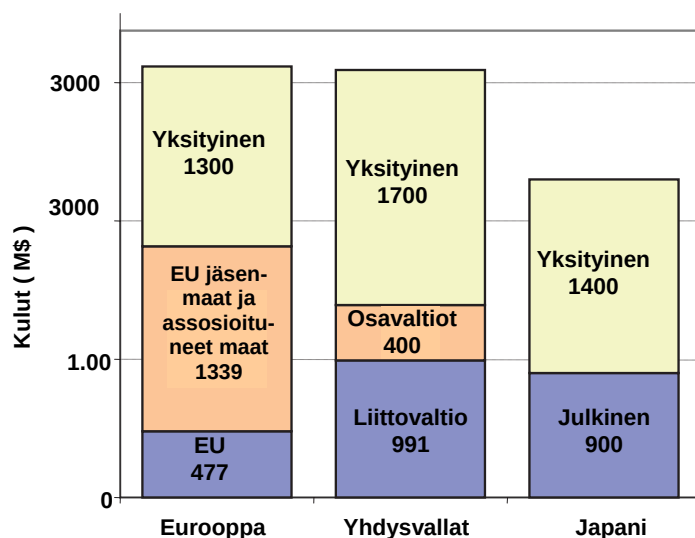
Alue	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Eurooppa	126	151	179	200	~225	~400	~650	~650	~1050
Yhdysvallat	116	190	255	270	465	697	863	989	1081
Japani	120	135	157	245	~465	~720	~800	~900	~950
Muut	70	83	96	110	~380	~550	~800	~900	~1000
Yhteensä (% v. 1997)	432 (100%)	559 (129%)	687 (159%)	825 (191%)	~1535 (355%)	~2350 (547%)	~3100 (720%)	~3700 (866%)	~4100 (945%)
EUR/USD²	1,15	1,11	1,07	0,92	0,90	0,95	1,13	1,24	1,31 ^{*)}

^{*)} Joulukuu-huhtikuu

¹ "The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel", President's Council of Advisors on Science and Technology, May 2005 (saatavissa web-osoitteesta <http://www.ostp.gov/PCAST/PCASTreportFINALlores.pdf>)

² Suomen Pankki, vuoden kesikurssi

Yksityisen sektorin tutkimus- ja kehityspanostuksia nanoteknologiaan on vaikea selvittää tarkasti. EU-komissio on arvioinut, että yksityisen sektorin rahoitus olisi ollut noin 2 miljardia euroa vuonna 2003 ¹. Konsulttiyritys Lux Researchin mukaan julkisen sektorin rahoitus oli 4,6 miljardia dollaria vuonna 2004 ja yksityisen sektorin panostus 3,8 miljardia dollaria ². Merkille on pantava, että Japanissa ja USA:ssa yksityisen sektorin panostus on suhteellisesti korkeampi kuin Euroopassa ³.



Kuva 2. Arvioitu nanoteknologian T&K-rahoitus vuonna 2004 ³.

Sekä Aasiassa, Euroopassa että USA:ssa on käynnistetty tutkimusohjelmia tukemaan nanoteknologian kehitystä.

Yhdysvalloissa liittovaltio rahoittaa *National Nanotechnology Initiative* -ohjelmaa (NNI) lähes miljardilla dollarilla vuonna 2005. Tämän lisäksi osavaltiot suuntaavat nanoteknologiaan omaa rahoitusta noin 300 miljoonaa dollaria ¹.

Japani valitsi nanoteknologian yhdeksi tutkimuksen painopisteistään vuonna 2001. Rahoitus on kasvanut 400 miljoonasta dollarista vuonna 2001 noin 800 miljoonaan dollariin vuonna 2003. Rahoitus kasvoi edelleen 20 prosentilla vuonna 2004. Etelä-Korealla on kymmenvuotinen nanoteknologiaohjelma, jossa julkisen rahoituksen suuruus on noin 2 miljardia dollaria. Taiwan suuntaa nanoteknologiutkimukseen noin 600 miljoonaa dollaria julkisia varoja kuuden vuoden aikana. Myös Kiina on voimakkaasti panostamassa nanoteknologiaan. Tässä yhteydessä on syytä muistaa maan kustannustaso ja potentiaaliset resurssit. Euroopan tilannetta tarkastellaan tarkemmin seuraavassa luvussa.

¹ EU:n KOMISSION TIEDONANTO, Tavoitteena eurooppalainen nanoteknologiastategia, Bryssel, 12.5.2004

² Lux Research, The Nanotech Report 2004

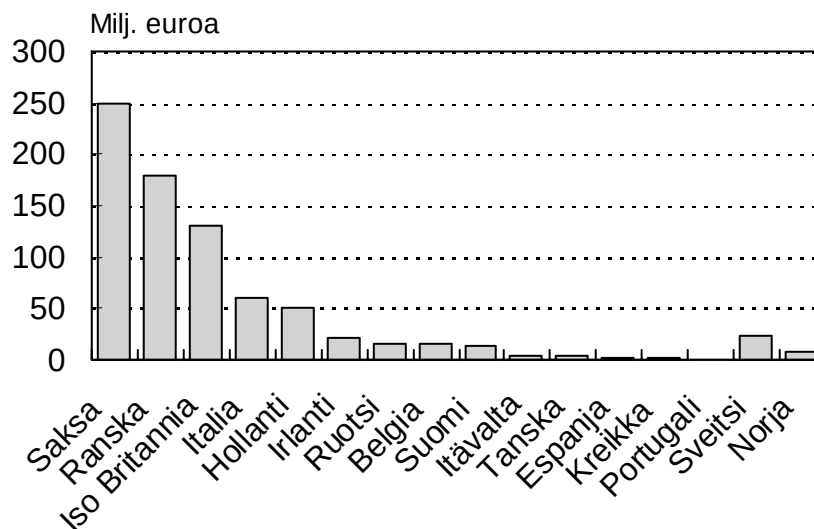
³ European Commission (2005) and www.cordis.lu/nanotechnology (perustuen osittain LuxResearch:in tietoihin)

3.3. Nanoteknologian tutkimus Euroopassa

3.3.1. Eurooppa

EU-komission selvityksen mukaan nanoteknologian saama julkisen sektorin tutkimusrahoitus EU-maissa, Israelissa, Norjassa ja Sveitsissä oli noin 1 150 milj. euroa vuonna 2003, mikä on hieman yli National Science Foundationin arvion (Taulukko 1). Summasta 350 miljoonaa euroa oli EU-komission rahoitusta ja loppuosa kansallista rahoitusta. Henkilöä kohti laskettu julkisen sektorin panostus nanoteknologiaan on vuositasolla EU-maissa alhaisempi (2,9 €) kuin Yhdysvalloissa (3,7 €), ja selvästi alhaisempi kuin Japanissa (6,2 €). EU-komissio pitääkin tärkeänä julkisen panostuksen lisäämistä ja voimavarojen keskittämistä olennaiseen¹. FP7-puiteohjelmassa kaavaillaan nanoteknologiaan ja sitä sivuaviin aihepiireihin jopa 4 830 miljoonan euron rahoitusta vuosina 2007-2013². EU:n puiteohjelmista löytyy enemmän tietoa CORDIS-kotisivuilta <http://www.cordis.lu/en/home.html>.

Euroopan nanoteknologian tieteellistä vahvuutta nanotieteissä kuvaa se, että vuosina 1997–1999 EU:n osuus alan tieteellisistä julkaisuista maailmassa oli 32 prosenttia, kun Yhdysvaltain osuus oli 24 prosenttia ja Japanin 12 prosenttia¹. Tätä osaamista ei kuitenkaan ole täysin kyetty hyödyntämään Euroopan teollisuudessa. EU:n maailmanlaajuinen osuus patenteista on 36 prosenttia, kun taas Yhdysvaltain osuus on 42 prosenttia¹. Tämä viittaa puutteisiin tieteellisten tulosten kaupallistamisessa. Viime aikoina käyty keskustelu Lissabonin agendasta ja komissaari Janez Potočnikin puheenvuoro Helsingissä järjestetyssä Nanotechnology in Northern Europe -kongressissa 26.4.2005 korostavat tarvetta muuttaa tieteellistä osaamista kilpailukykyiseksi liiketoiminnaksi.



Kuva 3. Nanoteknologiaturkimuksen arvioitu julkinen rahoitus eri Euroopan maissa vuonna 2003¹.

Nanoteknologian arvioitu julkinen tutkimusrahoitus eri Euroopan maissa on esitetty kuvassa 3. Luvut perustuvat eri maiden omiin arvioihin, joten ne eivät välttämättä ole täysin vertailu-

¹ EU:n KOMISSION TIEDONANTO, Tavoitteena eurooppalainen nanoteknologiastategia, Bryssel, 12.5.2004

² <http://www.cordis.lu/fp7/breakdown.htm>

kelpoisia. Mikäli rahoitusmäärä suhteutetaan kunkin maan asukaslukuun, sijoittuu Suomi (2,7 €) kuudenneksi Irlannin, Sveitsin, Alankomaiden, Saksan ja Ranskan jälkeen.

HelsinkiNano-hanke teetti VTT Tietopalvelulla selvityksen nanoteknologian tieteellisestä julkaisutoiminnasta ja patentoinnista USA:ssa muutaman Euroopan maan, Japanin ja USA:n osalta vuosina 1995-2003 ¹.

Työssä selvitettiin ensin montako nanoteknologian julkaisua on tehty valituissa Euroopan maassa, Japanissa ja Yhdysvalloissa. Apuvälineinä käytettiin nanoteknologiaa kuvaavia hakusanoja ja CPlus-tietokantaa. Alkuperäismaaksi laskettiin se maa, jossa toimi vähintään yksi kirjoittajista. Sama julkaisu voi siksi esiintyä useammankin maan julkaisuna. Tässä työssä ei tarkemmin selvitetty, missä maassa tutkimustoiminta pääasiallisesti oli tehty.

Vastaavasti selvitettiin patenttien ja patenttihakemusten lukumäärä maittain. Keksinnön alkuperäismaana pidettiin maata, jossa vähintään yksi keksijöistä asuu. Tästä syystä keksinnön alkuperäismaana voi olla useita maita. Useimmiten keksijät olivat kuitenkin samasta maasta. Patenttien ja patenttihakemuksen osalta tarkasteltiin vain patenttiperheiden lukumäärää. Euroopan maiden ja Japanin osalta voidaan pitää patentointia USA:ssa eräänä ensimmäisenä osoituksena siitä, että keksintöä on pidetty kaupallisesti merkittävänä.

Taulukko 2. Nanojulkaisut ja Yhdysvalloissa haetut patentit.

Maa ja asukasluku	Nanojulkaisujen lkm. (patentit eivät sis.)			Nanojulkaisut (ei pat.) /asukasluku (milj.)			US-patenttijulkaisut /asukasluku (milj.)			US-patenttijulkaisut/ muut nanojulkaisut		
	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001	1999	2000	2001
Alankomaat (17,3 milj.)	243	267	337	15	16	21	0.9	1.2	1.6	6%	7%	8%
Iso-Britannia (59,9 milj.)	1490	1709	1982	12	13	15	0.6	0.7	0.9	5%	6%	6%
Japani (128 milj.)	2260	2455	3259	18	19	25	0.7	1.3	2.0	4%	7%	8%
Norja (4,6 milj.)	10	12	12	2	3	3	0.2	0.9	0.4	10%	33%	17%
Ranska (60,3 milj.)	821	932	1095	14	15	18	0.7	1.1	1.3	5%	7%	7%
Ruotsi (9,0 milj.)	147	192	230	16	21	25	0.6	2.2	2.4	3%	10%	10%
Saksa (82,7 milj.)	1490	1709	1982	18	21	24	1.3	1.9	2.2	7%	9%	9%
Suomi (5,2 milj.)	54	65	84	10	12	16	0.4	1.1	2.5	4%	9%	15%
Sveitsi (7,5 milj.)	285	300	310	38	40	42	2.1	2.3	4.3	6%	6%	10%
Tanska (5,4 milj.)	67	85	98	12	16	18	0.4	0.7	0.7	3%	5%	4%
Yhdysvallat (296 milj.)	4234	5244	6488	14	18	22	2.3	3.1	4.2	16%	17%	19%

Tehdyn selvityksen pohjalta on Taulukossa 2 esitelty vuosina 1999-2001 julkaistujen nanoteknologian artikkeleiden lukumäärä ja Yhdysvalloissa eri maista haetut ja myönnetty nanoteknologian patentit suhteutettuna asukaslukuun. Patenteille on valittu prioriteettivuosi, joka Euroopassa on sama kun hakemuksen jättövuosi, ja joka siksi ajallisesti parhaiten vastaa tieteellisten tulosten julkaisuvuotta. Koska osa vuotta 2002 nuoremista patenttihakemuksista on vielä salaisia, valittiin tarkasteluun vuodet 1999, 2000 ja 2001. Liitteessä 1 on esitelty tulokset vuodesta 1995 aina vuoteen 2003 saakka patenttien osalta ja vuoteen 2004 julkaisujen osalta.

¹ Nanojulkaisujen määriä, Patentti- ja julkaisuselvitys, Tiedonhaku nro 05046, Riitta Metsäkoivu, VTT Tietopalvelu

Tarkastelluista maista Sveitsi on ollut ylivoimaisesti merkittävin tieteellisten nanoteknologia-artikkelien alkuperäismaa, kun artikkelien lukumäärä suhteutetaan asukasmäärään (Taulukko 2). Myös Japani, Ruotsi ja Saksa sijoittuvat hyvin. Valituista maista Suomi kuluu niihin, jotka ovat julkaisseet vähiten suhteessa asukasmäärään. Norja on omassa luokassaan. Todettakoon kuitenkin, että tarkastelun kohteena on maailman teollisesti kehittyneimpiä maita. Julkaisujen lukumäärät heijastanevat lähinnä sitä, miten paljon eri maissa on panostettu nanoteknologian tutkimukseen vajaat kymmenen vuotta sitten. Sen jälkeen julkinen panostus nanoteknologian on lähes kymmenenkertaistunut (Taulukko 1). Tämä pitää paikkaansa myös Suomen julkisen nanoteknologian rahoituksen kohdalla, joka on noussut 2,5 milj. eurosta vuonna 1997 14,5 milj. euroon vuonna 2003 ¹.

Taulukon 2 kolmannessa sarakkeessa on esitelty US-patenttien ja US-patenttihakemusten lukumäärä asukasmäärään suhteutettuna. Ulkopuolisista maista sveitsiläiset näkyvät patenttoineen Yhdysvalloissa ahkerimmin nanoteknologian keksintöjä. Ruotsin ja Saksan jälkeen Suomi sijoittuu samalle tasolle kuin Japani ja Alankomaat. Luvut osoittavat karkeasti missä määrin eri maissa on pystytty luomaan kaupallisesti merkittäviä nanoteknologian keksintöjä.

Viimeisessä sarakkeessa on esitelty eri maiden yhdysvaltalaiset patentit ja patenttihakemukset suhteessa nanoteknologian tieteellisiin artikkeleihin. Luvut antavat karkean kuvan siitä, onko tutkimusrahoitus kanavoitu tieteelliseen toimintaan vai keksintöjen tekemiseen.

Suhteessa maailman julkiseen panostukseen nanoteknologiaan, Suomen julkinen rahoitus on pysynyt kehityksessä mukana. Vaikka artikkelien lukumäärä ei välttämättä takaa laatua, voimme todeta, että Suomi on kohtuullisen hyvin edustettuna tieteellisissä artikkeleissa, kun julkaisujen määrä suhteutetaan asukaslukuun. Panoksemme näyttävät hyvin synnyttäneen kaupallisesti merkittäviä innovaatiota. Tämä lienee osoitus maamme innovaatiojärjestelmän alkupään toimivuudesta.

Euroopan eri maiden nanoteknologiatoiminnasta on hiljattain tehty laaja yhteenveto ², joka on HelsinkiNano-hankkeen käytettävissä ei-kaupallisiin tarkoituksiin. Jaakko Pöyry Consulting on myös tehnyt HelsinkiNano-hankkeelle selvityksen eräiden Euroopan maiden nanostrategioista ³.

Liitteessä 2 on katsaus muutaman Euroopan maan nanoteknologiatutkimustilanteeseen.

¹ Markku Lämsä, ”Nanoteknologiaohjelman valmistelun tulokset ja ohjelmasuunnitelma”, nanoteknologiaohjelman valmistusseminaari 15.10.2004, <http://websrv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/NANO/fi/system/uutinen.html?id=801&nav=Uutisia&arkisto=true>

² ”Research, Applications and Markets in Nanotechnology in Europe 2005”, The Institute of Nanotechnology (May, 2005)

³ ”Euroopan maiden nanostrategiat – tiivis katsaus”, Ilari Laukkanen ja Petri Vasara, Jaakko Pöyry Consulting, maaliskuu 2005

3.3.2. Suomen nanoteknologian tutkimus Helsingin seudun ulkopuolella

Suomen julkinen nanoteknologian rahoitus oli EU-komission raportin mukaan 14,5 milj. euroa vuonna 2003 ¹, mikä sisältää Tekesin (10 milj. euroa) ja Suomen Akatemian (4,5 milj. euroa) nanoteknologian hankkeiden yhteenlasketun julkisen rahoituksen ².

Tekes ja Suomen Akatemia rahoittivat kansallisen nanoteknologiaohjelman jo vuosina 1997-1999. Ohjelmaan osallistui 14 hanketta, ja sen budjetti oli 43,9 milj. markkaa (7,4 milj. euroa). Tämän jälkeen nanoteknologiahankkeita on rahoitettu muun muassa COMBIO, ELMO-, NeoBio-, PINTA-, POTRA- ja TULE-ohjelmissa. Tekes on valinnut vuonna 2005 nanoteknologian yhdeksi painopistealueeksi tieto- ja viestintäteknologian, bioteknologian ja materiaaliteknologian ohella.

Vuoden 2005 alussa käynnistyi Tekesin viisi vuotta kestävä FinNano-ohjelma ³, jonka kokonaisbudjetti on 70 milj. euroa. Tekesin osuus on tästä 47 milj. euroa. Ohjelma on valmisteltu yhteistyössä Suomen Akatemian kanssa.

Suomen Akatemia kaavailee noin 10 milj. euron nanotieteen (nanoteknologian) tutkimusohjelmaa vuosille 2006-2009 ⁴. Ohjelma valmistellaan yhteistyössä Tekesin kanssa.

Tarkoituksena on säilyttää julkinen nanoteknologian tutkimus nykyisellä tasolla ⁵. Näiden kahden nanoteknologian tutkimusohjelman tavoitteena on siten keskittää nanoteknologiahankkeiden rahoitusta ja seurantaa, eikä sinänsä lisätä rahoitusta.

Yli puolet Tekesin ja Suomen Akatemian rahoittamista nanoteknologian tutkimushankkeista on toteutettu Helsingin seudulla ⁶, jossa Helsingin yliopisto, Teknillinen korkeakoulu ja VTT muodostavat maamme merkittävimmän nanoteknologian tutkimuskeskittymän. Pääkaupunkiseudun nanoteknologian tutkimusta tarkastellaan tarkemmin luvussa 3.4. Muita alueellisia nanoteknologian tutkimuskeskuksia löytyy Jyväskylän yliopistosta, Joensuun yliopistosta, Lappeenrannan teknillisestä yliopistosta, Oulusta (Oulun yliopisto ja VTT), Tampereelta (Tampereen teknillinen yliopisto ja VTT) sekä Turusta (Turun yliopisto ja Åbo Akademi).

Jyväskylän yliopisto päätti jo 1990-luvulla panostaa nanotieteeseen ja -teknologiaan. Syksyllä 2004 valmistui noin 13 milj. euroa maksanut Nano Science Center (NSC) -rakennus, jossa työskentelee noin 100 tutkijaa. Perustutkimuksen ohella tavoitteena on tarjota yritysten tutkijoille mahdollisuus käyttää tiloja. NSC:n tutkimuksesta ja laitteistosta on tehty tarkempi selvitys ⁷. Merkittävin Jyväskylässä toiminut nanoteknologian yritys, Nanoway Oy, on hakemassa uutta toimintaympäristöä (kesällä 2005).

Joensuun yliopiston fysiikan laitoksella on useita vuosia kehitetty optiikan mikrorakenteiden, kuten diffraktiivisen optiikan komponenttien osaamista. Sovellutuksia löytyy esimerkiksi fotonikasta. Näihin rakenteisiin liittyy vahvaa nanoteknologian osaamista, jota Joensuussa toimiva Nanocomp Oy (www.nanocomp.fi) on kaupallistanut.

¹ KOMISSION TIEDONANTO, Tavoitteena eurooppalainen nanoteknologiastrategia, Bryssel, 12.5.2004

² Markku Lämsä, Tekes ja Petri Ahonen, Suomen Akatemia

³ <http://websrv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/NANO/fi/etusivu.html>.

⁴ Petri Ahonen, Suomen Akatemia

⁵ Markku Lämsä, Tekes

⁶ Markku Lämsä, Tekes ja Petri Ahonen, Suomen Akatemia

⁷ "Nanotieteiden ja -teknologioiden kehittäminen Suomessa", Työryhmän muistio (TKK, VTT ja JYO)

Lappeenrannan teknillisen yliopiston Membraanitekniikan ja Teknillisen polymeerikemian laboratoriossa on kehitetty nanoteknologiaa hyödyntävää nanosuodatusmekaniikkaa, jolla voidaan erottaa nanometrin kokoisia molekyylejä toisistaan. Tutkimus on keskittynyt erotuksen optimointiin ja siihen vaikuttaviin tekijöihin sekä nanosuodatuskalvojen ominaisuuksien räätälöintiin ja niiden hyödyntämiseen erilaisissa fraktiointiprosesseissa muun muassa elintarvike-, metalli-, ja puunjalostusteollisuudessa. (www.lut.fi/kete/memppo).

Pohjois-Suomessa nanoteknologian tutkimus keskittyy Oulun yliopistoon ja VTT Elektronikan Oulun yksikköön. Alueella on myös tehty mikro- ja nanoteknologiaa koskevia selvityksiä ja suunnitelmia kuten Pohjois-Suomen mikro- ja nanoteknologiaprojekti 2003¹.

Oulun yliopistossa otettiin huhtikuussa 2005 käyttöön mikro- ja nanoteknologiakeskus, johon sijoittuvat yliopiston puhdastilat. Keskus pyrkii yhteistyössä Oulun VTT:n yksikön kanssa tukemaan yritysten mahdollisuuksia soveltaa mikro- ja nanoteknologiaa tulevaisuudessa. Rakentamishankkeen kustannusarvio oli yhteensä 15 miljoonaa euroa².

Oulun yksikön osaamisalueisiin lukeutuvat mm. painettava optiikka ja elektroniikka. Oulun yliopisto, VTT Elektroniikka ja VTT Bioteekniikka ovat puolestaan kehittäneet kerta-käyttöisten biosensorien tekniikkaa. Kyse on kuitenkin pitkälti vahvasta mikroelektroniikan ja pakkaustekniikan osaamisesta, eikä välttämättä nanoteknologiasta.

Tampereen teknillisessä yliopistossa on yli kahdenkymmenen vuoden aikana menestyksellisesti kehitetty optoelektroniikan puolijohderakenteita ja niiden valmistusta³. Toiminta, joka on vuodesta 1999 lähtien toiminut Optoelektroniikan tutkimuskeskuksen alaisuudessa, ORC:ssä (Optoelectronics Research Center), on johtanut merkittävään teolliseen toimintaan (esim. www.coherent.fi, www.modulight.com, www.corelase.fi). Tutkittavat kvanttipisterakenteet ja niiden valmistusteknologiat perustuvat nanoteknologiaan.

Toinen nanoteknologian osaamisalue on Tampereen teknillisen yliopiston kemian laitoksen fotokemian tutkimus, jossa kiinnostuksen kohteena on energian siirto molekyylirakenteissa. Sovellutusalueena ovat mm. aurinkoparistot.

Kolmas nanoteknologiaa sivuava tutkimusaihe on Tampereen teknillisen yliopiston fysiikan laitoksen aerosolitutkimus. Yli 15 vuotta sitten laboratoriossa kehitetty DND-menetelmä (Direct Nanoparticle Deposition) on avainteknologiana Liekki Oy:n (www.liekki.com) ja ABR Innova Oy:n (www.abr.fi) liiketoiminnassa. Fysiikan laitoksella on myös nanoteknologiaan liittyvä pintatutkimuksen laboratorio.

Neljäntenä voidaan mainita VTT Prosessit -yksikkö Tampereella, jossa tutkitaan nanohiukkasilla seostettuja polymeeri- ja keraami-metallikomposiittimateriaaleja. Yhtenä tavoitteena on polymeerimateriaalien mekaanisten ominaisuuksien ja sähkönjohtavuuden parantaminen. Uusilla nanorakenteisilla pinnoitteilla tavoitellaan parempia kemiallisia ja mekaanisia ominaisuuksia kuten korroosion ja kulumisen kestävyyttä sekä likaantumattomuutta. Ryhmässä kehitetään myös matalan lämpötilan polttokennojen katalyyttejä ja bipolaarilevyjä.

