

Simo Rasilainen

# Nanoteknologia bio- ja elintarviketekniikassa: kyselytutkimus suomalaisyrityksille

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja elintarviketekniikka

Insinööryö

25.11.2016

Tekijä(t) Otsikko  Sivumäärä Aika	Simo Rasilainen Nanoteknologia bio- ja elintarviketekniikassa: kyselytutkimus suomalaisyrityksille 52 sivua + 6 liitettä 25.11.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Bio- ja elintarviketekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	lehtori Hannu Turunen
<p>Nanoteknologialla tarkoitetaan aineen käsittelyä mittakaavassa 1–100 nm. Tarkimmillaan voidaan saavuttaa aineen hallinta aivan atomien ja molekyylien tasolla. Nanoteknologiassa yhdistyvät perinteiset tieteenalat, jolloin syntyy uutta tietoa ja menetelmiä. Sovelluskohteita löytyy paljon erilaisia. Tärkeimpinä sovelluksina voidaan pitää erilaisia nanomateriaaleja ja -partikkeleja sekä tarkkoja mikroskoppioita. Nanomittakaavassa aineelle syntyy poikkeavia ominaisuuksia verrattuna suurempaan mittakaavaan. Niitä voidaan käyttää hyödyksi tai niistä saattaa koitua haittaa. Nanomateriaalien käyttäytyminen etenkin biologisissa ympäristöissä on ennalta arvaamatonta.</p> <p>Tämän insinööriyön tarkoituksena oli suorittaa kyselytutkimus suomalaisille bio- ja elintarvikealan yrityksille. Kyselytutkimus suoritettiin sähköisesti käyttämällä e-lomakeohjelmissä. Ajankohtana kyselytutkimuksella oli touko-elokuu 2016. Kyselylomakkeeseen vastattiin yhteensä 12 kertaa. Kuusi yritystä kertoi hyödyntävänsä nanoteknologiaa jollain tavalla. Lomake lähetettiin yhteensä 96 yritykselle. Lomakkeeseen vastaamisprosentti oli 12,5 %. Sähköpostiin saatiin 9 vastausta lisää ja kokonaisvastaamisprosentti oli 21,9 %.</p> <p>Kyselytutkimuksen vastausten ja kirjallisuuden perusteella laadittiin ehdotuksia insinöörin osaamistarpeista nanoteknologiaan liittyen. Käsittelyssä keskityttiin pääasiassa bio- ja elintarviketekniikan sovelluksiin, mutta mukaan otettiin myös muita sovelluksia, joiden katsottiin olevan tärkeitä. Nanoteknologiaa sovelletaan nanobioteknologiassa, elintarvikkeiden valmistuksessa ja lääketieteessä. Huomioon otettiin myös ympäristö- ja terveysvaikutuksia.</p> <p>Kyselylomakkeeseen ei saatu toivottua määrää vastauksia. Tavoiteltu vastaamisprosentti oli 30 %. Vastaukset olivat kuitenkin monipuoliset ja lomakkeen joka kohtaan saatiin vastaus. Kyselyn ja kirjallisuuden perusteella saatiin käsitys, miten, bio- ja elintarviketekniikassa voidaan soveltaa nanoteknologiaa. Käsiteltäviä aiheita voidaan pitää insinöörin osaamisen kannalta merkityksellisinä.</p>	
Avainsanat	nanoteknologia, kyselytutkimus, nanobioteknologia, insinööri-osaaminen