Turussa nanoteknologian tutkimusta tehdään Turun yliopistossa ja Åbo Akademiassa. Turku on varsin voimakkaasti profiloitunut itsensä biokeskukseksi ja Turun yliopiston nanotekno-

¹ Pohjois-Suomen mikro-nanoteknologiaprojekti 2003 (Multipolis) kehittämissuunnitelma vuosille 2004-2010.

² Tiedepisto nr. 4, 6.3.2003 (Oulun yliopisto)

³ Optoelectronics Research Center, <http://www.orc.tut.fi/orcinbrief.html>

logian tutkimus keskittyykin biomateriaaleihin ja diagnostiikkaan ¹. Åbo Akademin kemiallis-teknillisessä tiedekunnassa tehdään johtaviin polymeereihin liittyvää nanoteknologiaa sivuavaa tutkimustyötä ².

Tekes on arvioinut Spinversen tekemän yritysselvityksen pohjalta, että aktiivisesti nanoteknologian parissa toimii Suomessa noin 60 yritystä ³. Yrityskysely kohdistui 135 yritykseen, joiden arveltiin liittyvän nanoteknologiaan. Näistä 70 toimi Uudellamaalla. Tekesin FinNano-ohjelman tutkimushankkeisiin haluavien yritysten lukumäärä nousi vuoden 2005 haussa 75:een.

Nokia toimii monella nanoteknologian osa-alueella maailmanlaajuisesti yhteistyössä ali-hankkijoidensa ja eri tutkimuslaitosten kanssa. Puunjalostusyritykset kuten UPM-Kymmene (www.upm-kymmene.com) ja M-real (www.m-real.com) hakevat nanoteknologian avulla sekä valmistusprosessien ja perinteisten tuotteiden parantamista että uusia tuotekonsepteja. Merkittävistä kemian alan yrityksistä Kemiralla ja Ciba Specialty Chemicalsilla (ent. Raisio Chemicals) on nanoteknologiaan liittyvää toimintaa monella eri alueella. OMG Kokkola Chemicals (www.omgi.com) on toinen merkittävä nanoteknologian hyödyntäjä.

Nanoteknologian uranuurtajia Suomessa ovat Espoossa toimivat Planar Systems (www.planar.com) ja Orion Diagnostica (www.oriondiagnostica.com), jotka molemmat työlistävät toistasataa henkilöä pitkälti yli kymmenen vuotta sitten Suomessa luodun nanoteknologiaosaamisen ansiosta. Uudempia nanoteknologian soveltajia ovat materiaalipuolella ABR Innova (www.abr.fi), Ecocat (www.ecocat.com), Millidyne (www.millidyne.fi) ja Panipol (www.panipol.fi). Nano-optiikan edustajia ovat Heptagon (www.heptagon.fi) ja Nanocomp (www.nanocomp.fi). Lääkealan yrityksistä mainittakoon Cancer Targeting Technologies (www.cancertargeting.com). Suomen nanoteknologiayrityksiin palataan luvussa 4.2.3.

Lux Research ei mainitse yhtään suomalaista yritystä ”Top European” –nanoteknologiayritysten joukossa.

3.4. Helsingin seudun nanoteknologian tutkimus

3.4.1. Nanoteknologian tutkimusyksiköt Helsingin seudulla

Tässä kappaleessa tarkastellaan nanoteknologian tutkimusta pääkaupunkiseudun julkisen sektorin tutkimuslaitoksissa, joista tärkeimmät nanoteknologian kannalta ovat Helsingin yliopisto, Teknillinen korkeakoulu ja VTT. Tarkastelun ulkopuolelle jäävät yritykset ja yksityiset tutkimuslaitokset kuten metsäteollisuuden omistama KCL. Opetusministeriön hallinnoimaa Tieteen tietotekniikan keskusta, CSC:tä, käsitellään lyhyesti.

Tarkoituksena on antaa yleiskuva pääkaupunkiseudulla tapahtuvasta nanoteknologian tutkimustoiminnasta erityisesti hankkeen kaupallistamistavoitteita silmälläpitäen. Tärkeimmät HY:n, TKK:n ja VTT:n (Otaniemi) laboratoriot nanoteknologian kannalta on mainittu liitteessä 3. Tiivistetyt kuvaukset nanoteknologiaturkimusta tekevistä laboratorioista ja

¹ <http://www.med.utu.fi/dent/biomat/> ja http://www.sci.utu.fi/biokemia/Projektit/Nanobio_kuvaus.html

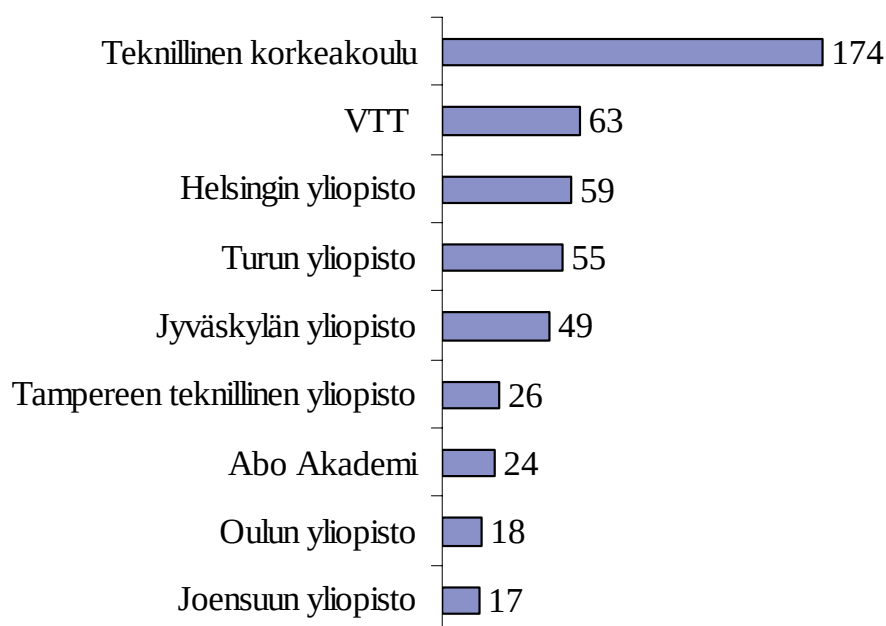
² <http://www.abo.fi/fak/ktf/ank/> ja <http://www.abo.fi/fak/mnf/fysik/mole/molehome.htm>

³ <http://websrv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/NANO/fi/system/uutinen.html?id=807&nav=Uutisia&arkisto=true>

ryhmistä on annettu Helsinki-Nanon kotisivuilla ¹. Tarkemmat esittelyt tutkimustoiminnasta löytyvät laboratorioiden omilta kotisivuilta. Nanoteknologian tieteellinen arviointi jää HelsinkiNano-hankkeen tavoitteiden ulkopuolelle.

Osana FinNano-ohjelman valmistelua VTT Tietopalvelut selvitti Tekesin toimeksiannosta keväällä 2004 nanoteknologian patentointia ja julkaisutoimintaa Suomessa ja maailmalla ². Selvitys osoitti, että Helsingin yliopisto, Teknillinen korkeakoulu ja VTT ovat maassamme tehneet eniten nanoteknologian julkaisuja (Kuva 4). Valitulla hakuprofiililla fysiikkaan, kemiaan ja elektroniikkaan liittyvä nanoteknologia on saattanut ainakin osittain jäädä huomioimatta, joten tulosta ei saa kvantitatiivisesti tulkita liian ahtaasti.

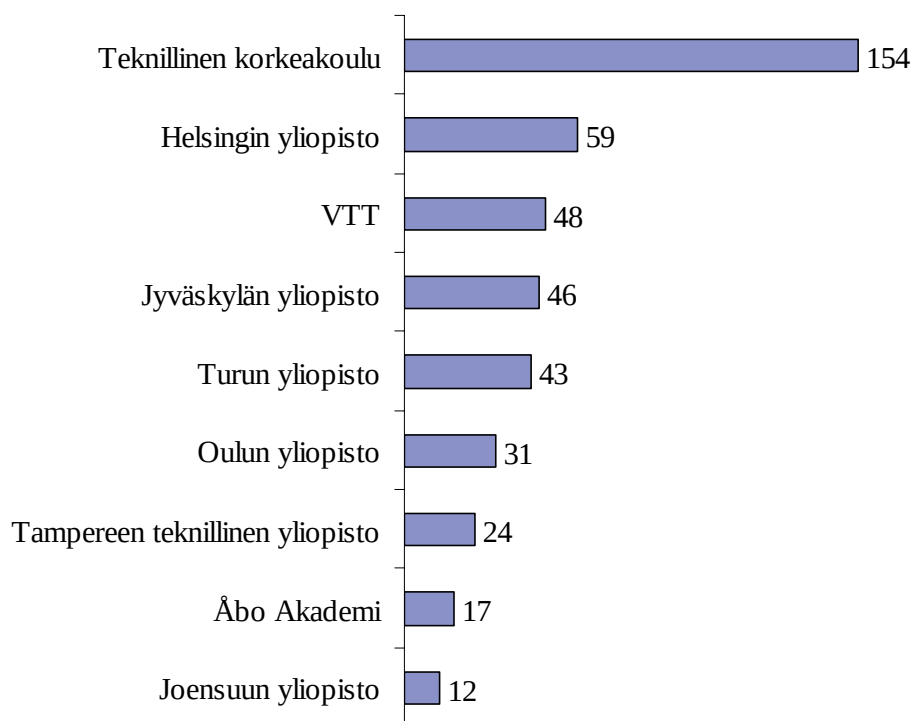
CAPlus-tietokanta



¹ **Helsingin yliopisto:** <http://www.helsinki.fi/nano/helsingissa/hy.htm>
Teknillinen korkeakoulu: <http://www.helsinki.fi/nano/helsingissa/tkk.htm>
VTT: <http://www.helsinki.fi/nano/helsingissa/vtt.htm>

² Nanoteknologian patentointi ja julkaisut, Riitta Metsäkoivu, VTT Tietopalvelut, 2004

INSPEC-tietokanta



Kuva 4. Sovitulla hakuprofiililla CAPlus- ja INSPEC-tietokannoista (kemia, biotekniikka, materiaalit) haettujen nanoteknologian julkaisulukumäärä eri yliopistoista vuodesta 1990 lähtien ².

3.4.2. Nanoteknologian tutkimus Helsingin yliopistossa

Helsingin yliopisto (HY) on Suomen suurin ja monitieteellisin yliopisto, jossa on noin 38 000 tutkinto-opiskelijaa ja henkilökunta koostuu noin 7 400 henkilöstä. Yliopistossa suoritetaan vuosittain 4 200 tutkintoa, joista tohtorintutkintoja noin 350.

Nanoteknologian tai nanoteknologiaa tukevaa tutkimusta tehdään etenkin matemaattis-luonnontieteellisessä tiedekunnassa Kumpulan kampuksella, jossa toimii Helsingin yliopiston merkittävin nanoteknologian keskittymä. Biotieteellisessä tiedekunnassa, Biotekniikan instituutissa ja farmasian tiedekunnassa Viikin kampuksella sekä lääketieteellisessä tiedekunnassa Meilahden kampuksella tehdään lähinnä nanoteknologiaa sivuavaa tutkimustoimintaa. Helsingin yliopiston Kumpulan, Meilahden ja Viikin kampuksista löytyy perustietoa vuonna 2004 tehdyssä selvitystyöstä ¹.

Helsingin yliopistossa toimii 10-15 laboratoriota, jotka tekevät nanoteknologiaan liittyvää tai ainakin sitä läheisesti tukevaa tutkimusta. Selvää rajaa on vaikea vetää, koska nanoteknologiaa sivuava toiminta voidaan tulkita eri tavoin. Tässä työssä on otettu kanta, ettei

¹ Helsingin seudun teknologiakeskuskonsepti, Esiselvitys Helsingin seudun innovaatiostrategiaan liittyen, Marja-Liisa Niinikoski ja Ville Valovirta, Net Effect Oy, marraskuu 2004

biotekniikkaa voi yleisesti kutsua nanoteknologiaksi, ellei tavoitteena ole selkeästi uusien nanometrin mittakaavan ilmiöiden ymmärtäminen tai hyödyntäminen. Lähes aina tällainen tutkimus on poikkitieteellistä.

Tarkemmat kuvaukset löytyvät HelsinkiNanon kotisivuilta ¹, josta ilmenevät myös käytössä olevat resurssit. Usein laboratorioissa on sekä nanoteknologiaan kuuluvia että siihen kuulumattomia hankkeita.

Laboratoriojohtajien omien ilmoitusten mukaan Helsingin yliopistolla nanoteknologian parissa työskentelee noin 30 henkilöä. Professoreiden ja tohtoreiden osuus on vajaa neljännes. Nanoteknologian tutkimusrahoitus on vuositasolla yhteensä runsas miljoona euroa. Jos huomioidaan myös nanoteknologiaa sivuava tutkimus, nousee tutkijoiden lukumäärä yli sadan.

Kumpulan kampus

Kumpulan kampuksella sijaitsevat matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan fysikaalisten tieteiden laitos ja kemian laitos. Laitosten nanoteknologian tutkimushankkeista on tehty tiivistelmä, jossa tutkimusaiheet on jaoteltu sekä sovellusalueen että tutkimusmenetelmän mukaan ². Kumpulan kampuksella on maamme mittakaavassa merkittävä ja laaja-alainen nanoteknologian osaamiskeskittymä. Tämä koskee sekä karakterisointia ja mallinnusta että esimerkiksi ALD-ohutkalvokasvatusmenetelmään ³ ja aerosoleihin liittyvää tutkimusta. Myös yhteistyö fysikaalisten tieteiden laitoksen ja kemian laitoksen välillä on kehittynyt suotuisasti.

Kampuksella toimiva kemian laitoksen Epäorgaanisen kemian laboratorio on Helsingin seudun ja ehkä koko maan merkittävin yksittäinen nanoteknologian tutkimusyksikkö (Liite 3). Laboratorio on sekä tieteellisesti että sovelluskohtaisesti yltänyt kansainväliselle huipputasolle. Erityistä huomiota on kiinnitettävä laajaan yritysyhteistyöhön, johon sisältyy merkittäviä kansainvälisiä suuryhtiöitä. Laboratorion yhteydessä toimii yksi ASM Microchemistryn tutkimuslaboratorioista (www.asm.fi). Taustana on yli 20 vuoden teollisuusyhteistyö, joka on johtanut Suomessa kehitetyn ALD-ohutkalvokasvatusmenetelmän erikoisosaamiseen, johon myös Teknillisen korkeakoulun Kemian tekniikan laitoksen Epäorgaanisen ja analyttisen kemian laboratorio on ollut myötävaikuttamassa. Helsingin yliopiston epäorgaanisen kemian laboratoriota voidaan pitää esimerkkinä nanoteknologian osaamiskeskittymästä, joka on kansainvälisesti houkutteleva uudelle yritystoiminnalle.

Muita sovellutusten kannalta tärkeitä laboratorioita ovat kemian laitoksen Polymeerikemian laboratorio ja Fysikaalisten tieteiden laitoksen ilmakehätieteiden osasto. Polymeerikemian laboratorio on hyvin verkostoitunut. Ilmakehätieteiden osastolla on aerosoliosaamista, joka on tukenut teollista toimintaa.

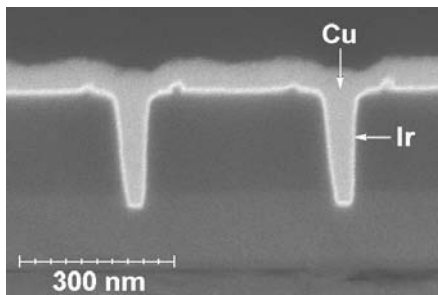
Kumpulan kampuksen nanoteknologian tutkimustoiminasta on tehty yhteenveto ⁴.

¹ <http://www.helsinki.fi/nano/helsingissa/hy.htm>

² Nanotiede Kumpulan kampuksella, 27.11.2003, Juhani Keinonen ja Kai Nordlund (juhani.keinonen@helsinki.fi ja kai.nordlund@helsinki.fi)

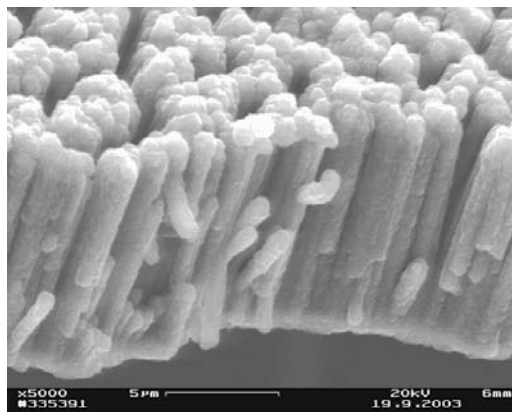
³ Atomic Layer Deposition on menetelmä valmistaa atomitasoilla tarkkoja ohutkalvoja, kts. myös siv. 44

⁴ Nanoteknologiaan liittyvät projektit Helsingin yliopiston Kumpulan kampuksella, toim. Kai Nordlund (elokuu, 2004)



ALD menetelmällä kasvatettu johtava iridium alkukerros (mikropiirikontakteja varten)

(Titta Aaltonen, Mikko Ritala and Markku Leskelä, Univ. Helsinki, in collaboration with Dr. Thomas Moffat and Dr. Daniel Josell from the National Institute of Standards and Technology (NIST))



TiO₂:lla päällystettyjä Ni-sauvoja (fotokatalyyttisovellutusta varten)

(Marianna Kemell, Mikko Ritala, Markku Leskelä, Helsingin yliopisto)

HY, Epäorgaanisen kemian laboratorio

Viikin kampus

Biotieteellisessä tiedekunnassa, Biotekniikan instituutissa ja farmasian tiedekunnassa on nanoteknologian ja etenkin sitä sivuavaa tutkimusta. Farmakologian tiedekunnassa toimiva Lääkkeen keksintä- ja kehitysteknologian keskus, DDTC, kehittää miniatyyrisointiin perustuvaa kehittyntä syntetiikkaa ja analyysimenetelmiä, mm. mikrofluidistiikkaa hyödyntäen. Tavoitteena on siirtää bioaktiivisten molekyylien syntetiikka ja bioaktiivisuuden testaus samalle mikrosirulle. Tämä tutkimus luo pohjaa tulevaisuuden nanoteknologiaa hyödyntäville ratkaisuille. Keskuksella on toimivat yhteydet teollisuuteen. Farmasian teknologian osastolla tutkitaan myös polymeerinanohiukkasiin perustuvia lääkeainesysteemejä.

Biotieteellisen tiedekunnan biokemian osaston peptidejä ja nanohiukkasia hyödyntävä täsmälääkeainetutkimus on pitkälti nanoteknologiaa. Myös yleisen mikrobiologian osaston virusten ja biologisten makromolekyylien toimintojen tutkimus on monelta osin nanoteknologiaa. Tutkimus on tieteellisesti arvostettua ja luonteeltaan perustutkimusta. Biotekniikan instituutin bioenergian ryhmä tutkii energian siirtymistä atomitasolla biorakenteissa. Vaikkei kyse ole varsinaisesta nanoteknologiasta, voi osaaminen osoittautua hyödylliseksi nanoteknologian sovellustenkin kannalta.

Meilahden kampus

Meilahden kampusalueella toimivassa Helsingin yliopiston lääketieteellisessä tiedekunnassa nanoteknologian tutkimustyötä tehdään biotieteen laitoksen biofysiikan ja biokalvojen ryhmässä. Ryhmän tutkimuksen pohjalta on syntynyt kaksi Helsingin alueella toimivaa pk-yritystä, ja sen tutkimustulokset ovat keskeisenä perustana kolmannen Helsingissä toimivan pk-yrityksen patentoidussa teknologiassa. Tässä suhteessa ryhmän toiminta on poikkeuksellista ja kiinnostavaa.

Muita nanoteknologian tutkimusryhmiä ei ole tavoitettu Meilahden kampusalueesta tämän työn puitteissa. Käsityksemme on kuitenkin, että Meilahdessa toimii useita ryhmiä, joiden tutkimustulokset sivuavat nanoteknologiaa esimerkiksi diagnostiikan alueella.

3.4.3. Nanoteknologian tutkimus Teknillisessä korkeakoulussa

Teknillinen korkeakoulu (TKK) on maan suurin teknillinen korkeakoulu, jossa on noin 15 000 tutkinto-opiskelijaa ja henkilökuntaa 3 600 henkilöä. Yliopistossa suoritetaan vuosittain yli 1 000 tutkintoa, joista tohtorintutkintoja on noin 120 (vuosi 2003). Osastoja on 12, erillisiä laitoksia 9 ja tutkimusinstituutteja 14.

Nanoteknologian tai sitä sivuavaa tutkimusta tehdään seuraavilla osastoilla

- Automaatio- ja systeemitekniikan osasto
- Kemian tekniikan osasto
- Materiaalitekniikan osasto
- Puunjalostustekniikan osasto
- Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto
- Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto.

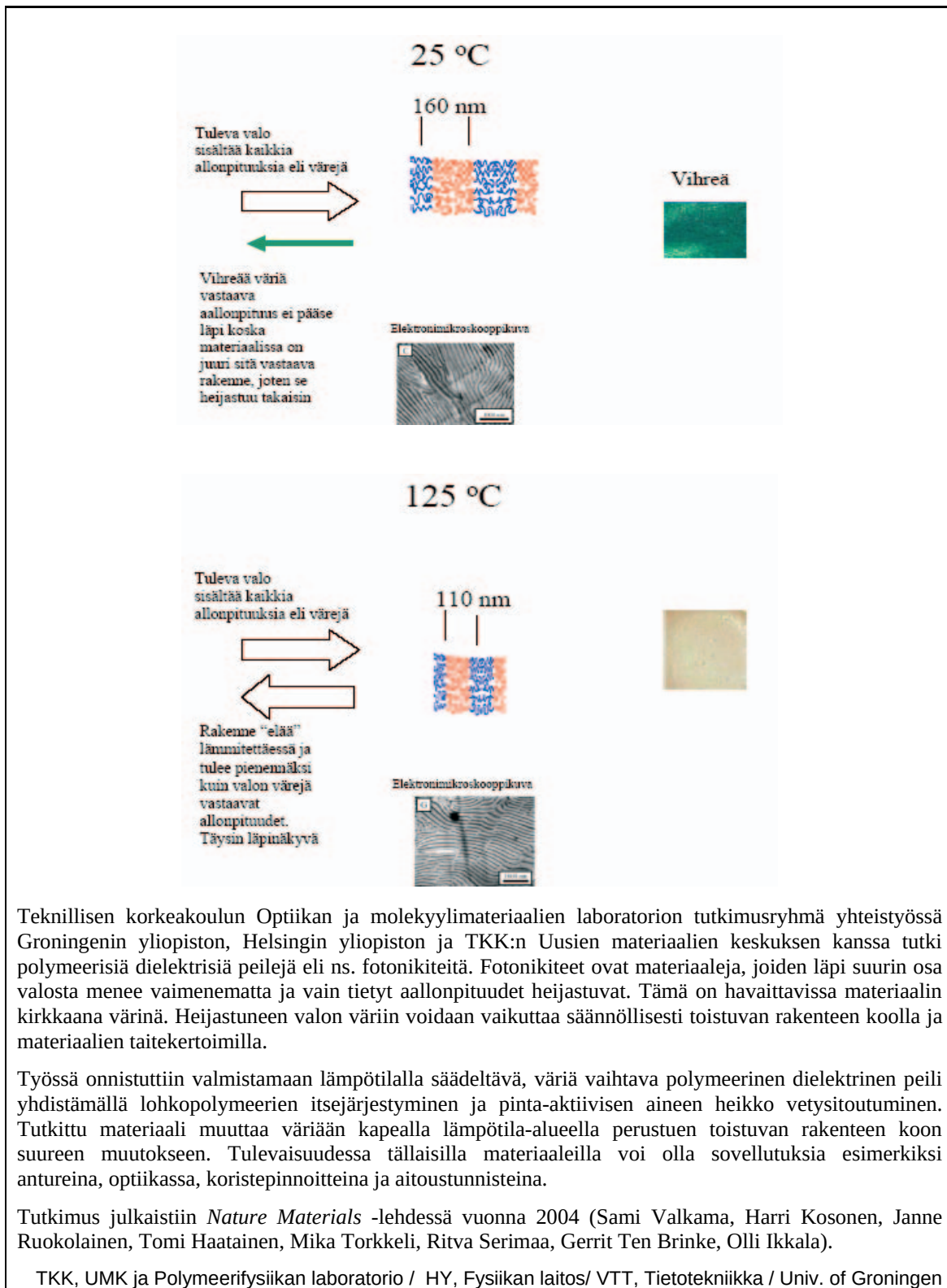
TKK:ssa toimii arvioilta 15-20 laboratoriota, joiden tutkimusaiheet liittyvät nanoteknologiaan (Liite 3). Usein vain osa laboratorion tutkimushankkeista on nanoteknologia-hankkeita. Laboratoriojohtajien omien ilmoitusten mukaan TKK:ssa työskentelee yhteensä noin 150 henkilöä nanoteknologian parissa. Nanoteknologian tutkimuksen rahoitus on vuositasolla yhteensä 5 milj. euron luokkaa. Noin kolmasosa nanoteknologian tutkijoista työskentelee laskennallisen työn parissa.

TKK:n nanoteknologian tutkimustoiminta on tarkemmin selostettu vuonna 2004 julkaistussa muistiossa ¹. Viittaamme myös liitteessä 2 esiteltyihin kuvauksiin. Niistä käy ilmi, että useilla laboratorioilla on pitkät perinteet yhteistyöstä yritysten kanssa. Joukossa on myös tieteellisesti merkittäviä laboratorioita.

Erityisen kiinnostavia nanoteknologian kannalta ovat poikkitieteelliset ja osastorajat ylittävät keskuskeskukset kuten Micronova (micronova.tkk.fi/) ja Uusien materiaalien keskus (UMK) (www.umk.hut.fi), jotka yhdistävät eri alojen tutkijoita ja luovat pohjaa uusille alueval-

¹ Nanotieteiden ja –teknologioiden kehittäminen Suomessa, Työryhmän muistio (Teknillinen korkeakoulu, VTT, Jyväskylän yliopisto), toukokuu 2004

tauksille. Keskukset tukevat myös tutkimuslaitteiston yhteiskäyttöä tavoitteena investointien entistä tehokkaampi hyödyntäminen.



Micronova on VTT:n ja TKK:n yhteinen, 2 600 m² puhdastilaa sisältävä mikro- ja nanoelektroniikkakeskus, joka valmistui vuonna 2002. Sillä on monipuoliset mikro- ja nanoteknologian prosessointilaitteet ja karakterisointivälineet, jotka palvelevat Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osaston laboratorioita, Kylmälaboratoriota ja Optiikan- ja molekyyli-materiaalien laboratorion optiikan ryhmää.

Uusien materiaalien keskus (UMK) on TKK:n 22 jäsenlaboratorion yhteistyöelin. Nanoteknologialla on tärkeä rooli UMK:n toiminnassa, joskaan se ei ole ainoa yhteistyöalue. Jäseninä ovat useimmat Micronovassa toimivat laboratoriot. Vuonna 2006 valmistuvaan uuteen yhteiseen nanokeskukseen siirtyy yhteisiin tiloihin useita UMK:n jäsenlaboratorioita. Tarkoituksena on koota saman katon alle useita nanoteknologian eri osa-alueilla toimivia tutkijoita. Keskukseen yhteyteen valmistuu tasokas molekyylien ja atomien manipulointiin ja karakterisointiin suunniteltu erityisen häiriötön nanomikroskopiakeskus, jonka kustannus-arvio on noin 10 milj. euroa.

3.4.4. VTT:n nanoteknologian tutkimus Helsingin seudulla

VTT on Suomen valtion omistama teknistieteellinen tutkimuslaitos, jossa työskentelee 2 800 henkilöä. VTT on Pohjoismaiden suurin tutkimuslaitos (Norjan yksityinen SINTEF työllistää 1 700 henkilöä). Sen henkilöstöstä 2 000 työskentelee pääkaupunkiseudulla. VTT eroaa yliopistoista ja korkeakouluista siinä, että toiminta on organisoitu keskitetysti, ja se suuntautuu enemmän soveltavaan tutkimus- ja kehitystyöhön. Suuntaviivat on kirjattu ”Toiminta- ja taloussuunnitelma vuosille 2006 – 2009 ”-yhteenvetoon¹. VTT on uusimassa organisaation- sa vuoden 2006 alusta tavoitteena luoda asiakkaiden ja sidosryhmien kannalta paremmin toimintoprosessit.

Nanoteknologiaturkimusta tai sitä tukevaa tutkimusta tehdään VTT:llä pääkaupunkiseudulla seuraavissa yksiköissä: VTT Tietotekniikka, VTT Biotekniikka ja VTT Prosessit (Liite 3).

VTT:n nanoteknologian tutkimus on tarkemmin esitelty muistiossa². Tutkimuksella on kaksi tavoitetta. Toisaalta tutkitaan ja kehitetään komponentteja ja sovellutuksia, toisaalta kehitetään nanoteknologiaan liittyvää uuden teknologian käyttöönottoa mahdollistavaa teknologiaosaamista.

VTT Tietotekniikka

VTT Tietotekniikan 450 henkilöstä 400 työskentelee Espoon Otaniemessä. Asiakkaina ovat muun muassa puolijohdeteollisuus ja antureita ja instrumentteja valmistava teollisuus. VTT Tietotekniikan Mikroelektroniikkakeskus, joka sijaitsee em. Micronovan tiloissa, tarjoaa hyvän infrastruktuurin nanoelektroniikan tutkimukselle. Tilat antavat hyvät puitteet yhteistyölle samoissa tiloissa toimivien TKK:n tutkimusryhmien kanssa. Keskuksessa on

¹ <http://www.vtt.fi/vtt/perustiedot/netra/toimintajataloussuunnitelma20062009.pdf>

² Nanotieteiden ja -teknologioiden kehittäminen Suomessa, Työryhmän muistio (Teknillinen korkeakoulu, VTT, Jyväskylän yliopisto), toukokuu 2004

Suomen parhaat puhdistilat ja mittava prosessointilaitteisto puolijohteille, metallirakenteille ja polymeereille (esim. painettava elektroniikka).

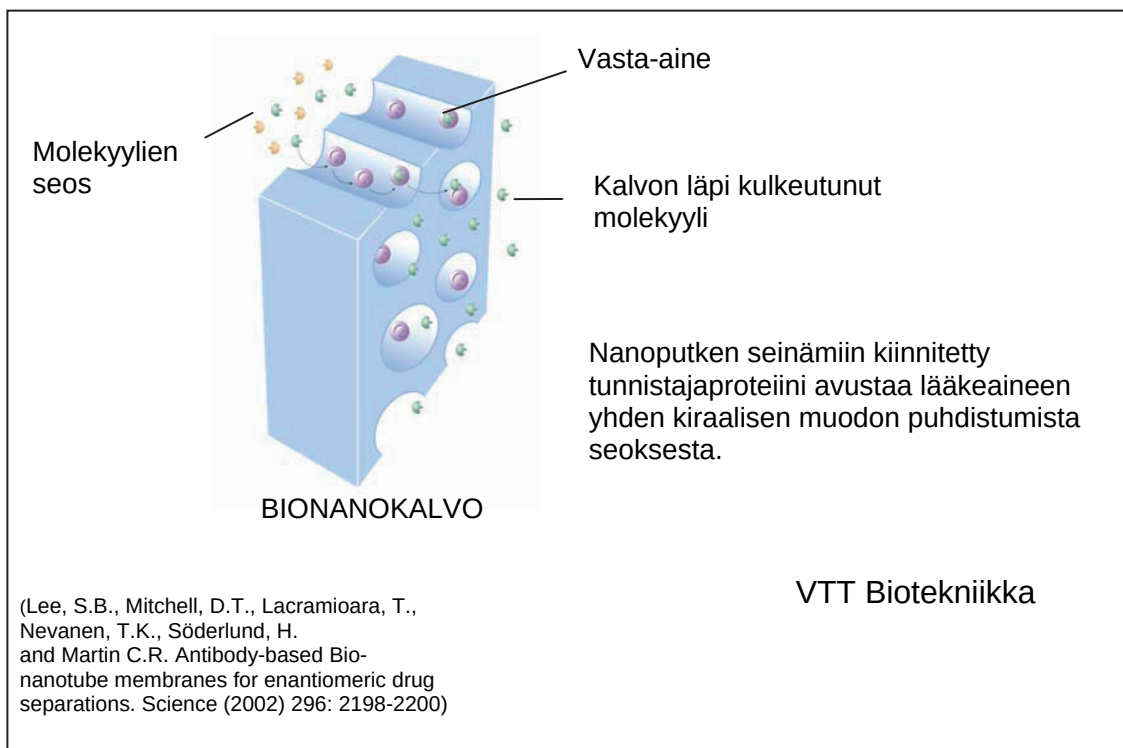
Nanoelektroniikan ryhmässä kehitetään kuviointi- ja prosessointimenetelmiä erilaisiin nanoelektroniikan ja -fotoniikan sovellutuksiin. Näihin kuuluvat mm. yhden elektronin transistorit, huoneen lämpötilassa toimiva nanoelektroniikka, erittäin nopeat uuden tyyppiset transistorit, mikrojähdyttimet, itseorganisoituvat kvanttipisteet ja 2D- ja 3D-fotonikiteet.

VTT Tietotekniikan kvantroniikkaryhmässä on pitkään kehitetty suprajohtaviin Josephson-liitoksiin perustuvia laitteita ja sovelluksia. Äärimmäisen herkkiä magnetometreja (SQUIDEihin perustuvia), virtavahvistimia ja kvanttijännitenormaaleja käytetään mm. aivo- ja avaruustutkimuksessa. Nanoliitoksissa varauksen kvanttuminen avaa uuden ilmiömaailman.

Kvantroniikkaryhmä kehittää myös varauksen kvanttumista hyödyntävää suprajohtavaa elektroniikkaa. Ryhmällä on useita vuosia ollut yhteistyötä erityisesti TKK:n Kylmälaboratorion kanssa.

VTT Biotekniikka

VTT Biotekniikan nanoteknologian tutkimus koskee pääasiallisesti proteiinimuokkausta.. Proteiinit ovat yleensä nanoluokan molekyyliä, joilla on tarkoin määritelty rakenne. Geenitekniikan keinoin voidaan kehittää uusia, halutunlaisia proteiinirakenteita. Tunnistavat proteiinit ja entsyymit (katalyyttiset proteiinit) ovat kiinnostavia, koska niiden avulla voidaan tehdä mm. bioantureita ja bioelektronisia komponentteja. Tutkimustyö on hyvin poikkitieteellistä.



VTT Prosessit

VTT Prosessien materiaalit- ja kemiayksikön teollisuuskemian ja pienhiukkasryhmässä tehdään korkeatasoista nanoteknologian tutkimusta Espoon Otaniemessä. Ryhmillä on yhteistyöhankkeita huomattavien kansainvälisten ja kansallisten nanoteknologian yritysten kanssa. Sovellutuksia ja asiakkaita löytyy monelta eri alueelta (katalyytit, suodattimet, itsepuhdistuvat pinnat, pakkaustuotteet jne.).

3.4.5. Tieteen tietotekniikan keskus CSC

CSC (www.csc.fi) on opetusministeriön hallinnoima tieteen tietotekniikan keskus, joka tarjoaa korkeakouluille ja tutkimuslaitoksille tietoteknistä tukea ja resursseja kuten mallinnus- ja laskentapalveluja sekä informaatiopalveluja. CSC:n asiakkaaksi voivat hakea korkeakoulujen ja tutkimuslaitosten työntekijät, jotka voivat käyttää CSC:n laajaa ohjelmistojen ja tieteen tietokantojen valikoimaa sekä Suomen tehokkainta superlaskentaympäristöä. Toiminta perustuu verkkottumiseen ja nykyaikaiseen noin 135 henkilöä käsittävään asiantuntijaorganisaatioon. Nanoteknologian mallinnuksessa CSC toimii yhteistyössä TKK:n teknillisen fysiikan ja matematiikan osaston fysiikan laboratorion kanssa ¹.

CSC julkaisi vuonna 2002 Nanoteknologia Suomessa -nimisen yhteenvedon, jossa tarkasteltiin nanoteknologiaa tieteelliseltä kannalta ². Selvitykseen liittyy myös kysely, johon osallistuivat lähinnä julkisten tutkimuslaitosten tutkijat. Yhteenvedossa annettiin toimenpidesuosituksia koskien nanoteknologiaan liittyvän opetuksen kehittämistä ja nanoteknologian yleistä edistämistä.

3.4.6. SWOT-analyysi nanoteknologian tutkimuksesta Helsingin seudulla

Tässä raportissa ei ole tarkoitus, eikä tarkoituksenmukaistakaan, arvioida tutkimusta tieteellisin kriteerein. Tavoitteena on arvioida miten seudun nanoteknologian tutkimustoiminta voisi tukea nanoteknologiaa hyödyntävää liiketoimintaa noin 10 vuoden aikaperspektiivissä. Vaikka perustutkimuksen ja koulutuksen liiketaloudellisia vaikutuksia on vaikeaa arvioida kvantitatiivisesti, pidämme näitä keskeisinä tulevaisuutta ajatellen. Tärkeää on myös tukea maamme talouselämän kannalta tärkeitä aloja, jotta ne pystyvät hyödyntämään nanoteknologian suomia uusia mahdollisuuksia kansainvälisessä kilpailussa. Haluamme korostaa sellaista tutkimustoimintaa, joka edesauttaa uusien työpaikkojen syntymistä.

Vahvuudet

- Ehkä merkittävin nanoteknologian keskittymä Pohjoismaissa Lund/Kööpenhaminan lisäksi.
- Koko nanoteknologian innovaatioketju jo toiminnassa.

¹ <http://www.fyslab.hut.fi/>

² <http://www.csc.fi/raportit/nano/raportti.pdf>

- Maamme nanoteknologian uranuurtajayrityksiä (esim. Orion Diagnostica, Planar Systems).
- Omaan nanoteknologiaan perustuvia uusia yrityksiä (tai uutta liiketoimintaa) kuten ABR Innova, CTT, Diarc, Genano, Heptagon, Hydrocell, LifaAir, Mobidiag, Panipol ja Picosun.
- Hyvät yhteydet kansallisiin suuriin ja keskisuuriin yrityksiin
- Ainutlaatuinen Atomic Layer Deposition keskittymä, johon liittyen on
 - teollista toimintaa, ja
 - laadukasta perus- ja sovelluslähtöistä tutkimusta.
- Kansainvälistä tasoa olevia tutkimusryhmiä ja sitä kautta kontakteja maailman huippututkijoihin ja –ryhmiin useilla tutkimuksen aloilla.
- Monet ryhmät ovat osoittaneet innovointikykyä.
- Pystytty houkuttelemaan hyvää opiskelija-ainesta alalle (toistaiseksi).

Heikkoudet

- Nanoteknologian tutkimus hajautunut liian pieniin yksiköihin, joissa toimivat liian pienet projektit.
- HY:n ja TKK:n tutkimuksissa tutkitaan pääasiallisesti ilmiöitä ja rakenteita, mutta harvoin lähdetään tarpeesta tai sovellutuksesta (akateeminen perinne).
- Kyky vastata yritysten tutkimustarpeisiin on monessa laboratoriossa heikko.
- Harvalla laboratoriojohtajalla on kokemusta muusta kuin tieteellisestä ympäristöstä (yrittäjyys, teollisuus).
- Rahoituksen vähyys.
- Poikkitieteellistä (nanoteknologian) koulutusta ei ole annettu.
- Innovointia, yrittäjyyttä ja kaupallistamista ei oteta riittävästi esille opetuksessa.

Mahdollisuudet

- Nanoteknologian saama tutkimusrahoitus (etenkin seitsemäs puiteohjelma, FP7)
- Vaikutusvaltaisilta tahoilta tulleet viestit tutkimusresurssien keskittämisen tarpeellisuudesta kansallisella tasolla.
- Vaikutusvaltaisilta tahoilta tulleet viestit uudistumisen ja yrittäjyyden tarpeellisuudesta.
- Nanoteknologia on noussut yhdeksi Tekesin painopistealueeksi (tieto- ja viestintä-tekniikan, biotekniikan ja materiaali-tekniikan ohella).
- Helsingin seudulla on ainekset nousta Pohjoismaiden johtavaksi nanotekniikan keskuksiksi ja nanotekniikan soveltajaksi.
- Uusien teknologiayritysten rahoittamiseksi on syntymässä uusia riskirahoitus-instrumentteja (AISP).
- Itämeren kehittyvä alue (Pietarin alue, Baltia, Puola, Pohjoismaat).
- Nokia, puunjalostusteollisuus, lääketieteelliset sovellukset (esim. diagnostiikka).
- Nanosensorit ja langaton tiedonvälitys, painettava elektroniikka, ALD.
- Helsingin seudulla toimivat muut kaupallistamis- ja sovellutusorientoituneet korkeakoulut (Helsingin kauppakorkeakoulu (HKKK), Hanken, EVTEK, Taideteollinen korkeakoulu (TaiK), Arcada jne.).

- Alueen yliopistoihin ja korkeakouluihin on keskittynyt vahvaa osaamista sekä lääketieteen, elektroniikan, biotieteiden että materiaalitieteiden aloilla.

Uhat

- Pääkaupunkiseudun tutkimuslaitokset eivät onnistu esiintymään yhdessä ja käyttämään yhteistä vahvuuttaan.
- Alueellista nanoteknologian kaupallistamistukiohjelmaa ei pystytä toteuttamaan rahoituksen tai/ja koordinoinnin puutteiden takia.
- Nanoteknologiaan perustuvia ja myös hyvää kaupallistamispotentiaalia omaavia liiketoimintaideoita ei synny lähivuosina.
- Kauppakorkeakoulujen liiketoimintaosaaminen jätetään hyödyntämättä.
- Nanoteknologiaan liittyviä kaupallistamispotentiaalia omaavia innovaatioita ei synny riittävästi.
- Riskirahoitus ei kanavoidu nanoteknologiaan.
- Yritykset vähentävät tutkimustoimintaansa Suomessa.
- Uusia merkittäviä nanoteknologian työntekijöitä ei synny lähitulevaisuudessa pääkaupunkiseudulle.
- Eurooppa menettää uuden teknologian teollisen asemansa odotettua nopeammin.
- Tarpeeksi kyvykkäitä huippuyksilöitä ei saada alalle.

4. Ehdotus Helsingin alueen nanoteknologiasta

4.1. Strategian lähtökohta ja visio tulevaisuudesta

Suomen hyvinvointi on pitkälti perustunut kykyymme hyödyntää uuden teknologian suomia mahdollisuuksia. Taustana ovat olleet hyvä koulutustaso, käytännönläheinen suhtautuminen teknologian kehitykseen ja laaja yhteiskunnallinen yhteisymmärrys. Erityisesti Tekes on ollut avainasemassa kun 1980-luvusta lähtien on panostettu määrätietoisesti teknologia-osaamisen kasvattamiseen maassamme. Myös korkeakoulujen kyky kouluttaa riittävä määrä korkeatasoisia teknologian osaajia on ollut tärkeää. Nokian menestys on konkreettinen esimerkki siitä, miten uuden teknologian suomia mahdollisuuksia on voitu Suomessa käyttää hyväksi. Taustalla on monta tekijää, joista yksi on korkeakoulujen panostus digitaalitekniikkaan jo 1970-luvun alussa. Toisaalta julkisen sektorin laajat panostukset biotekniikkaan eivät ole vielä antaneet odotettua kansantaloutemme neljättä tukijalkaa¹.

Sitran julkaisemassa ”Suomi innovaatiotoiminnan kärkimaaksi”-raportissa puhutaan Suomen paradoksista². Suomi sijoittuu maailman kärkisijoille kun mittarina ovat T&K-panostukset. Koululaitos on saanut hyvin myönteistä huomiota kansainvälisesti. Suomea pidetään yhtenä kaikkein kilpailukykyisimmistä maista. Kuitenkin emme yllä aivan kärkisijoille, kun verrataan bruttokansantuotetta henkilöä kohti, väestön työllisyysastetta tai työttömyysprosentin alhaisuutta. Lisäksi väestö on nopeasti ikääntymässä ja Suomeen tulevien suorien investointien osuus on alle EU-maiden keskiarvon. Siksi ei riitä, että olemme T&K-toiminnassa maailman huipputasoa, vaan meidän on luotava ympäristö, joka tehokkaasti tukee tietotaidon kaupallistamista avoimessa maailmantaloudessa.

Helsingin seudulla on hyvät mahdollisuudet vastata tähän haasteeseen nanoteknologian kehittäjänä ja hyödyntäjänä. **Visiomme onkin, että Helsingin seutu tunnettaisiin kyvystään luoda nanoteknologiaa hyödyntävää liiketoimintaa.**

Tämän strategiaehdotuksen ensisijaisena tarkoituksena on saada aikaan toimenpiteitä, jotka edesauttavat nanoteknologian tehokasta liiketaloudellista hyödyntämistä seudullisesti niin lähivuosina, kuin 15 vuoden aikahorisontillakin. Tällöin seudullisen hyödyn mittarina on ennen kaikkea uusien työpaikkojen määrä.

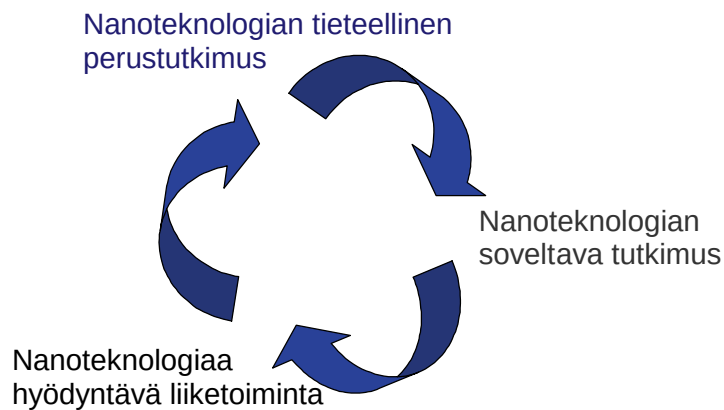
Strategisten toimenpiteiden tuleekin tukea niin perustutkimusta, koulutusta, tarvelähtöistä tutkimusta (soveltavaa tutkimusta) kuin nanoteknologiaosaamisen kaupallistamista. Näiden osa-alueiden tulee olla tasapainossa ja viime kädessä tukea nanoteknologiaa hyödyntävää liiketoimintaa myös pitkällä aikavälillä. Näin ollen toimenpiteitä on erityisesti kohdennettava niille osa-alueille, joissa nähdään pullonkauloja ja joiden dynamiikka on puutteellista.

Helsingin seudulla toimii jo nyt nanoteknologian koko innovaatioketju. Alueella on niin menestyksellisesti nanoteknologiaa kaupallistaneita merkittäviä työnantajia, kuin kymmenkunta nanoteknologiaa hyödyntävää pienyritystä. Aineisto koko nanoteknologian innovaatio-

¹ ”Biotekniikka – tietoon perustuva liiketoimintaa”, Terttu Luukkonen (toim.), ETLA 2004

² ”Suomi innovaatiotoiminnan kärkimaaksi”, Antti Hautamäki ja Juhani Kuusi (toim.)/Sitran innovaatio-ohjelma, Sitra 2005

ketjun toimivuuden tarkastelemiseen on siis olemassa. Nanoteknologian liiketaloudellista hyödyntämistä tulisi tukea ja seurata osana nanoteknologiastategiaa.



Kuva 5. Liiketoiminnan ja tutkimuksen on dynaamisesti tuettava toisiaan.

Perinteisesti on katsottu, että panostamalla voimakkaasti tutkimukseen luodaan edellytykset innovaatioille ja sitä kautta liiketoiminnalle. Tällainen tarkastelu toimii olemassa olevien merkittävien yritysklustereiden tapauksessa. Toisaalta voidaan syystä kyseenalaistaa mallin riittävyyttä uuden liiketoiminnan tehokkaana synnyttäjänä.

Tässä yhteydessä on muistettava, että yritykset hakevat uutta osaamista maailmanlaajuisesti. Suomessa hyödynnetään ulkomailla tehtyjä tutkimustuloksia ja innovaatioita, kuten ulkomailla hyödynnetään maassamme syntyneitä tutkimustuloksia. Kehitys jatkuu, mikä korostaa tutkimuksen laadun ja erityisesti innovointikyvyn merkitystä. Maamme mittakaavassa on pakko hakea kilpailukykyä tutkimusresursseja keskittämällä. Osa nanoteknologian osaamisen liiketaloudellisesta hyödyntämisestä muodostuukin ulkomailta tulleesta tutkimusrahoituksesta. Siitä huolimatta pelkästään laadukkaaseen tutkimukseen panostaminen ei riitä useiden uusien työpaikkojen luomiseksi.

Nanoteknologian soveltaminen liiketaloudellisesti on yhtä tärkeää kuin nanoteknologian osaaminen. Tämän tavoitteen saavuttaminen on strategian olennaisin tehtävä.

Tulevia työpaikkoja ajatellen on myös olennaista tiedostaa miten nanoteknologian osaamista aiotaan hyödyntää arvoketjussa. Nanoteknologian osaaminen on hyvä ymmärtää osana muuta suomalaista, tietotaitoon perustuvaa osaamista, jota voidaan hyödyntää kaupallisesti maamme oloissa. Palaamme tähän asiaan kaupallistamisen yhteydessä (4.2.4)

Nanoteknologiassa puhutaan usein *top-down* ja *bottom-up* periaatteista riippuen siitä lähestytäänkö nanometrialuetta ja kvanttimekaniikan ilmiötä pienentämällä rakenteita vai hyödyntämällä atomi- ja molekyyliyhdyntämien ominaisuuksia luoda laajamittaisia järjestäytyneitä rakenteita ja toimintoja.