Author(s) Title Number of Pages Date	Simo Rasilainen Nanotechnology in biotechnology and food engineering: a survey to finnish companies 52 pages + 6 appendices 25 November 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Food Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	lecturer Hannu Turunen
<p>Nanotechnology means manipulation of matter at the scale of 1–100 nm. At the most precise level, it is possible to achieve control of matter at atomic and molecular scale. In nanotechnology, basic fields of sciences merge creating new knowledge and methods. There are a wide range of applications. The most important applications are different kinds of nanomaterials and particles as well as accurate microscopies. In the nanoscale, matter has different properties compared to the bigger scale. These properties could be used for good or they may cause harm. The functioning of nanomaterials especially in the biological environments is unpredictable.</p> <p>The purpose of this thesis was to conduct a survey for Finnish biotechnology and food companies. A survey was conducted via internet using an e-form software. The timing of the survey was from May to August in the year 2016. The questionnaire was answered 12 times. Six companies reported that they utilize nanotechnology in a some manner. The questionnaire was sent to 96 companies. The percentage of answers in the questionnaire was 12.5 %. In addition, 9 answers were received to e-mail and total percentage of answers was 21.9 %.</p> <p>On the basis of the questionnaire and literature, suggestions for the knowledge of engineers were made. The subjects mainly consisted of applications of biotechnology and food engineering, but also some other important applications were included. Nanotechnology is applied to nanobiotechnology, in food processing and in medicine. Environmental and health issues were also considered.</p> <p>The desired number of answers to the questionnaire was not reached. The desired percentage of answers was set to 30 %. However, the answers were diverse and every part of questionnaire was answered. On the basis of the questionnaire and literature, an understanding of how nanotechnology could be applied in biotechnology and food engineering was achieved. The subjects included can be considered remarkable in engineering.</p>	
Keywords	nanotechnology, survey, nanobiotechnology, engineering

# Sisällys

## Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Yleistä nanoteknologiasta	3
2.1	Määritelmä	3
2.2	Historia	4
2.3	Nanotieteestä nanoteknologiaan	5
2.4	Nanomaailman erityisiä ominaisuuksia	5
3	Nanoteknologian tärkeimpiä sovelluskohteita	7
3.1	Materiaalit ja partikkelit	7
3.1.1	Nanomateriaalit hiilestä	8
3.1.2	Metalliset nanopartikkelit	9
3.1.3	Metallioksidit	12
3.1.4	Polymeerit ja komposiitit	13
3.1.5	Dendrimeerit ja misellit	14
3.1.6	Biomateriaalit	14
3.1.7	Kvanttipisteet	17
3.2	Elektroniikka	18
3.3	Nanorakenteiden tutkiminen ja valmistaminen	19
3.3.1	Mikroskopiat	19
3.3.2	Yleiset valmistustekniikat	22
4	Kyselytutkimus	24
4.1	Periaatteet	24
4.2	Tiedonkeruu kyselylomakkeella	25
4.3	E-lomake	26
4.4	Lomakkeeseen valitut kysymykset	26
4.5	Saate ja muistutus	27
4.6	Kyselytutkimuksen tavoitteet	27
4.7	Yhteydenotto	28
4.8	Testaus ja lähettäminen	28

5	Yritykset	29
5.1	Bio- ja elintarvikeyritykset Suomessa	29
5.2	Perusjoukon määrittely ja otos	29
6	Vastaukset	30
6.1	Yritysten perustiedot	30
6.2	Nanoteknologian hyödyntäminen	31
6.3	Monivalintakysymykset	31
6.4	Sanalliset vastaukset	33
7	Bio- ja elintarviketekniikan sovelluksia	34
7.1	Nanobioteknologia	34
7.2	Nanoteknologia elintarviketuotannossa	37
7.2.1	Elintarvikkeiden nanopartikkelit	37
7.2.2	Elintarvikepakkaukset	38
7.2.3	Prosessit ja laitteet	39
7.2.4	Terveysvaikutteiset elintarvikkeet ja uuselintarvikkeet	40
7.3	Nanolääketiede	41
7.3.1	Diagnostiikka ja merkkiaineet	42
7.3.2	Lääkekehitys ja täsmälääkkeet	44
7.3.3	Virusten käyttö nanopartikkeleina	45
7.4	Ympäristö ja terveys	46
7.4.1	Nanopartikkelien kulkeutuminen ympäristöön	46
7.4.2	Altistuminen nanopartikkeleille	47
7.4.3	Riskien ja uhkien hallinta	47
8	Tulosten tarkastelu	49
8.1	Kyselytutkimus	49
8.2	Vastausten hyödynnettävyys	50
9	Pohdinta	51
	Lähteet	53
	Liitteet	
	Liite 1 Kyselylomake	
	Liite 2 Saate ja muistutus	
	Liite 3 Yrityksen kokoluokka	

Liite 4 Yrityksen sijainti

Liite 5 Nanoteknologian hyödyntäminen

Liite 6 Nanoteknologian tärkeys

## Lyhenteet

AFM	<i>Atomic Force Microscope.</i> Atomivoimamikroskooppi. Laite, jolla tutkitaan kohteiden pinnan muotoja, siirrellään atomeja ja molekyyliä sekä mitataan pienen kohteiden fysikaalisia ominaisuuksia.
ALD	<i>Atomic Layer Deposition.</i> Menetelmä, jolla valmistetaan ohuita kalvoja pinnoille.
BNC	<i>Bacterial Nano Cellulose.</i> Bakteerinanoselluloosa. Bakteerien valmistama nanoselluloosan muoto.
CVD	<i>Chemical Vapor Deposition.</i> Nanoteknologinen valmistusmenetelmä, jossa höyrystetään aineita ja kiinnitetään niitä pinnoille.
IVD	<i>In-Vitro Diagnostics.</i> Diagnostisia menetelmiä, joissa lääketieteellisiä näytteitä tutkitaan laboratoriossa.
MCC	<i>Micro Crystal Cellulose.</i> Mikrokiteinen selluloosan muoto.
MFC	<i>Micro Fibrilled Cellulose.</i> Mikro fibrilloitu selluloosa.
MRI	<i>Magnetic Resonance Imaging.</i> Lääketieteellinen kuvantamismenetelmä, jossa hyödynnetään ydinmagneettista ilmiötä (NMR)
NCC	<i>Nano Crystal Cellulose.</i> Nanokiteinen selluloosan muoto.
NFC	<i>Nano Fibril Cellulose.</i> Nanofibrilloitu selluloosa.
NMR	<i>Nuclear Magnetic Resonance.</i> Ydinmagneettinen resonanssi. Fysikaalinen ilmiö, joka johtuu atomiytimien värähtelystä.
PLA	<i>Poly Lactic Acid.</i> Maitohaposta muodostunut polymeeri. Yhdiste, jota käytetään biohajoavissa partikkeleissa.
PLGA	<i>Poly Lactic-co-Glycolic Acid.</i> Maitohapon ja glykolihapon muodostama polymeeri. Biohajoava yhdiste. Samoja käyttökohteita kuin PLA:lla
REACH	<i>Regulation for Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals.</i> EU:n asetus kemikaalien turvallisuudesta.
SEM	<i>Scanning Electron Microscope.</i> Pyyhkäisyelektronimikroskooppi. Laite, jolla voidaan tutkia kohteiden pintoja suurella tarkkuudella.
SPIO	<i>Superparamagnetic Iron Oxide.</i> Superparamagneettinen rautaoksidi. Rautayhdiste, jota hyödynnetään lääketieteessä merkkiaineena.

- STM      *Scanning Tunneling Microscope*. Pyyhkäisy-tunnelointimikroskooppi.  
Laite, joka hyödyntää elektronien tunnelointi-ilmiötä kohteiden tutkimisessa.
- TEM      *Transmission Electron Microscope*. Läpivalaisuelektronimikroskooppi.  
Laite, jolla tutkitaan tarkasti kohteiden sisäisiä rakenteita.