Samoja termejä voidaan käyttää nanoteknologiastategiaa muotoillessa. Tässä työssä tulemme kiinnittämään erityistä huomiota *bottom-up* tarkastelulle, eli miten käytännön toimenpiteillä voidaan pohjustaa nanoteknologian liiketaloudellista hyödyntämistä pääkaupunkiseudulla. Suhtaudumme samalla varauksellisesti ylimalkaisesti *top-down* linjanvetoihin,

kuten laajojen panostusalueiden määrittelemiseen. Näillä on usein suurempi merkitys esityskalvoissa kuin käytännön toimien kannalta.

Vaikka tärkein mittari on Helsingin seudun työllisyys tulevaisuudessa, haluamme korostaa, ettei tämä tarkoita nanoteknologiatoiminnan rajaamista maantieteellisesti. Tutkimusyhteistyö - kuten kaikki muukin yhteistyö - perustuu siihen, että osapuolet tavoittelevat yhdessä mahdollisimman suurta hyötyä maantieteellisistä ja tutkimusalueiden rajoista riippumatta.

Helsingin alueen nanotutkimuksen ja sitä hyödyntävän liiketoiminnan strategia on luonnollisesti oltava osana kansallista nanoteknologian strategiaa. Toteutuksen kannalta rahoittajien rooli on keskeinen. Tutkimuksen kannalta voidaan todeta, että Tekes on uudessa FinNano-ohjelmassa valinnut painopistealueet väljästi:

- innovatiiviset nanorakenteiset materiaalit,
- nanosensorit ja –aktuaattorit, sekä
- nanoelektroniikan uudet ratkaisut (esim. uusien rakenteiden yhdistäminen, nano-optiikka, nanofotoniikka ja optonanobioteknologia).

4.2. Strategian osa-alueet

4.2.1. Nanoteknologian perustutkimus

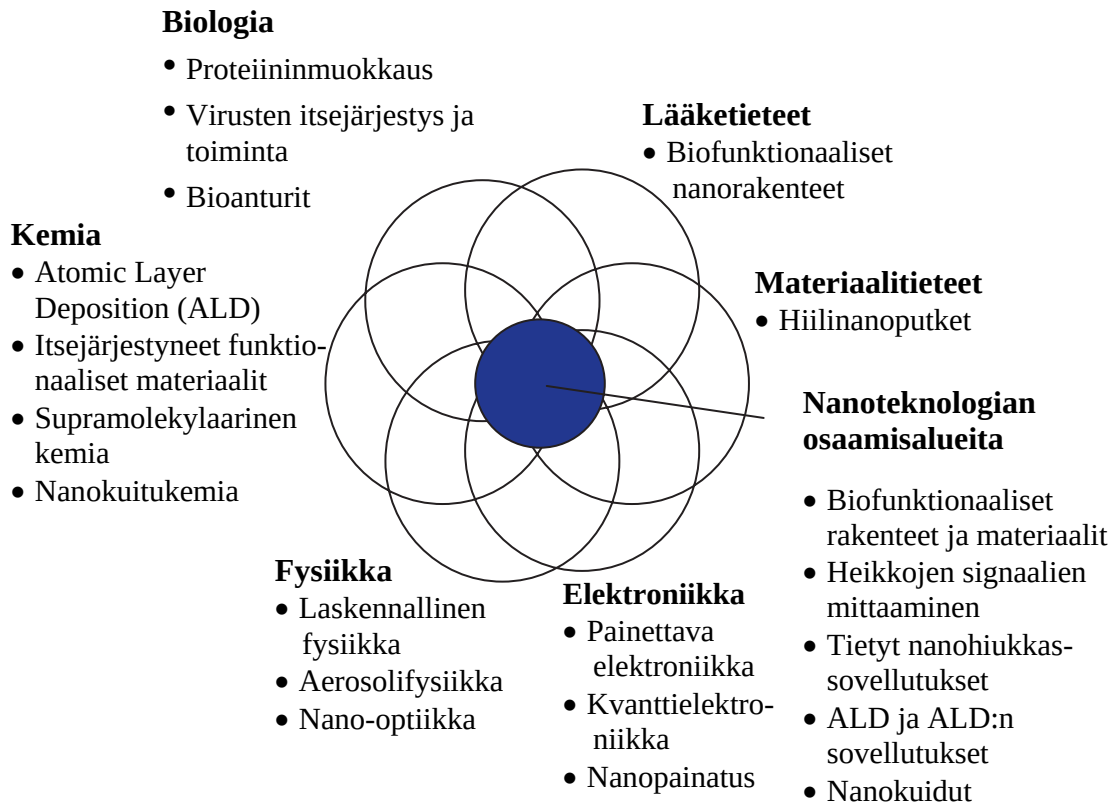
Helsingin seudulla toimii merkittävä nanoteknologian keskittymä, joka on vastannut yli puolesta maamme tieteellisestä nanoteknologian tutkimustoiminnasta. Myös pohjoismaisessa mittakaavassa pääkaupunkiseudun nanoteknologian tutkimus kilpailee Lundin ja Kööpenhaminan (Öresund Region) kanssa kärkisijasta, joskin jälkimainittu on huolehtinut paremmin julkisuuskuvastaan.

Eri yhteyksissä on hiljattain painotettu tutkimusresurssien keskittämisen tarpeellisuutta^{1, 2}. Tämä koskee ilman muuta myös nanoteknologiaa, jolle poikkitieteellisyys ja laaja tutkimustoiminta ovat ominaisia. Myös nanoteknologian tutkimusvälineiden suhteellinen kalleus puoltaa niiden sijoittamista sinne, missä edellytykset mahdollisimman tehokkaaseen yhteiskäyttöön ovat parhaat.

Merkittävää nanoteknologian tutkimusta tehdään Helsingin seudulla useilla eri aloilla (Kuva 6). Yhdistämällä tätä osaamista tiiviimmin voitaisiin luoda entistä paremmat edellytykset kansainvälisen huipun saavuttamiseksi muutamalla nanoteknologian alueella. Ennakko-luulotonta ja todella uusia avauksia etsivää perustutkimusta on tuettava ja uskomme, *että erityisesti perinteisiä tieteitä yhdistämällä voidaan saavuttaa uusia merkittäviä tuloksia*. Tieteellisen tason on oltava *todella korkea* ja rahoituksen tulisi olla pitkäjänteistä, eikä riippuvaista esimerkiksi yritysten rahallisesta tuesta. Suomen Akatemian lisäksi EU:n puiteohjelmat (FP7) antavat korkeatasoisille tutkimusryhmille tähän mahdollisuuden.

¹ “Yliopistojen ja Ammattikorkeakoulujen tutkimuksen rakenneselvitys”, Jorma Rantanen, marraskuu 2004

² ”Suomi innovaatiotoiminnan kärkimaaksi”, Antti Hautamäki ja Juhani Kuusi (toim.)/Sitran innovaatio-ohjelma, Sitra 2005



Kuva 6. Eräitä Helsingin seudun (HY, TKK ja VTT) nanoteknologian tutkimuksen nykyisiä vahvuuksia.

Pitäisi myös panostaa sellaiseen kokeelliseen työhön, jossa luodaan uusia materiaaleja tai komponentteja. Vaikka tällaisesta työstä ei ehkä synny määrällisesti yhtä paljon tieteellisiä julkaisuja kuin mallinnus- tai karakterisointivoittoisesta tutkimustyöstä, on varsinaisten innovaatioiden syntyminen todennäköisempää.

HelsinkiNano-hankkeen yhteydessä tehdyn yrityskyselyn perusteella (Liite 4) yritykset odottavat tutkimuslaitoksilta eniten nanoteknologian kehittyneitä mittaus-, karakterisointi- ja analysointipalveluita. Helsingin seudun tutkimuslaitokset ovat avainasemassa vastaamaan näihin maamme teollisuuden tarpeisiin.

Helsingin seudun tutkimuslaitosten nanoteknologian laajuudella ja monialaisuudella on merkitystä myös nanoteknologian kansainvälisen kehityksen seurannassa. *Helsingin seudun tutkimuslaitoksilla on maamme teollisuuden kannalta tärkeä rooli toimia myös tiedon ja yhteyksien välittäjänä.*

Pääkaupunkiseudulla on tällä hetkellä neljä nanoteknologian tai sitä sivuavan tutkimuksen Suomen Akatemian huppuyksikköä. Nanoteknologian alueella toimii kolme akatemiaprofessoria Helsingin yliopistossa ja kolme Teknillisessä korkeakoulussa (Liite 5).

Pidämmekin tärkeänä, että HY:n, TKK:n ja VTT:n nanoteknologian tutkimuksen voimavarat voitaisiin yhdistää yhdeksi nanoteknologiakeskukseksi tai nanoteknologian keskittymäksi, jolla olisi siten näkyvä rooli maamme nanoteknologian tutkimuksessa ja opetuksessa. Tähän

Helsingin seudun nanoteknologian keskittymään (HRNI, Helsinki Region Nanotechnology Initiative) kuuluisivat lisäksi kaupallistamisen kannalta tärkeät korkeakoulut (HKKK, TaiK, Hanken, TKK), alueelliset innovaatiotoimijat, kaupungit ja erityisesti liike-elämän edustajat.

Toiminnan tulisi rakentua tutkimuslaitosten merkittävimmistä nanoteknologian laboratorioista ja riittävän suurista yksiköistä. Esimerkkeinä mainittakoon HY:n Kumpulan kampus (erityisesti epäorgaanisen kemian laboratorio), TKK:n uusi nanoteknologian keskus k (Uusien materiaalien keskus) ja Micronova, sekä VTT:n Tietotekniikka, Biotekniikka ja Prosessit. Toimivuuden varmistamiseksi suosittelemme ainakin alussa mieluummin suppean, mutta toimivan ydinryhmän muodostamista, kuin laajaa vaikeasti hallittavaa kokonaisuutta.

Tärkeitä ovat vahvat paikalliset nanoteknologian keskittymät. Tällainen on selvästi kasvamassa Otaniemeen. Otaniemen ja Kumpulan välillä on jo nyt useita yhteistyöhankkeita nanoteknologian alueella. HY:n Viikin ja Meilahden kampusten nanoteknologian tutkimustoiminta on kapeammalla pohjalla, mutta näiden kampusalueiden nanoteknologiaan liittyvät tutkimusryhmät pitäisi saada paremmin kytketyksi seudulliseen nanoteknologiaturkimustoimintaan. Tässä vaiheessa pidämme paljon tärkeämpänä toimintatapojen luomista nykyisten osaamiskeskittymien pohjalta kuin esimerkiksi uuden, yhteisen laajan nanoteknologiakeskusrakennuksen rakentamista.

Ehdotamme, että pääkaupunkiseudun nanoteknologian koordinoinnin ja näkyvyyden parantamiseksi muodostetaan nanoteknologian keskittymä (HRNI, Helsinki Region Nanotechnology Initiative), jonka tehtäviä olisivat muun muassa:

- Ylläpitää yhteistä julkisuuskuvaa ja toimia ulkoisten sidosryhmien nanoteknologian yhteystahona (tutkijat, yritykset, rahoittajat jne.).
- Toimia nanoteknologiaopetuksen seudullisena koordinaattorina (kohta 4.2.2) ja sisäisenä nanoteknologian yhteistyöfoorumina.
- Toimia maamme teollisuudelle tärkeänä nanoteknologian yhteistyötahona ja ylläpitää ja kehittää yhteyksiä maamme teollisuuden kannalta tärkeisiin tutkimusryhmiin maailmanlaajuisesti (myös seurata nanoteknologian kehitystä eri osa-alueilla).
- Luoda ja ylläpitää yhteistyössä muiden toimijoiden (KTM/Tekes, Sitra, Technopolis Ventures, Culminatum jne.) uutta yritystoimintaa tukevia toimenpiteitä.
- Tukea sitä, että Helsingin alueen nanoteknologian tutkimuksen infrastruktuuri vastaa kilpailukykyisen tutkimuksen vaatimuksia ja edistää nanoteknologiaturkimusryhmien osallistumista EU:n tutkimusohjelmiin.
- Järjestää yhteistyössä muiden toimijoiden kanssa seminaareja, konferensseja ja koulutustilaisuuksia nanoteknologiaosaamisen ja verkostojen tukemiseksi (kansallisesti ja kansainvälisesti).

Opetusministeriö on huhtikuussa 2005 asettanut työryhmän kehittämään nanoteknologian tutkimusta ja opetusta yliopistoissa. Työryhmä valmistelee myös ehdotuksen kehittämisohjelmasta vuosille 2007-2009 ¹.

¹ http://www.minedu.fi/opm/uutiset/archive/2005/04/27_1.html

4.2.2. Koulutus

Nanoteknologian opetuksen ja jatkokoulutuksen tulee kansainvälisessä kilpailussa vastata niin tutkimuksen ja tieteellisen osaamisen tarpeisiin kuin nanoteknologian liiketaloudellisen soveltamisen vaatimuksiin.

Helsingin yliopisto, Teknillinen korkeakoulu ja VTT näyttävät yhdessä kokonaislaajuutensa puolesta vastaavan maamme laajimmasta ja tasokkaimmasta tieteellisestä osaamisesta nanoteknologian eri osa-alueilla, joskin tuntuvaa uutta lisäarvoa on syytä tavoitella yhteisellä koordinoinnilla, laajemmalla tiedottamisella ja sopivalla työnjaolla. Myös opiskelijamäärältään HY ja TKK edustavat maamme luonnontieteellisen opetuksen kärkeä. Tähän voidaan lisätä HY:n perustutkimuksen ja TKK:n soveltavan tutkimuksen perinteet ja niihin liittyvät verkostot sekä alueen muut tärkeät korkeakoulut (Helsingin kauppakorkeakoulu (HKKK), Hanken, Taideteollinen korkeakoulu (TaiK)). *Siksi Helsingin alueella tulisi olla keskeinen asema nanoteknologian opetuksessa mikäli halutaan hyödyntää nanoteknologiaa parantamaan maamme kilpailukykyä kovenevassa kansainvälisessä kilpailussa.*

Nanoteknologian akateemisen opetuksen lähtökohta pitäisi olla hyvä luonnontieteellinen peruskoulutus jollakin osa-alueella (esimerkiksi kemia, fysiikka, biologia, elektroniikka tai lääketiede). Siksi erityistä nanoteknologian tutkintoa ei nähdä tarpeen kandidaattitasolla.

Maisteri-, DI- ja tohtoritasolla tulisi kuitenkin tarjota poikkitieteellistä nanoteknologian opetusta, jotta jonkin alan syvää osaamista voidaan laajentaa poikkitieteellisesti. Koska nanoteknologia on käsitteenä laaja, eikä kyse ole yhdestä tieteestä, suhtaudumme varauksellisesti yleisien nanoteknologian tutkintojen luomiseen. Toisaalta tulisi tarjota poikkitieteellisiä opetusjaksoja, jotka sivuaineina tai toisena pääaineena voitaisiin sisällyttää loppututkintoon. HY:n ja TKK:n pitäisi yhdessä suunnitella opetusohjelmat niin, että tarjonta olisi laajaa ja tasokasta, mutta päällekkäisyydet vältettäisiin. Tämä edellyttää koordinaointia ja hyvää tiedotusta. Myös yhteistyö Taideteollisen korkeakoulun ja ammattikorkeakoulujen kanssa olisi suositeltavaa. Varsinaisen opetuksen lisäksi kannustaisimme laajojen henkilöverkostojen luomista. Tärkeänä saavutuksena voidaan pitää TKK:n, HY:n ja VTT:n opintovuonna 2005-2006 toteuttamaa poikkitieteellistä Nanoscience-kurssikokonaisuutta, johon sisältyy neljä kurssia.

Kiireellistä on järjestää jatko-opiskelijoille tasokas nanoteknologian koulutus. Käynnistyvä kansallinen ”National graduate school in nanosciences” tutkijakoulu, jossa pääkaupungin tutkimuslaitoksilla on merkittävä rooli, on erittäin hyvä aloite. Keskeinen tavoite pitäisi olla tohtoreiden *laatu eikä määrä*. Toinen tärkeä tavoite olisi kouluttaa opiskelijoita myös ei-akateemista uraa ajatellen. Tällöin pidämme mielenkiintoisena uutena ajatuksena, että jatko-opinnot aloitettaisiin aikaisintaan vasta viiden työvuoden jälkeen (yliopiston ja korkeakoulun ulkopuolella). Tarkoituksena olisi yhdistää tieteellistä jatkokoulutusta ja käytännön kokemusta. Tämän lisäksi tulisi kannustaa opiskelijoita osallistumaan arvostettujen yliopiston/korkeakoulujen nanoteknologian opetukseen ulko-mailla (esimerkiksi yhdeksi luku-kaudeksi). Opetuksen on oltava kansainvälistä, laadusta tinkimättä. Kansainvälisten henkilöverkostojen rakentamiseen pitäisi kannustaa.

Erityisen lahjakkaita hakijoita varten perustettaisiin apurahoja, jotka tukisivat ulkomailla tapahtuvaa opetusta sekä tohtorin tutkinnon suorittamista kesken yritysraputken.

Pätevien nanoteknologian osa-alueiden asiantuntijoiden lisäksi nanoteknologiakoulutuksen pitäisi tukea uuden liiketoiminnan ja uusien yritysten synnyttämistä. Tavoitteena olisi kouluttaa henkilöitä joilla on sekä teknistieteellinen osaaminen että liiketaloudellinen osaaminen. Suosittelemme, että nanoteknologiakoulutukseen liitetään valinnaisia liiketoimintaan liittyviä kursseja (markkinointia, IPR, yrittäjäyys). Tällaiseen olisi kytkettävä sopivat asiantuntijaorganisaatiot kuten HKKK ja TKK:n Tuotantotalouden osasto. Samoin pitäisi tarjota nanoteknologiakursseja esimerkiksi ammatti- ja kauppakorkeakoulujen opiskelijoille. Tavoitteena olisi henkilöverkostojen laajentaminen. *Tärkeätä olisi kytkeä mukaan myös omaa henkilökohtaista liike-elämän kokemusta omaavia henkilöitä.* Tutkimusyksiköiden osallistuminen yritysklustereiden toimintaan on tärkeää. On panostettava siihen, miten kaupallisesti suuntautuneet ja tieteellisesti suuntautuneet osaajat löytävät toisensa ja miten opin- näytteitä voitaisiin tehdä ”ristiin”. Esimerkkinä mainittakoon nanoteknologian innovaatioi- den kaupallistamispotentiaalin arviointi. Kaupallisen opetuksen lisäksi haluamme korostaa nanoteknologian patenttikantojen tietohaun tärkeyttä ja patenttihakemusten laatimista (IPR).

Eräänä vaihtoehtona voitaisiin harkita mahdollisuutta myöntää tohtorin arvo osittain myös hyvien keksintöjen (patenttihakemusten) perusteella, eikä pelkästään tieteellisten julkaisujen avulla. Edellytyksenä olisi, että keksinnöt olisivat tieteellisestikin riittävän haastavia ja että niihin liittyvät näkökannat on käsitelty riittävällä syvyydellä. Hyvän keksinnön eräs mittari on se, onko sijoitettu kansainvälisesti kansallisiin patenteihin (esim. USA, Kiina, Japani). Yleensä tulokset ovat julkaistavissa tieteellisissä lehdissä patenttihakemuksen jälkeen, mutta haluamme selkeästi kannustaa nanoteknologian innovatiiviseen hyödyntämiseen. Tarvitsemme sekä *nanoteknologian uusia aluevaltauksia hallitsevia tutkijoita* että nanoteknologian osaajia, jotka *pystyvät kaupallisesti merkittävien mahdollisuuksien tunnistamiseen.*

Muutaman vuoden jo työelämässä toimineille nanoteknologian asiantuntijoille tulisi tarjota huipputasoisia innovointi-, yrittäjäyys-, ja uuden teknologian johtamiskoulutusta. Opetus olisi maksullista ja se koostuisi pääosin kansainvälisistä opintomoduuleista arvostetuissa yli- opistoissa ja korkeakouluissa. Työnantaja tai osallistuja itse vastaisi kustannuksista. Erityisen lahjakkaiden yksilöiden osallistumista tuettaisiin apurahoin (tietyin ehdoin). Opetus ei tähtäisi akateemiseen oppiarvoon ja sen suunnittelussa ja toteutuksessa olisi liike- elämällä merkittävin osa (kts. 4.2.3).

Myös ammattikorkeakoulujen ja muun ammatillisen koulutuksen on kyettävä vastaamaan yritysten tarpeisiin. Nanoteknologiayrityksissä on muun yritystoiminnan tapaan tarvetta am- mattilaisille, jotka osaavat tehdä korkealaatuista alaan liittyvää teollista perustyötä. Tämä koskee sekä laitesuunnittelijoita ja koneistajia kuin tuotantohenkilökuntaa että käytännön insinöörejä. Nämä henkilöt ovat teknologiayrityksissä avainasemassa ja heidät unohdetaan helposti keskusteluissa. Esimerkkinä mainittakoon mikromekaniikan osien toteutus ja nano- teknologian uusien analyysi- ja mittalaitteiden käyttö. Samoin laboranttien koulutukseen tulisi sisällyttää nanoteknologian uusien tutkimusvälineiden käyttö.

Toimenpide-ehdotukset:

- HY:n ja TKK:n yhteiset nanoteknologian kurssit sekä maisteri-/DI-tasolla että jatko-opiskelijatasolla (tutkijakoulut).
- Opetuksessa on korostettava sovelluksia ja innovaatioita tieteellisen osaamisen lisäksi.

- Tohtorin tutkinto voitaisiin osittain ansaita myös merkittävien keksintöjen perusteella.
- Täydennetään nanoteknologian teknistieteellistä opetusta sen kaupallistamista tukevalla opetuksella (yhteistyö TKK, TaiK, HKKK, Hanken).
- Maksullinen innovointi-, yrittäjyys- ja uuden teknologian kansainvälinen johtamiskoulutus (vrt. MBA-ohjelmat).
- Hankitaan rahoitusta tukemaan erityisen lahjakkaita henkilöitä saamaan nanoteknologian kaupallista hyödyntämistä tähtäävää koulutusta.
- Ammatillista perusosaamista tukeva koulutus (TKK, ammattikorkeakoulut, ammatillinen peruskoulutus).

4.2.3. Kaupallistamiseen tähtäävä nanoteknologian tutkimus- ja kehitystyö

Perinteisesti on puhuttu tutkimuksesta, koulutuksesta ja kaupallistamisesta ja niiden vuorovaikutuksesta. Tieteellisen tutkimustyön ja kaupallisiin sovellutuksiin tähtäävän tutkimustyön välillä on kuitenkin hyvä tehdä ero, koska niiden tavoitteet ja myös mittarit ovat niin erilaiset. Väärinkäsitysten välttämiseksi todettakoon, että on lukuisia esimerkkejä henkilöistä, jotka ovat pystyneet loistavasti tekemään molempia.

Ensinnäkin on syytä korostaa, että nykyisin tieto leviää nopeasti maailmanlaajuisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tiedon löytäminen ja mahdollisuuksien oivaltaminen nousevat soveltavassa tutkimustyössä tärkeiksi teknologiakilpailutekijöiksi perustutkimuksen rinnalla ¹. Samalla myös patenttien merkitys kasvaa, kuten myös ennen kaikkea yhteiskunnan kyky luoda uuteen teknologiaosaamiseen perustuvaa liiketoimintaa.

Toiseksi havaintomme on, että yliopistojen ja korkeakoulujen kykyä vastata niin sanottuun kolmanteen, eli yhteiskunnalliseen tehtävään on kehitettävä edelleen. Nanoteknologia voi tässä suhteessa tarjota mahdollisuuden uusien toimintatapojen kokeilemiseen.

HelsinkiNanon yrityskyselyn (Liite 4) mukaan yritykset haluavat tutkimuslaitoksilta *sovellutusaosaamista ja innovaatioita*. Kuitenkin tutkimuslaitosten työskentely tähtää ensisijaisesti tieteellisiin julkaisuihin. Pitäisi luoda uusia kannustimia, jotka tukisivat sovelluslähtöistä tutkimusta ja ajattelutapaa. Tähän, ja ylipäänsä *luovuuteen ja ongelmanratkaisuun, pitäisi kiinnittää huomiota myös opetuksessa*. Tämä edellyttää opetushenkilökuntaan panostamista ja kurssien ja erityisesti harjoitusten opetustason nostamista. Eräs keino voisi olla kurssien jakaminen eri luennoitsijoiden kesken, jolloin eri alojen osaajat voivat keskittyä luennoissaan ydinosaamisalueisiinsa. Tämä voisi hyvin koordinoituna johtaa luennointitason nousuun.

Em. yrityskyselyn vastaukset herättivät odotettua vähäisempää kiinnostusta HY:n, TKK:n ja VTT:n professorien ja tutkijoiden parissa. Tämä johtuu osittain siitä että hyviä kontakteja teollisuuteen on jo olemassa. Suurempi selittäjä lienee tottumattomuus työskentelyyn yhdessä teollisuuden kanssa.

Suurin haaste on professoreiden työkuormitus esimerkiksi rahoitukseen liittyvien anomusten ja raporttien vuoksi. Mitä kyvykkäämpi ja aloitteellisempi professori, sitä suuremmaksi

¹ Mielenkiintoinen esimerkki siitä, miten yhdysvaltalaisesta nanoteknologian perustutkimuksesta kehitettiin kaupallinen tuote Ruotsissa on esitelty Ny Teknik-lehdessä, http://www.nyteknik.se/pub/ipsart.asp?art_id=34568

ongelmaksi ajankäyttö tulee. *Nykyoloissa on liian vähän tilaa ja motivaatiota priorisoida yhteydenpitoa teollisuuden edustajien kanssa.*

Tekes on maassamme tärkeä uuden teknologian kehityksen tukija. Kuten jo todettiin, Tekes on valinnut nanoteknologian yhdeksi painopistealueeksi, josta FinNano-ohjelman käynnistäminen on konkreettinen osoitus ¹. Ohjelma keskittyy nanoteknologian kehittämiseen tavoitteena sovellukset. Siinä korostetaan myös kansainvälisyyttä. Tutkimuslaitosten hankkeiden osalta rahoitusta keskitetään viiteentoista tutkimushankkeeseen, joiden takaa yleensä löytyy merkittäviä kansallisia teollisuusintressejä. Kaikki nämä piirteet ovat hyviä.

Esittelemme kuitenkin harkittavaksi, että FinNano-ohjelmassa tarkemmin määriteltäisiin ne mittarit, joilla tutkimushankkeiden etenemistä arvioidaan. Mikäli tarkoituksena on löytää tiettyyn ongelmaan ratkaisu tai luoda innovaatiota tietyllä osa-alueella, tulee mittarien tukea näitä tavoitteita. Jos tarkoituksena on lisätä perusosaamista jollakin alueella, ovat mittarit toiset. Tarpeita voi olla molemmilla rintamilla.

FinNano luo puitteet vastata merkittävien teollisuusalojen nanoteknologian kansallisista tutkimustarpeista. Luotamme siihen, että Helsingin seudun vakiintuneiden yritysten nanoteknologian tutkimusintressit tulevat otetuksi huomioon FinNano-ohjelman viidessätoista tutkimushankkeessa. VTT Espoossa on vetovastuussa neljässä hankkeessa ja TKK kahdessa hankkeessa. Tekesin kokonaisrahoituksesta (11,9 milj. euroa) HY:n ja TKK:n osuus on yhteensä 22 %, ja VTT:n osuus on luokkaa 20 % ². HY:n, TKK:n ja VTT Espoon osuus rahoituksesta siten noin 40 %. Helsingin seudun tutkimuslaitoksilla on jatkossakin tärkeä rooli nanoteknologian soveltamisessa kansallisella tasolla.

Lähivuosina nimenomaan vakiintuneet yritykset tulevat tarjoamaan eniten työpaikkoja nanoteknologian tutkimustulosten hyödyntämisen kautta. FinNano-ohjelma tarjoaa hyvät puitteet myös yritysveloille nanoteknologian kehityshankkeille. Kahdeksan tällaista hanketta on käynnistynyt kesäkuun loppuun mennessä 2005 ³.

Koska Tekes yleensä edellyttää yritysten osallistumista tutkimushankkeisiin, mahdollisuudet muun kaupallistamiseen tähtäävään tutkimustoiminnan synnyttämiseksi ovat huonot. Jotta Helsingin seutu tulisi tunnetuksi kyvystään luoda nanoteknologiaa hyödyntävää liiketoimintaa, meidän tulee etsiä keinoja luoda yritystoimintaa uusien innovaatioiden avulla. *Kyse on pitkäjänteisestä toiminnasta, jossa aikaskaala voi olla yli kymmenen vuotta.* Tässä yhteydessä on mielenkiintoista tarkastella Helsingin seudulla jo toimivia nanoteknologian yrityksiä ⁴.

Merkittävimpien työnantajien perusteknologiaa on alettu kehittää yli kaksikymmentä vuotta sitten. Myös muiden, tyypillisesti noin kymmenen henkilöä työllistävien yritysten perusteknologia juontaa juurensa pyöreästi kymmenen vuotta sitten tehtyihin innovaatioihin. Yhteistä näille yrityksille ovat ainutlaatuiset yksilösuoritukset, hyvät innovaatiot ja ennen kaikkea erittäin pitkäjänteinen kova työ. Noin puolet yrityksistä on syntynyt tieteellisen huippututkimuksen tuloksena (esimerkiksi Heptagon ja Orion Diagnostica). Muutaman yrityksen perusinnovaatiot on tehty täysin yritysympäristössä (esim. Planar Systems). On mielenkiintoista, *että tutkimuslaitosten spin-off-yritykset ovat syntyneet ympäristössä, jossa*

¹ <http://websrv2.tekes.fi/opencms/opencms/OhjelmaPortaali/Kaynnissa/NANO/fi/etusivu.html>

² Markku Lämsä, Tekes

³ Pekka Koponen, Spinverse Consulting

⁴ ABR Innova, CTT, Diarc, Heptagon, Hydrocell, KSV-products, Liekki, Lifa Air, Mobidiag, Orion Diagnostica, Planar Systems

tietoisesti on tuettu sovellutuksia. Kyse ei ole ollut massiivisista tutkimuspanostuksista, vaan laboratorion tai yksikön avainhenkilöiden muodostamasta ilmapiiristä. Tiedossamme on yksi nanoteknologian yritys, joka on syntynyt kahden viime vuoden aikana spin-off-yrityksenä Helsingin seudun tutkimuslaitoksista.

Uudet tutkimustulokset, innovaatiot ja niihin perustuva teknologia luovat toki tärkeää kilpailuetua, mutta liiketoiminta vaatii paljon muutakin. *Siksi käytännön liiketoiminta-osaamista pitäisi kytkeä hankkeisiin riittävän aikaisessa vaiheessa.*

Tutkimuslaitosten toiminnan yksi piirre on ymmärrettävistä syistä varsin suppeiden alueiden tutkiminen. Käytännössä tämä tarkoittaa, että innovaatio muodostaa vain pienen osan mahdollisen tuotteen arvoketjusta. Usein tämä sijoittuu arvoketjun alkuun (esimerkiksi materiaali tai yksittäinen komponentti). Ellei innovaatiota voida kytkeä kotimaassa tuotteistavaan tuotteeseen, lopputulos on parhaimmillaan lisensointi ulkomaille. Siksi yhteistyö ja pitkäjänteisyys ovat välttämättömiä.

Maassamme vain harvalla nanoteknologian alan professorilla on teollisuuskokemusta, puhumattakaan kokemuksesta täysipäiväryttäjäydestä. Taustalla ovat virkojen pätevyyskriteerit ja asenteet. Tämä lienee osasy syy vähäiseen kiinnostukseen priorisoida kaupallistamiseen tähtäävää tutkimustyötä. Loistavia poikkeuksia toki löytyy.

Erityisesti on syytä korostaa patenttien (IPR) merkitystä kansainvälisessä kilpailussa. Yksin USA:ssa myönnettiin lähes 10 000 nanoteknologiaan liittyvää patenttia vuonna 2003 ¹. Meidän tulee luoda kansainvälistä patentointia tukevia rahoitusinstrumentteja. Yksittäiselle pk-yritykselle patentointi on merkittävä investointi. Toisaalta puutteellinen patenttisalkku voi osoittautua kohtalokkaaksi. Kaupallistamiseen tähtäävissä hankkeissa IPR-tilanteen seuraaminen on olennainen osa sekä ennen hankkeen aloittamista että sen aikana.

Rank	Region	Creativity Index
1	Uusimaa, Finland	491.0
2	Île de France, France	319.2
3	Berlin, Germany	319.0
4	Lazio, Italy	256.5
5	Bremen, Germany	243.5
6	Stockholm, Sweden	243.0
7	Hamburg, Germany	230.5
8	South East, UK	230.1
9	West-Nederland, Netherlands	225.4
10	Pohjois-Suomi, Finland	224.0

Kuva 7. Euroopan eri alueiden luovuusindeksi (mittarina T&K-panostus ja T&K-henkilöstö asukasluukuun suhteutettuna) ².

¹ “The National Nanotechnology Initiative at Five Years: Assessment and Recommendations of the National Nanotechnology Advisory Panel”, President’s Council of Advisors on Science and Technology, May 2005 (saatavissa web-osoitteesta <http://www.nano.gov/index.html>)

² *European Competitiveness Index 2004*, Robert Huggins Associates, UK (www.hugginsassociates.com)

Vuonna 2004 julkaistun selvityksen mukaan Uuttamaata pidetään Euroopan kaikkein luovimpana ja myös kilpailukykyisimpänä alueena ¹ (kuva 7). Lienee kohtuullista, että pystymme vastaamaan odotuksiin. Poikkitieteellisenä ja lukemattomia uusia liiketoiminnan mahdollisuuksia tarjoavana nanoteknologia voisi olla hyvä esimerkki.

Toimenpide-ehdotus:

Helsingin seutua ja nanoteknologiaa käytetään konkreettisten toimenpiteiden kokeilukenttänä uusien innovaatioiden synnyttämiseksi.

4.2.4. Nanoteknologiaa hyödyntävä liiketoiminta

Nanoteknologialla voi olla erilaisia merkityksiä liiketoiminnan kannalta. Eräissä yrityksissä ydinosaaminen perustuu itse kehitettyyn nanoteknologiaan, jonka pohjalta on luotu uutta yritystoimintaa. Kuitenkin useimmiten nanoteknologia on tuomassa olemassa oleville yrityksille parempia vaihtoehtoja nykyisillä sovellusalueilla (markkinoilla). Kyse voi olla uusista valmistusprosesseista tai uusien raaka-aineiden tai komponenttien käyttämisestä. Nanoteknologia tarjoaa myös ratkaisuja, jotka yhdistävät eri teollisuushaaroja (esim. elektroniikka ja puunjalostus). Näin ollen ero nanoteknologiaa kehittävän ja käyttävän yrityksen välillä ei ole selvä.

Maassamme voimme tunnistaa teollista nanoteknologiaosaamista ainakin seuraavilla alueilla:

- Petrokemian katalyyttikehitys ja komposiittimateriaalit (Neste Oy:n ajoilta)
- Metsäklusterin teknologiatarpeet (erilaiset materiaalit, pintakäsittely, kemikaalit, anturit)
- Ohutkalvoteknologia (ALD)
- Aerosoliteknologia (DND, hiukkassuodatus)
- Epäorgaaniset nanohiukkaset
- Lääketieteelliset nanohiukkassovellutukset
- Tiettyt sensorit ja niihin liittyvät mittalaitteet, ja.
- Tietty nanoteknologiset optiikan sovellukset.

Uudellamaalla toimii arviolta kolmekymmentä yritystä (Liite 6), joille nanoteknologia erityisesti tarjoaa uusia mahdollisuuksia - ja myös uutta kilpailua. Nanoteknologiakäsittettä on tässä yhteydessä tulkittu väljästi noudattaen pitkälti FinNano-ohjelmassa käytettyä linjaa. Yritykset, joille nanoteknologia muodostaa ydinosaamisen, työllistävät tällä hetkellä noin 300 henkilöä Uudellamaalla. Muissa yrityksissä nanoteknologian työllistävää vaikutusta on vaikea arvioida.

Alkusyksystä 2004 tehdyn yrityskyselyn perusteella omat kontaktit alan asiantuntijoihin (ja/tai tutkijoihin ja/tai yrityksiin) ovat yritykselle tärkein nanoteknologian tietolähde (Liite 5). Seminaarit ja muut yleisötapaukset tulevat kolmanneksi teknistieteellisten julkaisujen jälkeen. Kansallisella tasolla on olemassa useita henkilökohtaisia verkostoitumista tukevia

foorumeja, kuten Mikro- ja nanosysteemien ja aktiivimateriaalien osaamiskeskus (osana Uudenmaan osaamiskeskusta) ¹ ja sen operoima kansallinen FMNT-klusteri (Finnish MicroNano Technology Network) ². Nanoharju on toiminut hyvin aktiivisena yritys-klusterina Länsi-Uudellamaalla ³. Myös FinNano-ohjelman puitteissa suunnitellaan verkostoitumista tukevia tilaisuuksia.

Mielestämme nanoteknologian verkostoitumistapahtumien tarjonta on hyvä, eikä uusia toimijoita tarvita. Pikemminkin olisi tarkoituksenmukaista parantaa paikallista koordinoitua. Erityisen tärkeää olisi saada teollisuuden edustajia osallistumaan tilaisuuksiin ja toimintaan.

Isoilla yrityksillä on toimivat verkostot niin tutkimuslaitoksiin kuin muihin yrityksiin maailmanlaajuisestikin. Pk-yrityksillä on yleensä hyvät verkostot kansallisella tasolla, emmekä pidä yhteyksiä seudun tutkimuslaitoksiin tai muihin paikallisiin nanoteknologian yrityksiin ensisijaisena ongelmana.

Vakiintuneiden yritysten nanoteknologiaa hyödyntävän liiketoiminnan tukemiseksi on alueellisesti tärkeintä kouluttaa huipputason osajia, mitä tukee muun muassa todella korkeatasoinen tutkimus yritysten kannalta merkittävillä alueilla. Muilta osin uuden teknologian hyödyntäminen ja vakiintuneiden yritysten kilpailukyvyn varmistaminen kovenevassa kansainvälisessä kilpailussa on kansallinen kysymys, johon ei tässä raportissa puututa.

Suomen Akatemia asetti vuonna 2003 työryhmän, joka on suositellut eri toimenpiteitä elinkeinoelämää palvelevan tutkijankoulutuksen ja perustutkimuksen edistämiseksi sekä Akatemian ja elinkeinoelämän yhteistyömuotojen kehittämiseksi. Työryhmän raportissa korostetaan teollisuuden, yliopistojen ja tutkimuslaitosten yhteistyön tärkeyttä. Toimenpide-ehdotuksissa mainitaan myös liiketoiminnan osaaminen ja yrittäjyys, IPR-osaaminen ja johtamista tukeva opetus ⁴.

Tulevaisuudessa on varauduttava siihen, että yhä useampi maassamme toimiva yritys siirtää toimintoja ulkomaille. Siksi on ensiarvoisen tärkeää kiinnittää huomiota uutta liiketoimintaa edistäviin toimenpiteisiin. Nanoteknologia avaa tähän uusia mahdollisuuksia, joita voidaan tukea alueellisilla toimenpiteillä. Kyse ei ole sinisilmäisestä uskosta, että tutkimusta tukemalla ja teknologiayrityksiä perustamalla voidaan kädenkäänteessä luoda merkittäviä työnantajia. Päinvastoin on kyse monista toimenpiteistä, joiden tulos nähdään vasta vuosien päästä. Muita hyviä vaihtoehtoja ei ole.

Uuteen teknologiapohjaiseen yritystoimintaan liittyvät haasteet eivät koske vain nanoteknologiaa, vaan koko Suomen innovaatiojärjestelmää. *Nanoteknologiaan liittyvät samat ongelmat kuin uuden teknologian kaupallistamiseen yleensä.* Asia on yksityiskohtaisesti tuotu esiin esimerkiksi raporteissa ”Suomi innovaatiotoiminnan kärkimaaksi” ⁵ ja ”Aloittavien innovaatioyritysten siemenrahoituksen ja palvelujärjestelmän uudistamisstrategia (AISP-

¹ http://www.oske.net/osaamiskeskukset/uusimaa/aktiivimateriaali_ja_mikrosysteet/

² <http://www.fmnt.net/>

³ <http://www.nanoharju.fi/index.php>

⁴ Sustainable and Dynamic Partnership, Research cooperation and research training between universities, research institutes and business and industry publications of the Academy of Finland 7/05

⁵ ”Suomi innovaatiotoiminnan kärkimaaksi”, Antti Hautamäki ja Juhani Kuusi (toim.)/Sitran innovaatio-ohjelma, Sitra 2005

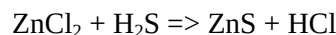
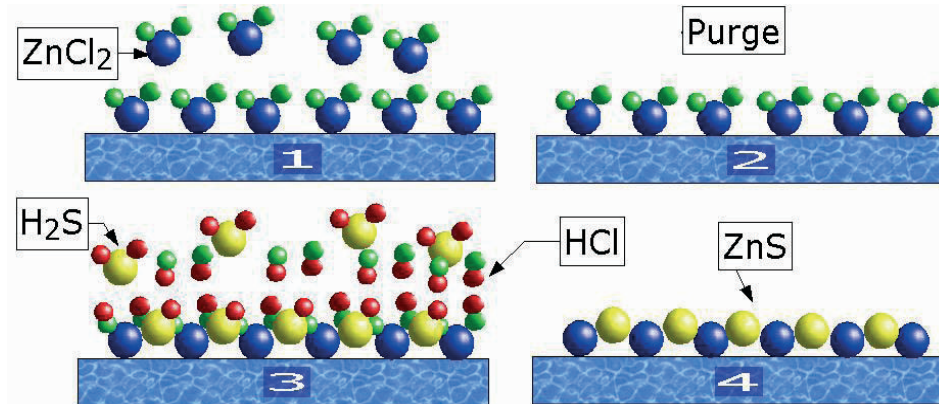
strategia)”¹. Hyviä esimerkkejä siitä, miten konkreettisesti on pystytty tutkimuslaitosten kautta luomaan uusia yrityksiä ja työpaikkoja löytyy kylläkin ulkomailta (esim. Cambridge).

Vaikka lähtökohtana olisivat huipputason teknologia ja riittävän suuret markkinat, haasteena on liiketoiminnan kasvun hitaus, joka johtuu sekä riskirahoituksen niukkuudesta, uuden teknologian soveltamistahdista että oman teknologian kehittämisestä kaupallistamiskuntoon.

Nämä haasteet konkretisoimme kolmella esimerkillä maassamme kehitetystä nanoteknologiasta ja sen osaamisen hyödyntämisestä.

1. Atomic Layer Deposition (ALD) ohutkalvokasvatusmenetelmä

1970-luvulta peräisin olevaa Atomic Layer Deposition (ALD, tai Atomic Layer Epitaxy, ALE) ohutkalvokasvatusmenetelmää voidaan pitää eräänä maamme merkittävimpana nanoteknologian keksintönä. Menetelmä mahdollistaa epäorgaanisten ohutkalvojen koostumuksen tarkan kontrollin, koska ohutkalvot kasvatetaan periaatteessa atomikerros kerallaan (Kuva 8). Syöttämällä eri lähteaineita voidaan muuttaa ohutkalvon koostumusta hyvinkin tarkasti kalvon paksuussuunnassa. Teknologia kehitettiin Oy Lohja Ab:ssa elektroluminenssinäyttöjen valmistamiseksi 1980-luvulla. 1990-luvun alussa teknologia kypsyi tuottoisaksi. Enimmillään toiminta työllisti noin 300 henkilöä vuonna 2001. Muuta merkittävää ALD-teknologiaa soveltavaa liiketoimintaa ei ole pystytty yrityksistä huolimatta synnyttämään Suomessa. ALD-menetelmä ja sen eri sovellutukset ovat kuitenkin tällä hetkellä laajan kiinnostuksen kohteena ja se työllistää vähintään tuhat henkilöä ulkomailla erityisesti Etelä-Koreassa ja Yhdysvalloissa.



This basic ALD cycle is repeated until the targeted film thickness is achieved

Self-limiting growth mechanism

⇒ excellent 3D conformality

⇒ precise thickness control (just repeat the basic cycle)

Kuva 8. ALD-ohutkalvokasvatusmenetelmä havainnollistettuna esimerkillä, jossa pinnalle kasvatetaan sinkkisulfidikalvo (ZnS). Menetelmää voidaan käyttää useiden eri ohutkalvojen, kuten oksidi-, nitridi- ja sulfidihutkalvojen kasvattamiseksi.

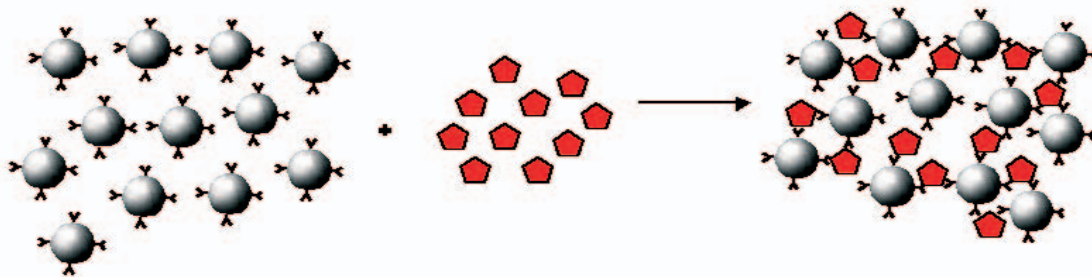
¹ “Aloittavien innovaatioyritysten siemenrahoituksen ja palvelujärjestelmän uudistamisstrategia (AISP-strategia)”, Anssi Paasivirta ja Pertti Valtonen, KTM Julkaisuja 28/2004

2. Biolääketieteelliset nanohiukkaset

Toinen merkittävä Suomessa kehitetty nanoteknologian osaamisalue sai alkunsa biolääketieteellisten polymeerihukkasten tutkimukseen 1980-luvun alussa. Avainasemassa olivat etenkin HY:n Lääketieteellisen tiedekunnassa ja TKK:n Kemian osastolla tehdyt tutkimustyöt. Osittain tästä perusosaamisesta kehitettyä teknologiaa käytetään Orion Diagnostican QuikRead-analysaattoreissa, jota on markkinoitu 1990-luvun alkupuolelta lähtien. Polymeerihukkasten halkaisija voi olla muutamasta kymmenestä nanometristä muutama sataan nanometriin. Hyvän tarkkuuden ja toistettavuuden saavuttamiseksi nanohiukkasten tulee olla hyvin monodispersiivisiä eli samankokoisia.

Orion Diagnostican liikevaihto oli 39 milj. euroa vuonna 2004 ja yritys työllisti noin 320 henkilöä. QuickRead on Orion Diagnostican merkittävin tuote.

Teknologiaa voitaisiin käsityksemme mukaan käyttää laajemmin.



Vasta-aineella päällystetyt nanohiukkaset (nanohiukkas-reagenssi)

Potilasnäytteestä mitattava analyysi

Spesifinen nanohiukkasten ja analyysin välinen aggregaatio

- Aggregaatio mitataan fotometrisesti
- Lukema on kvantitatiivinen suhteessa näytteen analyttikonsentraatioon
- QuikRead-järjestelmä antaa analyysin tarkan numeerisen arvon noin 2-3 minuutissa

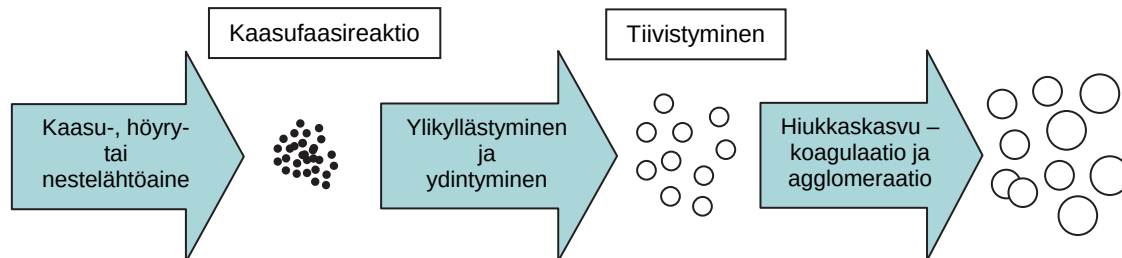
Kuva 9. Nanopartikkelireagenssien toimintaperiaate Orion Diagnostican QuikRead-analysaattorissa.

3. Direct Nanoparticle Deposition (DND)

Tampereen teknillisessä yliopistossa kehitettiin yhteistyössä Taideteollisen korkeakoulun kanssa 1990-luvun alkupuolella DND-menetelmä (Direct Nanoparticle Deposition) lasiesineiden värjäämiseen. Menetelmä perustuu muutaman kymmenen nanometrin kokoisiin metallioksidinanohiukkasiin, jotka valmistetaan erittäin korkeassa lämpötilassa metallioneja sisältävästä ylikyllästyneestä höyrystä.