## 1 Johdanto

Ajatus aineen muokkaamisesta atomitasolla esitettiin 1950-luvun lopulla, kun fyysikko Richard Feynman esitti puheessaan ideoita järjestelmien valmistukseen ”atomi-atomilta” (Feynman 1959). Nanoteknologia-termi esiintyi pari vuosikymmentä myöhemmin. Nanoteknologiaa sovelletaan monissa eri käyttötarkoituksissa. Siinä yhdistyvät perinteiset tieteenalat fysiikka, kemia ja biologia. Näiden alojen lähestyessä toisiaan syntyy uudenlaisia tutkimus- ja tuotekehittelymahdollisuuksia. Menetelmien tarkkuuden paraneminen antaa mahdollisuuksia uudenlaiseen teknologiseen kehitykseen. Bio- ja elintarviketekniikassa löytyy nanoteknologian sovelluskohteita muun muassa nanobioteknologiassa, elintarvikkeiden tuotannossa, biomateriaaleissa ja lääketieteellisissä sovelluksissa. Nanoteknologialla, etenkin partikkeleilla, on vaikutuksia myös ympäristöön ja ihmisen terveyteen.

Tämän työn tarkoituksena on selvittää, millaisia osaamistarpeita bio- ja elintarviketekniikan insinööreillä tulisi olla nanoteknologiaan liittyen. Suomalaisille yrityksille tehtiin kyselytutkimus verkkolomaketta käyttäen. Yrityksille tehdyn kyselytutkimuksen ja kirjallisuuden perusteella tehtiin ehdotuksia insinöörien osaamistarpeisiin nanoteknologiaan liittyen. Työn alussa esitellään nanoteknologian tärkeimpiä sovelluksia ja käyttökohteita, joihin lukeutuu materiaalit ja partikkelit, elektroniikka sekä rakenteiden tutkimus- ja valmistusmenetelmiä. Kyselytutkimuksen toteuttamisen ja vastausten jälkeen käsitellään bio- ja elintarvikealalla sovellettavaa nanoteknologiaa.

Nanoteknologialla tarkoitetaan aineen tutkimista ja muokkausta mittakaavassa 1–100 nm. Näin pienessä mittakaavassa aineella ja rakenteilla on uusia ja osin tuntemattomia ominaisuuksia, joita voidaan käyttää hyödyksi. Hyvien ominaisuuksien lisäksi saattaa syntyä myös haitallisia vaikutuksia, jotka pitää ottaa huomioon. Nanoteknologiaa sovelletaan useilla eri teknologian alueilla ja siinä hyödynnetään osaamista laajasti poikkitieteellisesti. Merkittäviä sovelluksia nanoteknologiassa ovat erilaiset materiaalit ja partikkelit sekä tarkat valmistusmenetelmät ja mikroskopiat, joilla pystytään tutkimaan ja muokkaamaan ainetta aivan atomien mittakaavan tarkkuudella.

Kyselytutkimuksella tietoa saadaan kerättyä vastaajilta esittämällä kysymyksiä. Kyselytutkimusta hyödynnetään, kun halutaan saada tietoa ihmisten toiminnasta, mielipiteistä ja asenteista. Kysely voidaan suorittaa sähköisesti e-lomakkeen avulla, jolloin vastaajille lähetetään kyselylomake sähköpostilla. Lomake tulisi laatia niin, että sillä saadaan kerättyä tavoitteiden mukainen tieto.

## 2 Yleistä nanoteknologiasta

Aluksi kerrotaan nanoteknologian perusteita, jotka insinöörin olisi hyvä tietää. Sen jälkeen siirrytään bio- ja elintarviketekniikan sovelluksiin ja otetaan enemmän huomioon kyselytutkimuksen vastauksia. Nanoteknologian perussovelluksista käsitellään materiaaleja ja partikkeleja, koska niiden sovelluksia hyödynnetään laajasti.

### 2.1 Määritelmä

Nanoteknologialla tarkoitetaan kokoluokassa 1–100 nm tapahtuvaa aineen muokkausta, rakenteiden ja laitteiden valmistamista sekä prosessien suunnittelua. Sana ”nano” on kreikkaa ja tarkoittaa kääpiötä. Nano-etuliite on käytössä SI-järjestelmässä, tarkoittaen miljardisosaa, merkitään  $10^{-9}$ . Laajassa merkityksessä nanoteknologia viittaa mihin tahansa teknologian alaan, jossa tutkimus ja kehitystyö tapahtuvat alle 100 nm:n pituuskaalassa. Ainakin yksi kohteiden ulottuvuus on oltava nanometriluokkaa. (Heino & Vuento 2005: 9; Jones 2008: 21.)