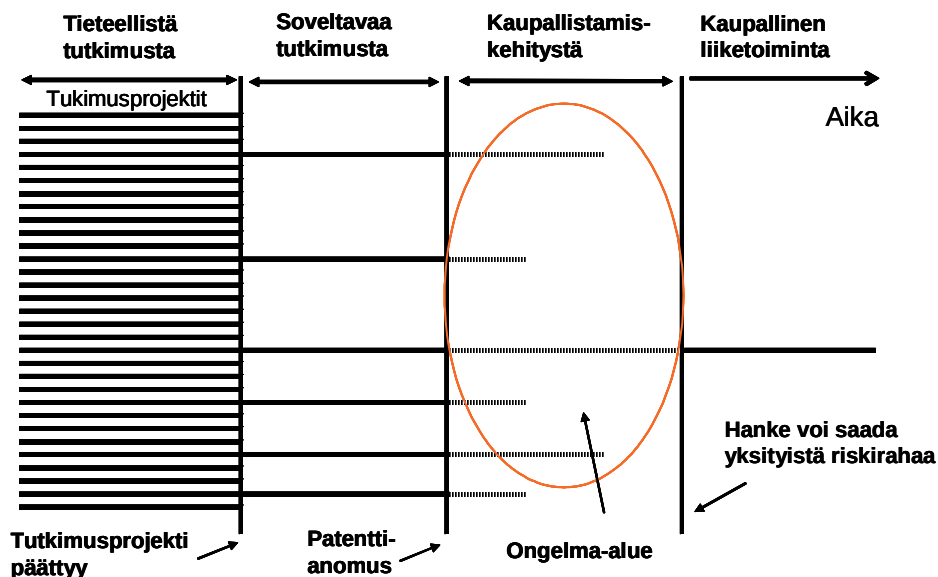
Yksi DND-menetelmän eduista on monipuolisuus lähtöaineiden suhteen. Menetelmä hyväksyy raaka-aineiksi kaasu-, höyry- ja nestepohjaisia lähtöaineita. Lähtöaineet jalostuvat DND-menetelmässä nanohiukkasiksi, joilla voi edelleen seostaa tai pinnoittaa materiaaleja,

kuten esimerkiksi lasikuituja tai keraamisia laattoja ja tasolasia. Tasolasin pintavärväminen on sovellus, jossa valmistuskustannuksia voidaan huomattavasti pienentää DND-menetelmän avulla. Menetelmä on avainteknologia Liekki Oy:n ja ABR-Innova Oy:n liiketoiminnoissa. Yhteensä yritykset työllistävät tällä hetkellä vajaat 50 henkilöä.



Nämä kolme keksintöä ovat esimerkkejä siitä, *että on kestänyt pyöreästi kymmenen vuotta peruskeksinnöistä nanoteknologian kaupallistamiseen*. Toisaalta kansainvälisestäkin merkittävä innovaatiokaan ei yksin riitä laajan yritystoiminnan kehittämiseksi.

Uudempi esimerkki on Cancertargeting Technologies (CTT), <http://www.cancertargeting.com>, joka perustettiin 2001 ryhmän voitettua Suomen Venture Cup -kilpailun ja sijoituttua toiseksi kansainvälisessä Munich Entrepreneurship Competition European Workshop -kilpailussa samana vuonna. Yritys työllistää tällä hetkellä toistakymmentä henkilöä ja kaupallista läpimurtoa odotetaan.



Kuva 10. Käytännön liiketoimintaosaamista pitäisi kytkeä hankkeisiin riittävän aikaisessa vaiheessa.

Uuden, nanoteknologiaalähtöisen ja työpaikkoja luovan liiketoiminnan kannalta pullonkaulana ovat ennemminkin liiketoiminnan edellytykset kuin tutkimuslaitosten tutkimuksen tieteellinen taso tai edes innovaatiokyky.

Professori J. D. Gibbons on maininnut kymmenen tekijää, jotka ovat olennaisia korkeateknologia-alueen (Silicon Valley) kehitykselle ¹.

- Huipputaso yliopistoja ja tutkimuslaitoksia
(Universities and centres of academic excellence)
- Yrittäjiä, joilla on kaupallistettavia ideoita ja tuotteita
(Entrepreneurs with marketable ideas and products)
- Business-enkel ja vakiintuneita siemenrahastoja
(Business angels and established seed funds)
- Varhaisen vaiheen riskirahoitus
(Sources of early stage venture capital)
- Menestyvien suuryritysten muodostama ydin
(Core of successful large companies)
- Laadukkaat johtoryhmät ja kyvykkyyttä
(Quality management teams and talent)
- Toimintaa tukeva infrastruktuuri
(Supportive infrastructure)
- Edulliset tilat laajentamista silmälläpitäen
(Affordable space for growing businesses)
- Pääomamarkkinoiden läheisyys
(Access to capital markets)
- Miellyttävä elinympäristö ja asuminen
(Attractive living environment and accommodation)

Helsingin seudulla monet näistä tekijöistä ovat kohtuullisessa kunnossa, mutta erityisesti varhaisen vaiheen rahoituksen saaminen ja pätevien henkilöiden kokemuksen hyödyntäminen vaativat lisäponnisteluja.

Uusien kasvuyritysten synnyttämiseksi ehdotamme tukitoimia, joiden avulla

1. pyritään tukemaan kilpailukykyisen *jo olemassa olevan nanoteknologian osaamisen* liiketaloudellista hyödyntämistä laajemmin (esim. uudet yhteistyökuviot).
2. selvitetään seudullisten pk-nanoteknologiayritysten kasvumahdollisuuksia, jonka jälkeen pyritään kohdentamaan rahoitusta ja muita tukitoimia kaikkein lupaavimpiin yrityksiin.

¹ "Gibbon's top ten", J.D. Gibbons, Stanford University, 1998. This list was given by prof. Alan Barrell (Cambridge, UK) in his presentation at the Second Annual Conference of the Technopolicy Network, June 2005, Helsinki, Finland

3. käynnistetään hankekokeilu, jonka tavoite on synnyttää vähintään yksi elinkelpoinen ja potentiaalinen nanoteknologian kasvuyritys vuodessa.
4. pyritään tukemaan sellaisten osaamiskeskittymien syntymistä, joissa huippututkijat työskentelevät yhdessä hyödyntäjien kanssa samassa infrastruktuurissa.

Kahdessa ensimmäisessä kohdassa pyritään toimimaan yhteistyössä esim. Sitran, Technopolis Venturesin, Tekesin, alueen kaupunkien ja elinkeinoelämän edustajien kanssa. Tähän liittyvä yksityiskohta on, miten voitaisiin huomioida yritysten IPR-omaisuutta kirjanpitoarvoa realistisemmin vakavaraisuutta arvioitaessa.

Rahoituksen lisäksi on tärkeää luoda verkosto osajista, jotka omalla kokemuksellaan ja työpanoksellaan pystyvät tukemaan uusia yrityksiä. Kyse ei ole pelkästään ”mentorshipistä”, vaan myös osallistumisesta operatiiviseen toimintaan. Sitran Diili-ohjelmassa on tällaisia piirteitä¹. Mukaan tulisi saada erityisesti yrittäjäkokemusta omaavia henkilöitä. Uskomme, että ikäluokassa 55+ on vajaakäytössä olevaa osaamispotentiaalia, jota voitaisiin kytkeä mukaan toimintaan.

Hankekokeilu voisi mahdollisesti olla osa nykyistä Venture Cup -kilpailua. Siihen sisältyisivät lisäksi seuraavat erikoispiirteet:

- Valinnassa ryhmän henkilöiden osaamistausta on liiketoiminta-ajatuksen ohella tärkeää. Teknologia on yksi väline.
- Liiketoiminta lähtee tarpeesta, jonka ratkaisemiseksi tarvitaan nanoteknologiaa (eli kyse ei ole enää teknologian perustutkimuksesta).
- Palkintona olisi ryhmän rahoittaminen useita vuosia kunnes joko
 - voidaan perustaa yritys, tai
 - hanke lopetetaan.
- Ryhmän koko olisi noin 4 henkilöä (myös yrittäjä-/liikejohtamisosaamista) ja sitä johdettaisiin ikään kuin kyse olisi yrityksestä.
- Ryhmän tukena olisi oma, kokeneista henkilöistä (etenkin yrittäjistä) koostuva tukiryhmä, jonka vastuulla on
 - suositella / olla suosittelematta rahoitusta
 - muuttaa ryhmän kokoonpanoa tarvittaessa
 - tukea ryhmää liiketoiminnan kehittämisessä, ja
 - avustaa kontaktien luomisessa.
- Tukiryhmän jäsenet saavat alussa pienen korvauksen työstään, mutta hankkeen edetessä he joutuvat ottamaan kohtuullisen oman taloudellisen riskin.
- Yritys perustetaan kun todellinen asiakas/asiakaskunta on löytynyt, jolloin osallistuneille henkilöille annetaan merkittävät omistussuodet (aikaisemmin sovitun kaavan mukaan).

Hankekokeiluun toivotaan sekä julkista että yksityistä rahoitusta. Panostus olisi merkittävä (luokkaa 2 milj. euroa vuodessa).

¹ <http://194.100.106.125/FMPro?-DB=news.fp5&-Format=diili.html&-view>

4.3. Yhteenveto tarvittavista toimenpiteistä

1. Perustetaan Helsinki Region Nanotechnology Initiative, joka toimii Helsingin seudun nanoteknologian yhteistyöfoorumina. HRNI:n organisaatio olisi kevyt ja sitä tukisi sekä tieteellinen tukiryhmä (vastuualueena tutkimus, koulutus) että teollinen tukiryhmä (vastuualueena liiketoimintaa edistävät toimenpiteet).
2. Luodaan tukitoimet, joiden tavoite on nopeuttaa lupaavimpien nanoteknologiayritysten kehitystä merkittäviksi työnantajiksi lähivuosina.
3. Käynnistetään seudullinen nanoteknologian opetus. Siihen liitetään innovaatiotoimintaan ja kaupallistamiseen (mukaan lukien yrittäjyyteen) liittyvää opetusta.
4. Pyritään saamaan rahoitusta, jolla tuetaan valikoiden suomalaisten opiskelijoiden nanoteknologian kouluttautumista ulkomailla ja ulkomaisten opiskelijoiden kouluttautumista maassamme.
5. Luodaan kannustimia, jotka rohkaisevat professoreita ja tutkijoita tekemään tarvelähtöistä tutkimustyötä (esimerkiksi vuoden innovaattoritutkija).
6. Käynnistetään kohdan 4.2 lopussa kuvattu hankekokeilu ja etsitään siihen rahoitus.
7. Pyritään tukemaan voimakkaiden osaamiskeskittymien syntymistä nanoteknologian alalle.

5. Johtopäätökset

Nanoteknologian vuotuinen julkinen tutkimusrahoitus on maailmanlaajuisesti yhteensä yli 3 miljardia euroa, joka jakautuu maantieteellisesti kutakuinkin tasan Aasian, Amerikan ja Euroopan välillä. Yksityisen sektorin panostus on samaa luokkaa. Kuluneen vuosikymmenen aikana rahoituksen vuotuinen kasvu on ollut keskimäärin reilut 25 %.

Suomen osuus maailman julkisen sektorin nanoteknologian panostuksesta on noin 0,5 %. Maan koon huomioon ottaen Suomi on pysynyt kohtuullisen hyvin mukana alan tutkimuksen kehityksessä, mutta meidän resurssimme riittävät kansainväliselle tasolle vain kapeilla osaamisalueilla. Koska tieto leviää nykyisin nopeasti maailmanlaajuisesti, korostuvat tiedon löytämisen ja mahdollisuuksien oivaltamisen tärkeys teknologiakilpailutekijöinä perustutkimuksen rinnalla.

Helsingin seudulla on kansallisesti keskeinen rooli sekä nanoteknologian opetuksessa, tutkimuksessa että liiketoiminnan edistämisessä. Helsingin yliopisto, Teknillinen korkeakoulu ja VTT muodostavat yhdessä pohjoismaisessakin mittakaavassa Öresund Regionin ohella merkittävän nanoteknologian keskittymän, joka vastaa noin puolesta maamme julkisen sektorin rahoittamasta nanoteknologian tutkimustoiminnasta. Tavoitteeksi pitäisi asettaa Helsingin seudun nostaminen Pohjoismaiden ja Itämeren alueen merkittävimmäksi nanoteknologian keskittymäksi, joka tunnetaan erityisesti kyvystään luoda nanoteknologiaa hyödyntävää liiketoimintaa.

Nanoteknologian opetusta ja tutkijakoulutusta on jo nyt alettu koordinoida Helsingin yliopiston ja Teknillisen korkeakoulun välillä. Erillistä nanoteknologian tutkintoa ei suositella, vaan sen ottamista mukaan syventämisaineeksi. Perusopetuksessa pitäisi erityisesti kiinnittää huomiota ongelmanratkaisuun ja luovuuteen. Tohtorien laatu on lukumäärää tärkeämpi. Opintojen suorittamista ulkomaalaisissa huippuyliopistoissa tulisi kannustaa. Yhteistyötä suositellaan myös Helsingin seudun kauppakorkeakoulujen, Taideteollisen korkeakoulun ja ammattikorkeakoulujen kanssa, koska nanoteknologian perusopetukseen ja tutkijakoulutukseen tulisi liittää kaupallistamista ja soveltamista tukevaa opetusta. *Tärkeää olisi hyödyntää opetuksessa henkilökohtaista liike-elämän kokemusta omaavia henkilöitä.* Toisena tavoitteena olisi henkilöverkostojen laajentaminen. Tarvitsemme sekä *nanoteknologian uusia aluevaltauksia hallitsevia tutkijoita* että nanoteknologian osaajia, jotka *pystyvät kaupallisesti merkittävien mahdollisuuksien tunnistamiseen.* Kaupallistamista voi tapahtua monella eri tavalla.

Helsingin seudun tutkimuslaitoksista on ryhmiä, jotka tekevät kansainvälisestikin merkittävää tutkimusta. Yhdistämällä tiiviimmin tätä osaamista voidaan luoda entistä paremmat edellytykset kansainvälisen huipun saavuttamiseksi muutamalla nanoteknologian alueella. Tieteellisen tutkimustyön pitäisi tukea sekä maamme elinkeinoelämän osaamistarpeita että ennakkoluulottomia uusia avauksia. Panostaminen vahvoihin yksiköihin on edellytys huipun saavuttamiseksi. Helsingin seudun tutkimuslaitoksilla on tähän maamme oloissa hyvät valmiudet. VTT täydentää tärkeällä tavalla kokonaisuutta soveltavan tutkimuksen osalta. Nanoteknologian tutkimusvälineiden suhteellinen kalleus puoltaa usein niiden sijoittamista Helsingin seudulle, missä on parhaat edellytykset niiden mahdollisimman tehokkaaseen ja laajaan käyttöön.

Yritysten tutkimus- ja kehitystarpeiden tukemiseksi on Tekesin johdolla maahamme luotu toimivat järjestelmät, jotka tukevat esimerkiksi kansallisesti tärkeiden yritysklustereiden tarpeita (ICT, elektroniikka, metalli, puunjalostus ja kemia). Helsingin seudun tutkimuslaitosten osuus FinNano-ohjelman Tekesin tutkimusrahoituksesta on noin 40 %, josta VTT Espoon osuus on lähes puolet. Soveltavassa tutkimustyössä Helsingin yliopiston ja osittain myös Teknillisen korkeakoulun yhteyksiä teollisuuteen voidaan edelleen parantaa nanoteknologian osalta. Professoreita ja tutkijoita pitäisi entistä enemmän kannustaa pitämään yhteyttä yksittäisiin yrityksiin. Yksi keino olisi antaa enemmän arvoa tälle työlle virkoja täytettäessä. Toinen voisi olla palkintojen myöntäminen hyvistä teolliseen innovaatioon liittyvistä suorituksista.

Olemassa olevien yritysten tutkimus- ja koulutustarpeet ovat ensiarvoisen tärkeitä ja niitä pitäisi priorisoida. Tärkeä kohderyhmä Uudenmaan kannalta on annettu liitteessä 5. On kuitenkin varauduttava siihen, että tulevina vuosina osa yrityksistä siirtää toimintoja ulkomaille kovenevan kilpailun seurauksena. Siksi pitää kiinnittää huomiota myös uusien kasvuyritysten synnyttämiseen. Nanoteknologia avaa tähän mahdollisuuksia, joita voidaan tukea alueellisilla toimenpiteillä. Kyse ei ole siitä, että pelkästään tutkimusta tukemalla ja teknologiayrityksiä perustamalla pystytään kädenkäänteessä luomaan merkittäviä työnantajia, eikä tähän tule asettaa epärealistisia odotuksia. Päinvastoin on kyse monista toimenpiteistä, joiden tulos nähdään vasta vuosien päästä. Jo menestyksellisesti kaupallistetun nanoteknologian osaamisen hyödyntäminen laajemmin antaa hyvän lähtökohdan, kuten myös kasvupotentiaalia omaavat jo muutaman vuoden toimineet nanoteknologian pienyritykset.

Uuden, nanoteknologialähtöisen ja työpaikkoja luovan liiketoiminnan kannalta pullonkaulana ovat ennemminkin liiketoiminnan edellytykset kuin tutkimuslaitosten tutkimuksen tieteellinen taso tai innovaatiokyky. Vaikka lähtökohtana olisivat huipputason teknologia ja riittävän suuret markkinat, haasteena on liiketoiminnan kasvun hitaus, joka johtuu sekä riskirahoituksen niukkuudesta, uuden teknologian soveltamistahdistista että oman teknologian kehittämisestä kaupallistamiskuntoon.

Toivon mukaan uusia, yrittäjyyttä tukevia malleja, kuten tässä ehdotettua hankekokeilua, voitaisiin soveltaa Helsingin seudulla. Tähän on kytkettävä sekä valtiovalta, alueen kaupungit, teknologiapuistot että yksityisiä sijoittajia.

Konkreettiseksi mitattavaksi välitavoitteeksi tulisi asettaa, että yritykset, joille nanoteknologia muodostaa ydinosaamisen, työllistäisivät vähintään 1 000 henkilöä Uudellamaalla vuonna 2010.

Nanoteknologian hyödyntämisen kannalta pidetään tärkeänä, että muodostetaan alueellinen nanoteknologiakeskus, NRNI (Helsinki Region Nanotechnology Initiative), joka keskittyisi sellaisiin opetuksen, tutkimuksen ja liiketoiminnan edistämiseen liittyviin kysymyksiin, joissa nähdään yhteistä seudullista etua.

Tavoitteena olisi kevyt organisaatio, jota tukevat aktiivisesti tieteellisestä tutkimuksesta ja akateemisesta opetuksesta vastaava työryhmä, ja soveltavasta tutkimuksesta ja liiketoiminnan edistämisestä vastaava työryhmä. Kyse ei ole uusien tutkimustilojen rakentamisesta, eikä merkittävien uusien organisaatioiden luomisesta, vaan opetuksen koordinoinnista, tutkimusyhteistyön lisäämisestä (esim. laitehankinnat) ja toimenpiteistä nanoteknologiaa hyödyntävän liiketoiminnan tukemiseksi.

LIITE 1

Nanoteknologian julkaisumäärät maittain (Nanojulkaisujen määriä, Patentti- ja julkaisuselvitys, Tiedonhaku nro 05046, R. Metsäkoivu, VTT Tietopalvelu)

NANO-profiililla CPlus-tietokannasta, vähintään yksi kirjoittaja kyseisestä maasta											
	kaikki vuodet	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Suomi											
kaikki patenttijulkaisut	36	0	1	2	2	4	7	15	17	9	
US-patenttijulkaisut	20	0	1	2	2	2	6	13	8	2	
kaikki muut julkaisut	862	14	28	45	50	54	65	84	107	112	150
Ruotsi											
kaikki patenttijulkaisut	87	1	2	6	8	14	32	32	29	23	
US-patenttijulkaisut	38	0	1	6	5	5	20	22	13	4	
kaikki muut julkaisut	2298	85	83	114	147	147	192	230	321	310	312
Norja											
kaikki patenttijulkaisut	25	3	5	9	8	2	4	5	5	3	
US-patenttijulkaisut	8	2	2	4	3	1	4	2	0	0	
kaikki muut julkaisut	194	5	8	11	9	10	12	12	13	20	31
Tanska											
kaikki patenttijulkaisut	47	2	1	3	4	5	9	8	13	16	
US-patenttijulkaisut	18	1	1	3	3	2	4	4	4	2	
kaikki muut julkaisut	988	39	40	52	56	67	85	98	97	130	145
Sveitsi											
kaikki patenttijulkaisut	194	16	18	14	23	32	30	44	53	49	
US-patenttijulkaisut	92	6	8	7	18	16	17	32	29	15	
kaikki muut julkaisut	3693	163	173	207	267	285	300	310	332	396	497
Hollanti											
kaikki patenttijulkaisut	149	8	8	17	23	20	24	32	44	45	
US-patenttijulkaisut	69	4	8	8	12	15	19	26	19	7	
kaikki muut julkaisut	3340	108	132	144	180	243	267	337	362	433	525
Iso-Britannia											
kaikki patenttijulkaisut	325	18	12	22	35	45	61	75	93	88	
US-patenttijulkaisut	125	12	6	12	21	33	43	52	36	12	
kaikki muut julkaisut	9557	359	420	489	573	691	764	897	984	1195	1332
Saksa											
kaikki patenttijulkaisut	1579	46	69	102	177	262	335	350	383	325	
US-patenttijulkaisut	503	21	31	57	91	109	160	183	128	45	
kaikki muut julkaisut	18861	675	883	1058	1372	1490	1709	1982	2165	2507	2668
Japani											
kaikki patenttijulkaisut	5299	124	120	176	250	360	579	851	1487	1436	
US-patenttijulkaisut	799	33	34	59	59	88	170	257	228	158	
kaikki muut julkaisut	30936	868	1210	1497	1900	2260	2455	3259	3707	4966	4566
USA											
kaikki patenttijulkaisut	5569	284	368	451	593	831	1105	1495	1791	1410	
US-patenttijulkaisut	4588										
kaikki muut julkaisut	71899	2379	3063	3508	3795	4234	5244	6488	7679	10497	11086
Ranska											
kaikki patenttijulkaisut	567	30	42	47	53	77	101	119	140	113	
US-patenttijulkaisut	261	19	31	36	38	44	66	77	50	14	
kaikki muut julkaisut	11828	456	572	678	770	821	932	1095	1209	1458	1528
Vuositiedot on tehty patenteissa prioriteettivuodella, julkaisuissa julkaisuvedolla.											

LIITE 2

Katsaus muutaman Euroopan maan nanoteknologiatutkimustilanteeseen

Alankomaat

EU komission arvion mukaan Alankomaiden julkinen panostus nanoteknologiaan, 50 milj. euroa vuonna 2003, oli maailman korkeimpia asukasta kohti laskettuna (3,1 €)¹. Tärkein yksittäinen tekijä Alankomaiden nanoteknologiatoiminnassa on NanoNed-verkosto (tarkemmin: <http://www.nanoned.nl>), johon kuuluu viisi yliopistoa ja Philips. Alankomaiden hallitus on hiljattain päättänyt rahoittaa NanoNediä 235 milj. eurolla seuraavan viiden vuoden aikana². Summasta investoidaan 85 milj. euroa nanoteknologian tutkimuslaitteistoihin, (infrastruktuuriin, ”NanoLab”.), jotka keskitetään Delftiin (TNO and Kavli), Groningeniin (MSCplus/BioMaDe) ja Twenteen (MESA+). NanoNedin puitteissa toimii yksitoista tutkimusohjelmaa, ns. ”lippulaivaa”, jotka on valittu sekä tieteellisiä että teollisia näkökohtia perusteella. Kussakin tutkimusohjelmassa työskentelee keskimäärin 50 henkilöä ja ohjelmiin osallistuu yhteensä noin 200 projektia.

Alankomaiden hallitus päätti vuonna 2003 perustaa ”Innovation Platformin” tavoitteena parantaa tutkimustulosten kaupallista hyödyntämistä. Tähän myös muita kuin nanoteknologiaa rahoittavaan hankkeeseen varattiin 185 milj. euroa.

The Institute of Nanotechnologyn mukaan nanoteknologian pk-yrityksiä on Alankomaissa suhteellisen vähän¹. Tärkeimpänä pidetään Twenten yliopistoston (MESA+) spin-off-yritysten muodostamaa klusteria. Suuret alankomaiset yritykset kuten Akzo Nobel, ASM, ASM Lithography, Shell ja Philips panostavat nanoteknologiaan, usein myös yhteistyössä ulkomaisten tutkimuslaitosten kanssa.

Lux Research ei mainitse yhtään alankomaista yritystä ”Top European” -nanoteknologia-yritysten joukossa³.

Iso-Britannia

Kauppa- ja teollisuusministeriö eli DTI (Department of Trade & Industry) käynnisti Iso-Britanniassa ensimmäisen nanoteknologian tutkimusohjelman jo 1986, mutta 1990-luvulla toiminta laantui⁴. DTI teki uuden nanoteknologia-aloitteen 2001, minkä tuloksena seuraavana vuonna syntyi Taylor-raportti⁵. Siinä kiinnitettiin vakavaa huomiota nanoteknologian tarjoamiin haasteisiin ja erityisesti siihen miten nanoteknologian tutkimustoiminta voisi paremmin tukea maan teollisuutta. Raportissa hallitusta kehoitettiin toimimaan kuudella eri osa-alueella. Yksi suositus oli kansallisten nanoteknologian valmistuskeskusten perustaminen (National Nanotechnology Fabrication Centres). Perusteltuna nähtiin investoida

¹ KOMISSION TIEDONANTO, Tavoitteena eurooppalainen nanoteknologiastrategia, Bryssel, 12.5.2004

² <http://www.nanoned.nl/News/> (15.4.2005)

³ Lux Research, The Nanotech Report 2004

⁴ ”Research, Applications and Markets in Nanotechnology in Europe 2005”, The Institute of Nanotechnology (May, 2005)

⁵ ”New Dimensions for Manufacturing - A UK Strategy for Nanotechnology”, Report of the UK Advisory Group on Nanotechnology Applications submitted to Lord Sainsbury Minister for Science and Innovation by Dr John M Taylor, Chairman. June, 2002

kahteen valmistusta tukevaan keskukseseen, joihin tulisi alkuvaiheessa investoida noin £25 milj. (noin 36 milj. euroa) vuodessa. Laitoskohtaista rahoitusta nostettaisiin vuoteen 2008 mennessä arviolta £ 75 miljoonaan. Keskeisinä painopistealueina mainittiin elektroniikan ja kommunikaation tarpeet, lääkkeiden jakelujärjestelmät, kudosten valmistus (implantit), nanomateriaalit (bio-/lääketiede/toiminnallinen rajapinta), instrumentit ja metrologia, sekä sensorit ja aktuaattorit.