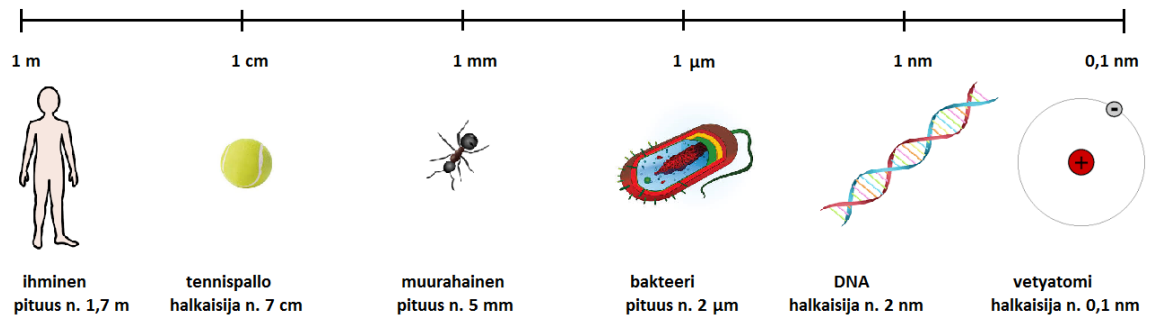
Eri tieteenaloilla on paljon nanoteknologiaan liittyviä sovelluskohteita, ja se on tuonut perinteisiä aloja lähemmäksi toisiaan. Soveltaminen tapahtuu usein tieteenalojen rajapinnoissa. Välillä on vaikea sanoa milloin nanoteknologia alkaa, vaikka määritelmä on tiedossa. Kaikkien alojen teknologioista povataan tulevaisuudessa paljon uusia käyttökohteita ja hyödyllisiä tuotteita.

Vakiintuneen määritelmän mukaan kaikkien kolmen kriteerin tulee täytyä puhuttaessa oikein nanoteknologiasta:

- Tutkimus- tai kehitystyö tapahtuu atomi-, molekyyli- tai makromolekyyllitasolla. Kohteiden koko on suuruusluokaltaan 1–100 nm.
- Tutkimus- tai kehitystyössä luodaan tai käytetään rakenteita, laitteita tai järjestelmiä, joilla on pienen koon vuoksi kokonaan uusia ominaisuuksia ja toimintoja.
- Rakenteita ja ilmiöitä voidaan hallita atomi- ja molekyyllitasolla.

Nanoteknologia pitää sisällään pienimpien mahdollisten rakenteiden, laitteiden ja systeemien valmistuksen. Kokoluokka näillä on karkeasti 0,1–1000 nm:n välillä. (Rogers

ym. 2015: 1.) Nanopartikkelit ja materiaalit ovat yleensä kokoluokassa 1–100 nm. Laajemmassa kokoluokassa mukaan lasketaan yksittäiset atomit, joiden halkaisija pienimmillään on noin 0,1 nm ja 1000 nm on yksi mikrometri ( $\mu\text{m}$ ), joka vastaa pienimpien solujen pituutta. Kuvassa 1 on esitetty objekteja eri pituusluokissa.