Iso-Britannian hallitus on lisännyt nanoteknologiasaustaan vuodesta 2001 alkaen. Erityisesti on panostettu nanoteknologian tutkimuskeskuksiin Newcastlen ja Durhamin yliopistoissa sekä poikkitieteelliseen tutkimuskeskukseen Cambridgen ja Oxfordin yliopistojen välillä. Jälkimmäistä hanketta hallitus oli rahoittanut vuoteen 2003 mennessä yli £20 miljoonalla. Yleinen pelko Iso-Britanniassa on, että yritykset eivät panosta nanoteknologiaan ajoissa, jolloin yliopistoissa tehdyn tutkimuksen hyödyt jäävät käyttämättä teollisuudessa².

EU-komission arvion mukaan Iso-Britannian julkinen panostus nanoteknologiaan oli 130 milj. euroa vuonna 2003. Tämä on EU:n keskitasoa alhaisempi asukasta kohti laskettuna (2,2 €)¹. The Institute of Nanotechnologyn esittämiin lukuihin verrattuna luku vaikuttaa kuitenkin suurelta.

Iso-Britannian hallitus ilmoitti vuonna 2003 panostavansa £ 90 milj. (noin 131 milj. euroa) nanoteknologian tulosten kaupallistamiseen. Painopistealueita ovat nanomateriaalit, nanobioteknologia, nanokarakterisointi ja nanovalmistus (pii, MEMS, polymeerit ym.). Rahoituksesta 55 % ohjautuu yritysten ja tiedeyhteisön väliseen soveltavaan tutkimukseen ja 45 % uusien ja olemassa olevien tutkimuslaitosten verkoston rakentamiseen.

Iso-Britanniassa on laajasti käsitelty nanoteknologiaan liittyviä terveysriskejä ja haittoja. The Royal Society and the Royal Academy of Engineering ovat vuonna 2004 yhdessä julkaisseet raportin aiheesta². Greenpeacen toimeksiannosta tehdyssä raportissa ”Future Technologies, Today’s Choices” käydään asiallista keskustelua nanoteknologian riskeistä³.

Iso-Britanniassa toimii useita suuryhtiötä, jotka hyödyntävät kehitystyössään nanoteknologiaa (AstraZeneca, GlaxoSmithKline, Hitachi, Pilkington jne). Uusimmista yrityksistä voidaan mainita CDT (Cambridge Display Technologies, OLED-materiaalikehitys) ja Oxonica (Oxford, CeO₂-katalyyttiin perustuva dieselöljyn lisäaine ym.).

Lux Research lukee ”Top European” -nanoteknologiayritysten joukkoon NanoMagneticsin, QuinetiQ Nanomaterialsin, pSiMedican ja Oxonican⁴. The Institute of Nanotechnologyn raportissa ”Research, Applications and Markets in Nanotechnology in Europe 2005” mainituista nanoteknologian yrityksistä löytyy useita fotonikan ja optoelektroniikan yrityksiä, joita ei välttämättä voida pitää nanoteknologiayrityksinä.

¹ KOMISSION TIEDONANTO, Tavoitteena eurooppalainen nanoteknologiasta strategia, Bryssel, 12.5.2004

² ”Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties”, The Royal Society and the Royal Academy of Engineering, 29.7.2004

³ ”Future Technologies, Today’s Choices” (a report for the Greenpeace Environmental Trust), Alexander H. Arnall, July 2003

⁴ Lux Research, The Nanotech Report 2004

Norja

Norjes Forskningsråd myöntää Norjan valtion tutkimusavustukset sekä perustutkimukseen ja soveltavaan tutkimukseen. Norjes Forskningsråd on valinnut nanoteknologian ja uudet materiaalit uusiksi panostusalueiksi, mikä johti NANOMAT-ohjelman (2002-2006) perustamiseen. Vuodesta 2004 alkaen NANOMAT on ollut yksi Norjes Forskningsrådetin seitsemästä suuresta tutkimusohjelmasta. Painopistealueena on uusien materiaalien kehittäminen pääkohteena funktionaaliset materiaalit. Ohjelman perustamisvaiheessa tavoitteena oli, että rahoitus nostettaisiin 140 milj. Nkr (noin 17 milj. euroa) vuoteen 2006 mennessä. Vuonna 2003 rahoitus oli noin 7 miljoonaa euroa ^{1,2}.

NANOMAT-ohjelmassa arvioidaan projektihakemukset kahdessa vaiheessa. Ensin tehdään tieteellinen arviointi ulkopuolisten asiantuntijoiden avustuksella. Tämän jälkeen korkeakoulujen ja teollisuuden yhteinen johtoryhmä arvioi, miten tieteellisesti parhaat hakemukset tulevaisuudessa hyödyttävät norjalaista teollisuutta ja ylipäänsä Norjan talouselämää ³.

Tieteellispainotteisten valintakriteerien on todettu olevan osin epäonnistuneita, joten elinkeinoelämän näkemystä aiotaan lisätä hankkeita arvioinnissa ⁴.

Yhteenvedona voidaan sanoa, että Norjan NANOMAT-ohjelma on varsin selvästi keskittynyt energiatekniikkaan (so. vetyteknologiaan ja katalyyttitekologiaan, esim. huokoiset oksidit) ja elektroniikan oksidimateriaaleihin.

Norjassa toimivia nanoteknologiayrityksiä ovat Nanoinvestors New:sin ⁵ mukaan Alertis Medical AS (www.alertis.no), Dynal Biotech ASA (www.dynalbiotech.com), n-Tec (CNT, start-up), Norchip (www.norchip.no), Ignis ASA (www.ignis.com), Presens AS (www.presens.com) ja Sensoror ASA (www.sensoror.no; kuuluu Infineon-konserniin). Osaa näistä yrityksistä voidaan pitää pikemminkin MEMS-yrityksinä.

Dynal Biotech ASA, www.dynalbiotech.com, on yksi magneettisen separoinnin uranuurtajia. Vuonna 1986 perustettu yritys nojaa professori John Ugelstadin vuonna 1979 tekemään nanohiukkasten supermagnetismiin liittyvään keksintöön. Dynal Biotechin liikevaihto oli 524 milj. Nkr (noin 64 milj. euroa) vuonna 2003 ja yritys työllisti noin 400 henkilöä. Mielenkiintoista on se, että myös Suomessa perustettiin 80-luvulla yritys tämän saman idean pohjalta, mutta suunnitelmia ei lähdetty toteuttamaan määrätietoisesti ⁶.

Lux Research ei mainitse yhtään norjalaista yritystä ”Top European” -nanoteknologiayritysten joukossa.

Ranska

EU-komission arvion mukaan Ranskan julkinen panostus nanoteknologiaan oli 180 milj. euroa vuonna 2003. Rahoitus oli asukasta kohti laskettuna maailman korkeimpia heti Alan-komaiden jälkeen (3,0 €) ja näin ollen myös yli EU:n keskitason ⁷. Ranskalaiset julkaisivat

¹ KOMISSION TIEDONANTO, Tavoitteena eurooppalainen nanoteknologiasta strategia, Bryssel, 12.5.2004

² ”Norjan nanotutkimus”, Runar Törnqvist, lokakuu 2004

³ Peter Lund, TKK (osallistunut NANOMAT-arvioitiin)

⁴ Astrid Brenna, Norjes Forskningsråd, epävirallinen kommentti

⁵ www.nanoinvestornews.com

⁶ Juhani Luotola

⁷ KOMISSION TIEDONANTO, Tavoitteena eurooppalainen nanoteknologiasta strategia, Bryssel, 12.5.2004

maailmassa viidenneksi eniten nanoteknologian tieteellisiä artikkeleita vuosina 1997-1999. He tekivät myös neljänneksi eniten nanoteknologian patenttihakemuksia vuosina 1991- 1999¹.

Ranskassa on toteutettu kolme nanoteknologiaa tukevaa ohjelmaa. ”Programme National Nanosciences”, eli kansallinen nanotieteiden ohjelma tukee julkisen sektorin perustutkimusta. Ohjelman rahoitus oli 17 milj. euroa vuonna 2004³. Toinen on RMNT-verkosto (Réseau de Recherche en Micro et Nano), jonka tavoitteena on tukea teknologiansiirtoa julkisten perustutkimuslaitosten ja teollisuuden välillä, ja kolmas kansallinen nanoteknologian infrastruktuuriohjelma. Nämä ohjelmat on päätetty yhdistää yhdeksi kansallisen nanotieteiden ja nanoteknologian verkostoksi (ohjelmaksi), R3N:ksi (Réseau National en Nanosciences et Nanotechnologies). Samalla valtion rahoitus nostetaan 40 milj. eurosta 70 milj. euroon. Varat on tarkoitettu kanavoitua kuuteen merkittävään nanokeskukseen (Grandes Centrales de Nanotechnologie) infrastruktuurin parantamiseksi, julkisten tutkimuslaitosten välisiin nanotieteen perustutkimushankkeisiin sekä tutkimuslaitosten ja teollisuuden välisiin T&K-hankkeisiin. R3N tavoittelee keskitettyä koordinoitua, jossa mainitut kuusi nanoteknologiakeskusta muodostavat selkärangan.

Ranskan tärkein nanoteknologiakeskus on Minatec, johon on investoitu 170 milj. euroa. Sen taustavoimia ovat CEA-LETI ja INP Grenoble (Institut national polytechnique). Minatecista kaavaillaan yli 3 000 tutkijan keskusta (www.minatec.com). Sen on tarkoitus tehdä tutkimusta, tukea teollisuuden kehityshankkeita ja kouluttaa uusia osaajia. Grenoblesta aiotaan tehdä kansainvälisesti merkittävä tutkimuskeskus, joka keskittyy nanoteknologiasovellusten kehittämiseen optoniikan, elektroniikan ja magnetismin alueilla. Esimerkkinä tutkimuslaitoksen ja teollisuuden yhteistyöstä voidaan mainita Crolles II-hanke, jossa ovat mukana Motorola, Philips ja ST Microelectronics. Se aikoo rakentaa seuraavan sukupolven IC-pilottitehtaan Grenoble läheisyyteen. Tarkoituksena on investoida yhteensä 2,8 miljardia euroa¹.

Ranskan nanoteknologian tutkimusta pyritään ohjaamaan keskitetysti. Voimavaroja on kohdistettu muutamaa huippututkimuslaitokseen. Ranska panostaa erityisesti mikroelektroniikan jatkokehitystä tukevaan nanoelektroniikkaan.

Ranskassa toimii useita nanoteknologiaa kehittäviä ja hyödyntäviä yrityksiä. Kosmetiikan alan L'Oréal on ollut maailman aktiivisimpia yrityksiä nanoteknologian patentoinnissa. Muita esimerkkejä suuryrityksistä ovat ST Microelectronics ja Rhodia.

Lux Research mainitsee hiilinanoputkia hyödyntävän Nanoledgen ”Top European” –nanoteknologiayritysten joukossa.

Ruotsi

Ruotsin tärkeimmät nanoteknologiaturkimuksen rahoittajat ovat SSF (Stiftelsen för strategisk forskning), VR (Vetenskapsrådet), VINNOVA ja yksityinen Knut och Alice Wallenberg stiftelsen. Julkisen sektorin nanoteknologiapanoksen suuruudesta on hyvin erilaista tietoa. EU-komission tiedonannossa mainittiin 15 milj. euroa vuonna 2003, kun taas the Institute of Nanotechnology mainitsee summan 29,7 milj. euroa. Ruotsissa vuonna 2003

¹ ”Research, Applications and Markets in Nanotechnology in Europe 2005”, The Institute of Nanotechnology (May, 2005)

tehdyssä raportissa todetaan, että valtion nanoteknologian ja nanotieteiden rahoitus SSF:ltä ja VR:ltä oli yhteensä noin 50 milj. Skr (noin 5,5 milj. euroa) ¹. HelsinkiNano-hankkeessa tehdyssä selvityksessä arvioidaan julkisen rahoituksen olevan 50 -70 milj. Skr (noin 7 milj. euroa). Erot johtuvat lähinnä siitä, miten suppeasti tai laajasti nanoteknologia-käsite rajataan ja mitä kustannuksia lasketaan mukaan. Tämä on samalla konkreettinen esimerkki epätarkkuuksista, joita liittyy nanoteknologian panostusten arviointeihin.

Ruotsin tärkeimmät nanoteknologian tutkimuslaitokset löytyvät Göteborgista, Linköpingistä, Lundista, Tukholmasta ja Uppsalasta. Lundin teknillisessä korkeakoulussa on jo 15 vuotta tehty nanoteknologian kvanttimateriaalin perustutkimusta. Sovellutukset tähtäävät ennen kaikkea elektroniikan ja optoelektroniikan komponentteihin. Suppeasti määriteltynä nanoteknologian parissa työskentelee noin 80 tutkijaa. Lundin teknilliseen korkeakouluun on vuonna 2003 muodostettu nanotekniikan opetussuunta, johon otettiin 40 opiskelijaa viime syksynä. Opetuksen ammattiaineet ovat nanofysiikka, nanoelektroniikka, nanomateriaalit ja nanobio/-lääketiede.

Toinen merkittävä nanoteknologian keskus on Chalmersin teknillisen korkeakoulun yhteyteen rakennettu 1 000 m² puhdastilaa sisältävä MC2-laboratorio, joka on tunnettu erityisesti hiilinanoputki- ja fullereenitutkimuksestaan. Tavoitteena on hyödyntää hiilinanorakenteita tulevaisuuden elektroniikkakomponenteissa.

Linköpingin teknillisen korkeakoulussa on korkeatasoista nanoteknologian ohutkalvomateriaaliosaamista, jota on kehitetty yhteistyössä SKF:n ja ABB:n kanssa.

Yliopistojen ja korkeakoulujen lisäksi nanoteknologiaan liittyvää tutkimusta tehdään Acreossa (www.acreo.se, mikroelektroniikkaa ja optiikkaa), STFI/Packforskissa (pakkausmateriaalit, puunjalostusteollisuus) ja IFP Researchissä (kuitu- ja polymerimateriaalit).

Suuremmista nanoteknologian sovellutuksia kehittävästä yrityksistä voidaan mainita ABB, Saab MicroTech AB, AstraZeneca ja Sandvik. Uusia alan yrityksiä ovat muun muassa Genovis (www.genovis.com), Gyros (www.gyros.com), Impact Coatings (www.impactcoatings.se), Micromuscle (www.micromuscle.com/1024.htm), Nanofactory (www.nanofactory.com), Nanoxis (www.nanoxis.com), Obducat (www.obducat.com).

Obducat on yksi Lundin yliopistosta syntynyt mikro- ja nanokuviointiosaamista omaava yritys, jota sijoittajat pitävät varsin mielenkiintoisena. Siinä työskentelee noin 40 henkilöä. Nanoxis, joka on peräisin Chalmersin teknillisestä korkeakoulusta, on kehittämässä nestekide- ja polymeerirakenteisiin perustuvaa uudentyyppistä biosirua.

Lux Research listaa Nanoxin ”Top European” -nanoteknologiayritysten joukkoon.

Saksa

Saksa on ollut kolmanneksi aktiivisin maa maailmassa verrattaessa niin nanoteknologian julkaisujen kuin patenttien määrää. Euroopassa Saksa on nanoteknologiarahoituksessa johtava maa, ja maassa lienee enemmän nanoteknologiaa hyödyntäviä yrityksiä kuin muualla Euroopassa yhteensä ². Julkinen vuotuinen nanoteknologiarahoitus oli EU-komission arvion

¹ ”Nanotechnology in the Nordics”, Nanonordic.com and Infosphere AB, 2003

² ”Research, Applications and Markets in Nanotechnology in Europe 2005”, The Institute of Nanotechnology (May, 2005)

mukaan 250 milj. euroa vuonna 2003 ¹, mutta rahoitusta on sen jälkeen kasvatettu noin 300 milj. euroon. Saksasta löytyy usea sata nanoteknologiaa hyödyntävää yritystä, 9 kansallista verkostoa ja useita alueellisia yhteistyöhankkeita ¹.

Maan tutkimusmalli onkin kerännyt kansainvälistä huomiota. Hallitus on tukenut nanoteknologiaa erillisillä hankkeilla jo 1980-luvulta alkaen. Tällä hetkellä rahoitusta saa kuusi eri puolille maata sijoittuvaa nanoteknologian osaamisverkostoa (Competence Networks) ja kolme huippuosaamisen keskusta (Centre for Excellence), minkä lisäksi paikalliset viranomaiset ovat rahoittaneet erilaisia nanoteknologiaan liittyviä projekteja. Osaamisverkostot perustettiin vuonna 1998 valmistuneen Opportunities in the Nanoworld -strategian pohjalta.

Liittohallituksen nanoteknologian rahoituskanavia ovat projektirahoituksen lisäksi tutkimusinstituuttien perusrahoitus sekä teollisen yhteistutkimuksen rahoitus. Näistä projektirahoitus on kasvanut 73,9 milj. eurosta vuonna 2002 arviolta 129 milj. euroon vuonna 2005. Perustutkimuksen (23,7 milj. euroa vuonna 2005) ja teollisen yhteistutkimuksen rahoitus (145,4 milj. euroa vuonna 2005) ovat kasvaneet jaksolla vain hieman.

Yleisesti maan tukijärjestelmässä painotetaan alueellisia huippuosaamiskeskuksia sekä kansallisen tason verkottumista. Lisäksi avoimilla, ei tiettyyn teknologiaan keskittyvillä ohjelmilla, ohjataan epäsuoraa tukea pk-yrityksille. Tavoitteena on tukea yritysten ja tutkimuslaitosten yhteistyötä ja verkottumista. Nanoteknologia luetaan Saksassa niiden avainteknologioiden joukkoon, joiden odotetaan kantavan osansa kestävän kasvun (Sustainable Growth) strategisessa konseptissa.

Saksan em. nanoteknologiastategialla on kolme päätavoitetta: 1) nanoteknologian kaupallistamisen parantaminen, 2) nuorten tutkijoiden tukeminen sekä 3) mahdollisuuksista ja riskeistä käytävä julkinen keskustelu. Strategiassa on voimakas teollisuuspainotus; erityisesti pyritään markkinalähtöisten tuotteiden kehittämiseen ja sitä kautta tukemaan Saksan vientiasemaa. Rahoitusta keskitetään niille aloille, jotka ovat tärkeitä maan talouskasvulle ja kilpailukyvyille. Projektirahoituksessa priorisoidaan nanomateriaaleja, nanoelektroniikkaa ja optoelektroniikan nanoteknologiaa. Strategian laati Saksan insinöörien yhdistys VDI tiede-, tutkimus- ja teknologiaministeriön (BMBF) toimeksiannosta.

Projektirahoitusta on ohjattu useammille ohjelmille. Yksi konseptiltaan erilainen hanke tukee nanoteknologian nuoria tutkijoita. Viisivuotinen, vuonna 2002 aloitettu Key Young Scientists in Nanotechnology -ohjelma jakaa 75 milj. euroa 20:lle nuorten tutkijoiden ryhmälle. Tavoitteena on antaa nuorille tutkijoille jo varhain mahdollisuus itsenäiseen työhön.

Nanoteknologian tutkimus- ja kehitystoimintaa harjoitetaan myös useissa saksalaisissa monikansallisissa yrityksissä kuten Infineon, Daimler-Chrysler, Schott, Carl Zwiss, Siemens, Osram, Basf, Bayer and Henkel

¹ KOMISSION TIEDONANTO, Tavoitteena eurooppalainen nanoteknologiastategia, Bryssel, 12.5.2004

Uusista nanoteknologiayrityksistä voidaan mainita Blue Membranes (www.blue-membranes.com), JPK Instruments AG:n (<http://www.jpk.com>) ja Nanowax (http://www.nanowax.com/index_flash.htm).

Lux Research mainitsee JPK Instruments AG:n saksalaisten "Top European" –nanoteknologiayritysten joukossa.

Sveitsi

Sveitsin arvioidaan panostavan nanoteknologiaan toiseksi eniten Euroopassa Irlannin jälkeen kun rahoitus suhteutetaan asukasmäärään (3,4 euroa vuodessa)³. Maa rahoitti nanoteknologian tutkimusta vuonna 2003 noin 20 milj. eurolla. Sveitsi on vahvistanut osaamistaan erityisesti instrumentaatiossa, laitteissa ja sensoreissa, nanoelektronikassa ja itseorganisoituvia rakenteissa.

Tärkein nanoteknologian rahoitusohjelma on ollut vuodet 2000-2003 jatkunut Top Nano 21, jossa paino oli nanoteknologian teollisissa sovelluksissa, ja tavoitteena vahvistaa maan taloutta¹. Ohjelmassa rahoitettiin 10 milj. eurolla noin 200:ta teollista ja tieteellistä projektia. Työ kohdistui pääosin siirtämään nanoteknologiaa jo olemassa oleviin teollisiin prosesseihin.

Lisäksi vuosiin 2000-2004 ajoittunut kansallinen tutkimusohjelma NFP47 tuki supra molekulaaristen materiaalien tutkimusta 10 milj. eurolla. Ohjelmaan valittiin 21 projektia⁷. Uusin tutkimusohjelma on vuosille 2004-2007 ajoittuva Micro Nano.

Vuonna 1999 Sveitsiin luotiin muutamia osaamiskeskuksia (Competence Centre), joihin osallistuu tärkeimpiä teknologian tutkimuskeskuksia ja yliopistoja, kuten kansalliset teknologiset tutkimuslaitokset EPFL Lausannessa ja ETHZ Zürichissä. Niiden rahoituksesta pääosa suunnataan sveitsiläisille tutkimuslaitoksille ja yrityksille, mutta ulkomaisia yrityksiä voidaan hyväksyä osarahoittajiksi. National Center of Competence in Research Nanoscale Science -osaamiskeskusohjelmaa on rahoitettu 42 milj. eurolla vuosina 2001 –2005 ja Materials with Novel Electronic Properties -ohjelmaa (MaNEP) on rahoitettu 30 milj. eurolla.

Lausannen alueelle ja läntiseen, ranskankieliseen Sveitsiin sekä pohjoiseen, saksankieliseen Sveitsiin Baselin ja Zürichin alueelle on muodostunut yksityisiä ja julkisia huippuosaamisen keskuksia. Niistä voi mainita mm. yksityisen the Swiss Centre for Electronics and Microtechnologyn (CSEM, Centre Suisse d'Electronique et de Microtechnique), josta on kehittynyt tärkeä linkki yliopistotutkimuksen ja uusien teknologioiden kaupallisen hyödyntämisen välille.

Yli 120 sveitsiläisyritystä kehittää aktiivisesti nano- ja mikroteknologiaa. Niistä pääosa on pkt-yrityksiä. Merkittävimmät toimialat ovat instrumentaatio ja biotieteet. Joitakin esimerkkejä yrityksistä ovat mm. Ilford Imaging (www.ilford.ch/marly/choix_1_d.htm), Institute Straumann (www.straumann.com), Nanosurf (<http://www.nanosurf.com>) ja Zeptosens (www.zeptosens.com).

Lux Research ei mainitse yhtään sveitsiläistä yritystä "Top European" –nanoteknologiayritysten joukossa.