Kuva 1. Objekteja eri pituusluokissa

## 2.2 Historia

Ajatuksen pienen pienistä systeemeistä esitti ensi kerran fyysikko Richard Feynman pitämässään puheessaan (Feynman 1959). Feynman otti esille kohteita, jotka ovat nanometrin mittaluokassa. Hän oli myös vaikuttunut biologisista järjestelmistä, jotka toimivat nanoskaalassa. Puheessa otettiin esille myös mekanismien rakentaminen atomi atomilta. Termi ”nanoteknologia” esiintyi kuitenkin vasta myöhemmin vuonna 1974, kun japanilainen Norio Taniguchi lanseerasi sen artikkelissaan (Rogers ym. 2015: 2). 1980-luvulla Eric Drexler toi nanoteknologian suuremman yleisön tietoon kirjassaan ”Engines of Creation”, jossa hän kertoi optimistisesti nanoteknologian suurista mahdollisuuksista ja maalaili myös uhkakuvia nanoteknologiaan liittyen (Drexler 1986).

Sittemmin nanoteknologia on kehittynyt uusien löytöjen ja tekniikan kehittymisen myötä, muun muassa mikroskopiat (AFM ja STM), hiilinanomateriaalit ja lääketieteen sovellukset. Elektroniikan ja tietokoneiden kehittyminen on johtanut nanoteknologian tuntemuksen kasvamiseen. Koko ajan syntyy lisää uutta tietoa, sillä ilmiöitä ja rakenteita pystytään mallintamaan sekä tutkimaan tarkemmin.

Nanoteknologiaa on käytetty tiedostamatta aikaisemmin. Ajanlaskun alussa roomalaiset oppivat värjäämään lasia sekoittamalla siihen kultaa ja hopeaa. 400-luvulla valmiste-

tussa maljassa (Lycurgus Cup) on hyödynnetty nanoteknologiaa. Valon heijastuessa ulkoapäin malja näyttää vihreältä, ja valon tullessa sisältä malja on punertava. (Freestone ym. 2007.) 1500-luvulla renessanssitaiteilijat sekoittivat kuparia ja hopeaa valmistaessaan värjättyä keramiikkaa.

Pieniä nanoluokan asioita alettiin hahmottaa tieteellisen kehityksen myötä 1800-luvulla (atomiteorian kehittyminen). Michael Faradayn kolloidien tutkiminen 1850-luvulla ja Albert Einsteinin kolloidien selittäminen 1900-luvun alussa johtivat atomitason kohteiden tarkempaan tuntemukseen. (Turunen 2015.)

### 2.3 Nanotieteestä nanoteknologiaan

Nanoteknologia-sanaa käytetään paljon uutta teknologiaa kuvailtaessa niin akateemisessa kirjallisuudessa kuin arkipäiväisissä yhteyksissä. Nanoteknologian kolme tärkeintä tieteenalaa ovat fysiikka, kemia ja biologia sekä niiden alla olevat soveltavat tieteet. Nanometri on kemiassa yleisesti käytetty mittayksikkö ja sellaisena suuri. Kemistit käyttävät usein pienempiäkin yksiköitä esimerkiksi ångström, 1 Å on 0,1 nm. Tavallisissa teknologioissa nanometri on erittäin pieni, koska fysikaaliset mekaaniset laitteet ja koneet ovat pienimmilläänkin millimetrien kokoluokkaa. Biologiassa, etenkin solu- ja molekyylibiologian aloilla, nanometri on yleisin käytetty mittayksikkö. (Holmén & Vilja 2009: 250.)

Nanotiede tutkii luonnontieteellisin menetelmin ilmiöitä, jotka tapahtuvat nanometrien etäisyyksillä toisistaan tai kappaleita, jotka ovat nanometrien kokoisia. Parhaimmillaan nanoteknologia on, kun eri tieteenalat ja insinööritieteet kohtaavat. (Holmén & Vilja 2009: 250.)

### 2.4 Nanomaailman erityisiä ominaisuuksia

Liike pienien kappaleiden ympärillä ei seuraa fysikaalisten voimien lakeja niin paljon kuin muita yhteen vetäviä voimia. Painovoimalla ja inertialla ei ole suurta vaikutusta nanometriluokan kappaleisiin. Kappaleet ovat enemmän vuorovaikutuksessa toisiinsa van der Waalsin- ja viskoosivoimien välityksellä. (Rogers ym. 2015: 336.) On myös mahdollista, että pinta-alan määrä olisi massaa ja tilavuutta tärkeämpi mitta (Suomalainen & Hakkarainen 2008: 25).