¹ http://www.temas.ch/nano/nano_homepage.nsf

LIITE 3

Nanoteknologiaan liittyvät laboratoriot Helsingin yliopistossa, Teknillisessä korkeakoulussa ja VTT:llä (Otaniemi)

Helsingin yliopisto: <http://www.helsinki.fi/helsingissa/hy.htm>
Teknillinen korkeakoulu: <http://www.helsinki.fi/helsingissa/tkk.htm>
VTT: <http://www.vtt.fi/helsingissa/vtt.htm>

Helsingin Yliopisto

Biotieteellinen tiedekunta

Bio- ja ympäristötieteiden laitos

Yleinen mikrobiologia <http://www.helsinki.fi/biosci/tutkimus/tutkimusryhmat.htm#ylei>

Rakennevirologian ohjelma (akatemiaprof. Dennis Bamford)
www.dblab.helsinki.fi

Biotekniikan instituutti

Rakennebiologian ja biofysiikan tutkimusohjelma

Research programme in Structural Biology and Biophysics

<http://www.biocenter.helsinki.fi/bi/>

Helsinki Bioenergetics Group (prof. Mårten Wikström)

<http://www.physics.helsinki.fi/biophysics/bioenergetics/>

Rakennevirologian ohjelma (akatemiaprof. Dennis Bamford)

www.dblab.helsinki.fi

Protein Chemistry Research Group (prof. Nisse Kalkkinen)

<http://www.biocenter.helsinki.fi/bi/protein/index.htm>

Farmasian tiedekunta

Farmaseuttisen kemian osasto (prof. Risto Kostiainen)

<http://www.biocenter.helsinki.fi/ml/farml/chemistry/chemistry.html>

- Lääkeanalytiikka

DDTC - Drug Discovery Technology Center (prof. Risto Kostiainen)

<http://www.ddtc.helsinki.fi/index.html>

Analyttinen laboratorio (dos. Raimo Ketola)

Farmasian teknologian osasto

(Prof. Jouni Hirvonen, Dos. Leena Peltonen)

www.pharmtech.helsinki.fi

- Nanoteknologiaperusteiset lääkevalmisteet

Lääketieteellinen tiedekunta

Biolääketieteen laitos

Biokemian osasto

Helsinki Biophysics & Biomembrane Group

(prof. Paavo Kinnunen) <http://www.biophysics.helsinki.fi>

- Biomolekyylien (DNA, lipidit, proteiinit) rakenteellinen dynamiikka ja spontaani organisoituminen (self-assembly) supramolekulaarisiksi rakenteiksi
- Nanopartikkeleihin (mm. liposomeihin) perustuvat geenikuljettimet sekä lääkkeiden ja kuvantamisaineiden nanopakkaus- ja kohdentamismenetelmät
- Solukalvojen lateraalinen organisaatio (Dr. Pentti Somerharju)

Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta

Fysikaalisten tieteiden laitos

Kiihdytinlaboratorio

<http://www.acclab.helsinki.fi/index.php>

- Laskennallinen materiaalfysiikka (prof. Kai Nordlund)
- Materiaalien seostaminen ja karakterisointi ionisuihkuilla (prof. Juhani Keinonen)

Röntgenfysiikan osasto

http://www.physics.helsinki.fi/%7Exray_www/

- Pehmeiden materiaalien analyysit (prof. Ritva Serimaa)
- Biofysiikka, NMR (prof. Arto Annala)
- Kiinteän olomuodon fysiikka, spektroskopia (prof. Keijo Hämäläinen)

Ilmakehätieteiden osasto

<http://www.atm.helsinki.fi/>

- Ilmakehän aerosolit (profs. Markku Kulmala ja Kaarle Hämeri)
- Aerosolimittaukset (profs. M. Kulmala/Kaarle Hämeri)
- Aerosolien terveysvaikutukset (profs. Kaarle Hämeri/M. Kulmala)
- Aerosolimallit (profs. M. Kulmala/Kaarle Hämeri)

Kemian laitos

Analyttisen kemian laboratorio (prof. Marja-Liisa Riekkola)

<http://www.analytical.chemistry.helsinki.fi>

- Miniaturisoidut instrumentaaliset analyysiteknikat
- Aerosolimassaspektrometri
- Fosfolipidi- ja lipoproteiinipäälystykset
- Ioniliikkuvuuspektrometri-massaspektrometri (prof. Tapio Kotiaho)
- Miniaturisoitu massaspektrometri (prof. Tapio Kotiaho)

Epäorgaanisen kemian laboratorio (akatemiaprof. Markku Leskelä)

<http://www.helsinki.fi/kemia/epaorgaaninen>

- Ohutkalvot
- Katalyytit ja polymerisointi

Fysikaalisen kemian laboratorio

<http://fkassistent.pc.helsinki.fi/>

- Kiinteän olomuodon spektroskopia ja fotokemia (prof. Markku Räsänen)

Polymeerikemian laboratorio (prof. Heikki Tenhu)

<http://www.chemistry.helsinki.fi/polylab/>

- Kultananohiukkaset
- Kontrolloitu radikaalipolymerointi
- Lohkopolymeerien järjestäytyminen vesiliuoksissa
- Monimutkaisien polymeerirakenteiden karakterisointi ja vuorovaikutukset
- Polymeerielektrolyyttikalvoja matalan lämpötilan polttokennoja varten

Teknillinen korkeakoulu

Automaatio- ja systeemitekniikan osasto

Systeemitekniikan laboratorio (prof. Heikki Koivo)

<http://www.control.hut.fi/default.asp>

- Mikrosysteemit ja nanoteknologia

Kemian tekniikan osasto

Epäorgaanisen ja analyttisen kemian laboratorio (prof. Lauri Niinistö)

<http://www.chemistry.hut.fi/eokem/>

- ALD-tekniikan sovellutukset

Fysikaalisen kemian ja sähkökemian laboratorio (prof. Kyösti Kontturi)

<http://www.hut.fi/Units/PhysicalChemistry/>

- Päälystetyt magneettiset nanohiukkaset
- Pienten hiukkasten pintavoimien ja pinnan hapettumisen hallitseminen
- Supramolecular Self-Assembly of Interfacial Nanostructures

Orgaanisen kemian laboratorio (prof. Ari Koskinen)

<http://www.hut.fi/Yksikot/Orgaaninen/index.html>

- Targeted organic synthesis
- Synthesis of structurally complex natural products
- Development of novel synthesis technologies
- Development of organometallic and organocatalytic chemistry for Green Chemistry applications
- Chemical biology: Understanding chemical recognition at molecular level: biological and artificial functions

Polymeeritekniikan laboratorio (prof. Jukka Seppälä)

<http://pt.hut.fi/polymeeri/> ja <http://bionanopolymers.hut.fi/>

- Polymerointi- ja polymeerikatalyysitutkimus
- Polymeerien seostus
- Biopolymeeritutkimus

Teknillisen kemian laboratorio (prof. Outi Krause)

<http://pt.hut.fi/teke/>

- Katalyytit
- ADL:n sovellukset huokoisille pinnoille

Materiaalitekniikan osasto

Metalli- ja materiaaliopin laboratorio (prof. Ari Lehto)

<http://www.hut.fi/Units/PhysicalMetallurgy>

- Nano-Silicon technology

Materiaalien valmistustekniikan ja jauhemetallurgian laboratorio

(prof. Mikhail Gasik)

<http://www.hut.fi/Units/LMP/>

- Epäorgaanisten katalyyttien, pinnoitteiden ja komposiittien valmistus

Puunjalostustekniikan osasto

Puunjalostuksen kemia (prof. Janne Laine)

<http://www.hut.fi/Yksikot/puukemia/index.html>

- Selluloosapohjaiset nanokuidut ja niiden funktionalisointi

Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto

Laskennallisen tekniikan laboratorio (prof. Jukka Tulkki, prof. Kimmo Kaski)

- Theoretical and computational study of nanomaterials and structures (<http://www.lce.hut.fi/research/atomic/>)
- Computational modelling of nano- and microsystems (<http://www.lce.hut.fi/research/nanotech/>)
- Theoretical and computational study of nanometerscale biostructures and processes (<http://www.lce.hut.fi/research/polymer/>)

Optoelektroniikan laboratorio

<http://atomi.hut.fi/>

- Puolijohdeiden nanotekniikka (prof. Harri Lipsanen)
- Itseorganisoiutuneet nanorakenteet (prof. Harri Lipsanen)
- Optoelektroniikka (ma prof. Markku Sopanen)

Elektronifysiikan laboratorio

<http://www.hut.fi/Yksikot/Elfys/index.html>

Piipohjainen optoelektroniikka (prof. Juha Sinkkonen)

- Piin mikroskooppisten virheiden dynamiikka (prof. Juha Sinkkonen)
- Spintroniikan materiaalit ja komponentit (prof. Pekka Kuivalainen)
 - o (Ga, Mn)As-pohjainen spintroniikka
 - o Huoneenlämpötilan spintroniikka

Mittaustekniikan laboratorio

<http://metrology.hut.fi/cgi-bin/index.cgi>

- Mikroteknologiat (prof. Ilkka Tittonen)

Mikroelektroniikkakeskus

<http://www.hut.fi/Units/MEC/>

- Microfabrication, microfluid components (Dr. Sami Franssila)

Teknillisen fysiikan ja matematiikan osasto

Fysiikan laboratorio

<http://www.fyslab.hut.fi/laboratory/>

- Laskennallinen fysiikka (akatemiaprof. Risto Nieminen)
- Kokeellinen pintafysiikka (prof. Pekka Hautojärvi)

Nanohiukkaslaboratorio (prof. Esko Kauppinen)

- Hiilen nanoputketkien ja monikomponenttisten nanohiukkasten valmistus, prosessointi ja karakterisointi

Optiikan ja molekyylimateriaalien laboratorio

<http://omm.hut.fi/>

Molekyylimateriaalien ryhmä (akatemiaprof. Olli Ikkala ja dos. Janne Ruokolainen)

- Itseorganisoiutuvat ja supramolekyläiset funktionaaliset polymeerimateriaalit
- Huokoiset materiaalit, sähkö- ja valoaktiiviset polymeerit, ulkoisin ärsykkein ohjattavat materiaalit, elektrospinnatut nanokuidut

Optiikka-ryhmä (prof. Matti Kaivola)

- Lähikenttäoptiikka ja atomioptiikka

Kylmälaboratorio

Nano-ryhmä (prof. Pertti Hakonen)

<http://boojum.hut.fi/nano/>

- Fluctuations and noise in mesoscopic systems
- Quantum amplifiers
- Single Josephson junctions in electromagnetic environment
- Carbon nanotubes

Pico-ryhmä (prof. Jukka Pekola)

- Quantized charge transport
- electron cooling and non-equilibrium effects
- macroscopic quantum tunnelling, noise
- counting statistics in mesoscopic structures

VTT (Otaniemi)

Tietotekniikka

Mikroelektroniikka (tutkimuspäällikkö Ilkka Suni)

<http://www.vtt.fi/tte/tutkimus/tte6/tutkimus.htm>

Ohutkalvot

Ryhmäpäälikkö Markku Ylilammi

- Nanoelektroniikka (tutkimusprofessori Jouni Ahopelto)

Microsensing (tutkimusprofessori Heikki Seppä)

<http://www.vtt.fi/tte/quantronics/>

Kvantroniikka

Ryhmäpäälikkö Panu Helistö

- Mesoskooppinen elektroniikka
- Josephsonin-liitos
- Optimoidut ja integroidut lukuelektroniikat tarkkuusmittauksiin

VTT Biotekniikka

Biomolekyylit

<http://www.vtt.fi/bel/bio/index.htm>

- **Nanobiomateriaalit** (dosentti Markus Linder)

VTT Prosessit

Teollisuuskemian ryhmä (tutkimusprofessori Ali Harlin)

<http://www.vtt.fi/pro/pro6/pro62/>

Pienhiukkasryhmä (tutkimusprofessori Jorma Jokiniemi)

http://www.vtt.fi/pro/pro3/pro32/fine_particle_research.htm

LIITE 4

Yrityskysely

Tavoitteet:

- Saada tietoa siitä, mitkä yritykset Suomessa ovat aktiivisia nanoteknologian alalla (käyttävät, kehittävät, seuraavat) sekä luoda suorat kontaktit niihin henkilöihin, jotka vastaavat nanoteknologian aktiviteeteistä näissä yrityksissä.
- Saada tietoa siitä, mitkä nanoteknologian osa-alueista kiinnostavat yrityksiä ja miten tietoa saadaan
- Saada tietoa siitä, tarvitsevatko yritykset lisää tietoa nanoteknologiasta ja mistä osa-alueista
- Saada tietoa siitä, aikovatko yritykset osallistua FinNano-ohjelmaan (työnimenä oli Prodeo) ja mitä ne odottavat ohjelmalta.
- Saada tietoa siitä, minkä pääkaupunkiseudun tutkimuslaitoksen ja laboratorion kanssa on ollut yhteistyötä
- Saada tietoa siitä, mitä erityisosaamista toivotaan tutkimuslaitosten tarjoavan
- Saada tietoa siitä, mitä muita tukitoimia yritykset toivovat, jotta nanotekniikka voisi lisätä kilpailukykyä eikä muuttuisi uhaksi tulevaisuudessa?
- Saada tietoa siitä, mitä yleisiä toivomuksia yrityksillä on Helsinki-Nano-hankkeen suhteen.

Kysely:

Yrityksille esiteltiin avoimia kysymyksiä, jotka lähetettiin sähköpostitse 102 yritykselle elo- lokakuussa 2004. Kyselyä pohjustettiin useimmissa tapauksissa puhelinsoitolla. Vastuksia tuli 52. Jokaisesta vastauksesta annettiin sähköpostitse palautetta.

Avoimiin kysymyksiin päädyttiin, koska kyselyn tarkoituksena ei ollut hankkia tilastointia varten perustietoa.

Kysymykset

1. Yrityksen ja/tai yksikön nimi:
Lomakkeen täyttäjän nimi, asema ja yhteystiedot:
Nanoteknologian yhteyshenkilö(t) (nimi, sähköpostiosoite ja puhelinnumero):
2. Seuraatteko aktiivisesti nanoteknologian jonkin osa-alueen kehitystä? Perustelut etenkin kyllä-vastauksille ovat tervetulleet.

Nanotekniikan (eräs) määritelmä (National Nanotechnology Initiative, USA):

- Research and technology development at the atomic, molecular or macromolecular levels, in the length scale of approximately 1 - 100 nanometer range.
- Creating and using structures, devices and systems that have novel properties and functions because of their small and/or intermediate size.
- Ability to control or manipulate on the atomic scale

Mistä lähteistä saatte tietoa nanoteknologian kehityksestä?

Lähde	Järjestys (1 = tärkein, 5 = vähiten tärkeä)
Internet	
Seminaarit, messut ja muut yleisötapaukumat	
Teknistieteelliset julkaisut	
Muut julkaisut	
Omat kontaktit alan asiantuntijoihin ja/tai tutkijoihin ja/tai yrityksiin	
Muu lähde, mikä?	

3. Tarvitaanko yrityksessänne lisää tietoa nanoteknologiasta? Jos tarvitaan, niin erityisesti mistä osa-alueesta ja miten?
4. Sovellattekko yrityksessänne/yksikössänne jo nyt nanoteknologiaa tuotteissanne? Jos kyllä, niin mitä luokkaa on näistä tuotteista syntyvä liikevaihto vuodessa?
5. Aikooko yrityksenne/yksikkönne osallistua Tekesin kaavailemaan Prodeon nanoteknologiaohjelmaan, <http://akseli.tekes.fi/Resource.phx/bike/nano/index.htm> ?
6. Jos kyllä, niin olettekko kiinnostunut yritysvetoisesta hankkeesta ja/vai tavoitetutkimushankkeesta?
7. Onko yrityksessänne suunnitteilla muita nanotieteisiin tai –tekniologiaan liittyviä hankkeita kotimaisten julkisten tutkimuslaitosten (esim. korkeakoulut, yliopistot, VTT) kanssa?
8. Mitkä ovat yritystänne kiinnostavat nanoteknologian aihepiirit?
9. Millaista erityisosaamista toivotte tutkimuslaitosten tarjoavan yrityksellenne?
10. Mitä muita tukitoimia yrityksenne toivoo, jotta nanotekniikka voisi lisätä yrityksenne kilpailukykyä eikä muuttuisi uhaksi tulevaisuudessa?
11. Mitkä pääkaupunkiseudun tutkimuslaitosten (esim. HY, TKK, VTT) laboratorioiden kanssa teillä on ollut yhteistyötä viime kolmen vuoden aikana?

Jos olette olleet useamman laboratorion kanssa yhteistyössä, niin mitkä yhteistyöt ovat olleet kaikkein hedelmällisimmät?

12. Minkälaisia toivomuksia teillä on Helsinki-Nano-hankkeen suhteen?

Tulokset

- 83% vastanneista yrityksistä ilmoitti tarvitsevansa lisätietoa nanoteknologiasta
- 53 % vastanneista yrityksistä ilmoitti jo soveltavansa nanoteknologiaa
- Tiedon saamiseksi tärkeimmät lähteet olivat järjestyksessä
 1. Omat kontaktit alan asiantuntijoihin ja/tai tutkijoihin ja/tai yrityksiin
 2. Teknistieteelliset julkaisut
 3. Seminaarit, messut ja muut yleisötahtumat
 4. Internet
- Yritysten kannalta kiinnostavia aihepiiriä olivat:
 - Nanohiukkaset (sekä orgaaniset ja funktionalisoidut että epäorgaaniset)
 - Johde- ja puolijohdepolymeerit
 - Komposiittimateriaalit (muun muassa polymeeripohjaiset)
 - Nanopinnoitteet ja pintaominaisuudet (katalyytit, maalit jne.)
 - Nano-optiikka
 - Nanosuodatus
 - Anturit ja aktuaattorit (esim. bio)
- Vastanneista kolmannes kertoi osallistuvansa FinNano-ohjelmaan. Toinen kolmannes ilmoitti harkitsevansa osallistumista.
- Tutkimuslaitoksilta toivottiin:
 - Syntetiikkaa, testausta, kehittyneitä mittaus- ja analysointipalveluita (useita)
 - Tieteellisteknistä osaamista ja tutkimuslaitteistoja.
 - Poikkitieteellisyyttä.
 - ”Soveltavaa tutkimusta. Ei perustutkimusta”.
 - Pinnoiteosaamista.
 - Vastuuta kokonaisemmasta suorituksesta (eikä vain omasta osaamisalueen suppeasta ilmiöiden ongelmakentästä).
 - Lasereiden käyttö nanoteknologiassa, nano-optiikkaa.
 - ”Ymmärrystä siitä, mikä on mahdollista lähivuosina, sekä riittävää verkottuneisuutta ulkomaille, missä on todelliset resurssit nanoteknologian tutkimiseen”.
 - ”Maailmanluokan osaamista”.
 - ”Testaukset, testausten standardointi, uudet innovaatiot.”
 - Sovellutuksia ja sovellutusosaamista.
 - Materiaalien työstettävyyteen liittyvien työterveysasioiden hallintaa
 - ”Hedelmiä on tullut liian vähän”.
 -
- Muita tukitoimia toivottiin (jotta nanotekniikka voisi lisätä kilpailukykyä eikä muuttuisi uhaksi tulevaisuudessa)
 - Tiedottamista, seuranta uutuuksista ja nanoteknologian maailman saavutuksista.
(useita)

- Rahoitusmahdollisuutta tuotekehityksen jälkeen (markkinoille pääsyle ja patentoinnille rahoitustuki).
(useita)
- Koulutusta.
- Mahdollisia tulevaisuuden tuotteita.
- Rahoitusta tutkimukselle (Tekesin ja Suomen Akatemian toimintaa kiitettiin).
- ” Että sovellutuksien mahdollisuuksia ruvettaisiin heti miettimään”.
-
- Vastaukset lähetettiin taulukkomuodossa yrityksen nimeä paljastamatta nanoteknologia-alueen HY:n, TKK:n ja VTT:n professorille, laboratorion johtajille ja tutkijoille; yhteensä 48 henkilölle. Yritysten nimet oli korvattu numeroilla. Kuusi professoria, laboratorion johtajaa tai tutkijaa pyysi yhteystietoa yrityksiin.
- Yhden yrityksen edustaja totesi yksityisessä keskustelussa suuren pettymyksensä siihen, ettei kukaan ottanut heihin yhteyttä vaikka he olivat ilmoittaneet yksityiskohtaisen ja tieteellisesti haastavan toivelistan.

LIITE 5

Suomen Akatemian nanoteknologiaan liittyvät huippuyksiköt Helsingin seudulla

(lähde: <http://www.aka.fi/index.asp?id=AB9AEDFE7B5D4CB0A8E5A81D749B6A80>)

- 2001 – 2005 Kylmälaboratorio: Fysiikan ja aivotutkimuksen yksiköt
Yksikön johtaja: professori Mikko Paalanen, Teknillinen korkeakoulu
Laskennallisen materiaalfysiikan tutkimusryhmä COMP
Yksikön johtaja: akatemiaprofessori Risto Nieminen, Teknillinen korkeakoulu
- 2002 – 2007 Bio- ja nanopolymeerien tutkimusryhmä
Yksikön johtaja: professori Jukka Seppälä, Teknillinen korkeakoulu
Ilmakehän koostumuksen ja ilmaston muutoksen fysiikka, kemia ja biologia
Yksikön johtaja: Akatemiaprofessori Markku Kulmala, Helsingin yliopisto
- 2006 – 2011 Laskennallisen molekyyli­tutkimuksen huippuyksikkö,
Yksikön johtaja: professori Pekka Pyykkö, Helsingin yliopisto
Laskennallinen kompleksisten systeemien tutkimuksen huippuyksikkö
Yksikön johtaja: akatemiaprofessori Kimmo Kaski, Teknillinen korkeakoulu
Laskennallisen nanotieteen huippuyksikkö,
Yksikön johtaja: akatemiaprofessori Risto Nieminen, Teknillinen korkeakoulu
Matalien lämpötilojen kvantti-ilmiöiden ja komponenttien huippuyksikkö,
Yksikön johtaja: professori Mikko Paalanen, Teknillinen korkeakoulu
Virologian huippuyksikkö
Yksikön johtaja: akatemiaprofessori Dennis Bamford, Helsingin yliopisto

Suomen Akatemian nanoteknologian tai sitä sivuavan tutkimuksen akatemiaprofessorit Helsingin seudulla

(lähde: <http://www.aka.fi/index.asp?id=96C799594C9F4B93A364F7F894923AD7>)

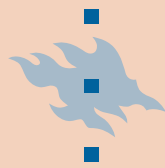
- Akatemiaprofessori Dennis Bamford, Helsingin yliopisto, 1.8.2002-31.7.2007
Akatemiaprofessori Kimmo Kaski, Teknillinen korkeakoulu, 1.08.1996-31.07.2006
Akatemiaprofessori Markku Kulmala, Helsingin yliopisto, 1.8.2004-31.7.2009
Akatemiaprofessori Markku Leskelä, Helsingin yliopisto, 1.8.2004-31.7.2009
Akatemiaprofessori Risto Nieminen, Teknillinen korkeakoulu, 1.8.2003-31.7.2008
Akatemiaprofessori Olli Ikkala, Teknillinen korkeakoulu, 1.8.2005-31.7.2010

LIITE 6

Uudellamaalla toimivia yrityksiä, joiden toimintaan nanoteknologia liittyy tai tulee vaikuttamaan

Yrityksen nimi	Nanoteknologian alue	Yrityksen koko*)	Nanoteknologia ydinteknologiana?
ABR Innova	Pintakäsittelylaitteet (epäorgaaniset aineet)	Mikro	Kyllä
Amer	Komposiittirakenteet ym.	Iso	Ei
Borealis	Komposiittirakenteet ym.	Iso	Ei
CTT	Täsmälääkkeet	Pieni	Kyllä
DIARC-Technology	Pintakäsittely, ohutkalvot	Mikro	Ei
Fermion	Lääkkeenvalmistus	Iso	Ei
Neste Oil	Katalyytit y,m	Iso	Ei
GE Medical (ent. Datex-Ohmeda)	Anturit ym.	Iso	Ei
Genano	Ilmansuodattimet	Mikro	Kyllä
Heptagon	Nano-optiikka	Pieni	Kyllä
Hydrocell	Polttokennot/hydriidit	Mikro	Kyllä
Kemira	Veden- /ilmanpuhdistus	Iso	Ei
KSH-Productor	Mikrofluidistiikka	Pieni	Ei
KSV-Instruments	Orgaaniset kalvot ja pintamateriaalit	Pieni	Kyllä
Liekki	Seostetut optiset kuidut		Kyllä
Lifa Air	Ilmansuodattimet	Keski	Kyllä (3G tuotteiden osalta)
Medix Biochemica	Diagnostiikka	Keski	Ei
M-Real	Pintakäsittely ym.	Iso	Ei
Metso	Anturi, materiaalit ym.	Iso	Ei
Mobidiag	Sensorit, diagnostiikka, nanofluidistiikka	Pieni	Kyllä (väljästi tulkittuna)
Nokia	Useita	Iso	Ei
Orion Diagnostica	Diagnostiikka	Iso	Kyllä
Oxford Instruments (ent. Metorex)	Anturit	Keski	Ei
Panipol	Johtavat polymeerit ym.	Mikro	Kyllä
Picosun	Epäorgaaniset ohutkalvo- kasvatustlaitteet	Mikro	Kyllä
Planar Systems	Epäorg. ohutkalvokasvatustlaitteet ja pinnoitteet	Keski	Kyllä
Premix	Johtavat polymeerit ym.	Keski	Ei
Setec	Sensorit, materiaalit	Keski	Ei
Thermo Electron	Sensorit ym.	Iso	Ei
Teknos	Maalit	Iso	Ei
Tikkurila	Maalit	Iso	Ei
Vaisala	Sensorit ym.	Iso	Ei
VTI Technologies	Anturit, ohutkalvot	Iso	Ei
Wärtsilä	Pinnoitteet	Iso	Ei

*) mikro: < 10 henkilöä, pieni: < 50 henkilöä, keski: < 250 henkilöä



HELSINGIN YLIOPISTO



TEKNILLINEN KORKEAKOULU



Mikro & Nanosysteemien ja
Aktiivimateriaalien osaamiskeskus



Uudenmaan liitto
Nylands förbund

Culminatum