## Kolloidit

Kolloideissa hiukkasen ainakin yksi ulottuvuus on kokoa 1 nm - 1 µm. Pienen koon hiukkaset sekoittuvat toiseen faasiin ja muodostuu homogeeninen seos. Kolloidit muodostavat dispersioita, joissa eri faasit muodostavat seoksia. Hiukkaset voivat olla muodoltaan pallomaisia, kulmikkaita ja levyjäisiä. (Ibrahim 2012: 7–8.)

Partikkelit vuorovaikuttavat toisiinsa sähkövarauksin ja hylkivät tai vetävät toisiaan puoleensa. Kolloidaalisilla järjestelmillä on mielenkiintoisia koostumuksia ja käyttäytymisiä. Partikkelien kasaantuessa syntyy aggregaatteja. Nämä rakenteet saattavat olla pysyviä tai palautuvia. (Ibrahim 2012: 8–9.) Nanoteknologiassa näitä ominaisuuksia tavoitellaan tai vältetään.

Esimerkkejä kolloidisista seoksista ovat maito, veri, muste, maalit, savu ja sumu. Näissä kiinteä aine on dispergoitunut toiseen faasiin. Kolloidiset seokset taittavat valoa tehden niistä sameaa ja viskoosia. (Rogers 2015: 107.)

Nanoskaalassa kappaleet ovat jatkuvasti satunnaisessa liikkeessä. Atomit ja molekyylit törmäävät toisiinsa ja muuttavat suuntaansa. Nesteissä ja kaasuissa pienet partikkelit kohtaavat toisiaan suurilla nopeuksilla. Tätä liikettä kutsutaan Brownin liikkeeksi. (Jones 2008: 85-86.) Satunnainen partikkelien liike riippuu partikkelien koosta, nesteen viskositeetista ja lämpötilasta (Labhasetwar & Leslie-Pelecky 2007: 83).

Pienien solujen (halkaisija 1 µm) sisällä aineet diffundoituvat alle sekunnissa johtuen niiden liikkeestä. Solun koon kasvaessa diffuusioaikakin kasvaa. Solun halkaisijan ollessa 10 µm sekoittumisessa kestää minuutteja ja 100 µm tunteja. Ihmisen metrin pituisessa neuronissa proteiinin kulkeutuminen päästä päähän pelkän Brownin liikkeen ansiosta kuluisi tuhat vuotta, mutta molekyyli-moottorien kuljettamina viikon. (Rogers ym. 2015: 339–340.)

## Kvanttimekaniikka

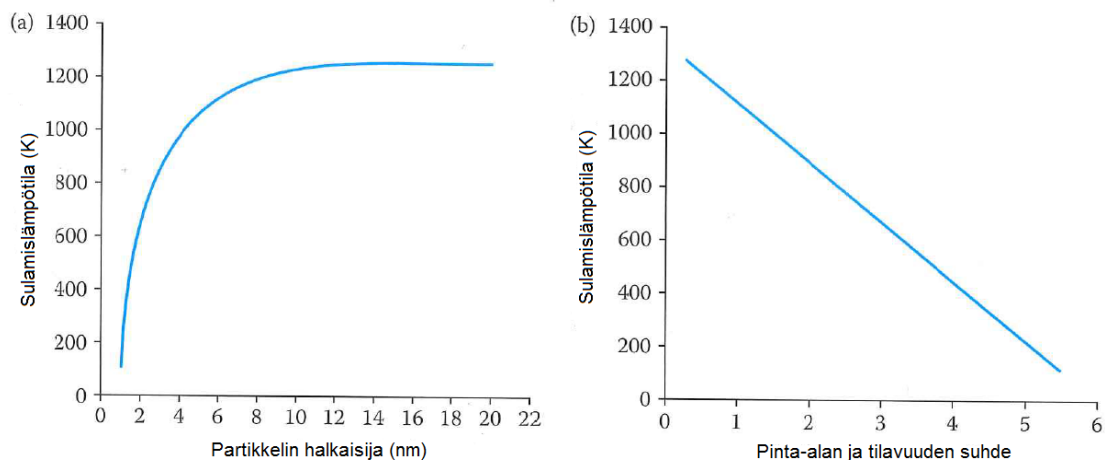
Kvanttimekaniikan avulla kuvataan alkeishiukkasten (mm. protonit, elektronit ja fotonit) käyttäytymistä. Sillä on vaikutuksia nanoteknologiaan, koska nanometriluokassa alkeishiukkasten ominaisuuksilla on suuri merkitys. Abstraktina teoriana kvanttimekaniikka on

vaikea hahmottaa, mutta sen soveltaminen nanoteknologiassa on tietystä määrin tarpeellista. Nanoteknologiassa käytetään kvanttiominaisuuksien hyödyntämistä. (Theodore 2006: 439.)

### 3 Nanoteknologian tärkeimpiä sovelluskohteita

#### 3.1 Materiaalit ja partikkelit

Nanoteknologian kärjessä ovat erilaiset materiaalit ja partikkelit, joille on ajateltu monenlaisia eri sovelluskohteita. Materiaalit perustuvat erilaisiin partikkeleihin, joilla on kokonsa vuoksi uusia ja ennalta arvaamattomia ominaisuuksia. Nanomateriaalien ominaisuudet eroavat saman aineen suuremmista kappaleista. Erot johtuvat koon lisäksi isommasta pinta-alasta ja partikkelien liikkeestä, jolloin niillä on enemmän kosketuksia ympäristön kanssa. Nanopartikkeleilla voi myös olla alhaisempi sulamispiste (Kuva 2). Nanoskaalassa myös kvantti-ilmiöt vaikuttavat partikkeleihin. (Heino & Vuento 2005: 99.)



Kuva 2. (a) Sulamislämpötila partikkelin halkaisijan funktiona. (b) Sulamislämpötila pinta-alan ja tilavuuden suhteen funktiona. (Muokattu lähteestä Rogers ym. 2015)

Vain pienessä osassa insinööritieteitä ei sovelleta jollakin tapaa erilaisia materiaaleja (Theodore 2006: 63). Synteettisiä nanomateriaaleja on tuhansia, joista kaupallisesti merkittäviä on noin 200 (Heikkinen 2013).

### 3.1.1 Nanomateriaalit hiilestä

Nanoteknologian veturiksi ovat muodostuneet hiilestä valmistetut materiaalit. Hiilen ominaisuuksien takia siitä voidaan valmistaa monenlaisia materiaaleja ja partikkeleja. (Heino & Vuento 2005: 103.) Hiilestä valmistetut nanomateriaalit ovat kiivaan tutkimuksen kohteena ja niille on löydetty monia erilaisia sovelluskohteita. Pelkästään hiileen perustuvia nanomateriaaleja on monia, mutta tässä keskitytään kolmeen: grafeeniin, hiilinanoputkiin ja fullereeneihin. Muita hiilimateriaaleja ovat nanokokoiset timantit, kuidut ja säikeet.

Grafeeni on yksi hiilen muoto, jota tavataan myös luonnossa. Se koostuu hiiliatomeista, jotka ovat liittyneet toisiinsa niin, että muodostuu verkkomainen tasorakenne, jossa yksi hiiliatomi muodostaa sidoksen kolmen muun hiiliatomin kanssa. Näin syntyy kaksikulotteinen kuusikulmioiden muodostama jatkuva materiaali, jolla on omanlaiset ominaisuudet. (Hiltunen & Hiltunen 2014: 115.) Grafeeni on ensimmäinen kaksikulotteinen materiaali, jota on pystytty valmistamaan laboratoriossa, ja se löydettiin vasta vuonna 2004 (Turunen 2015; Novoselov ym. 2012).

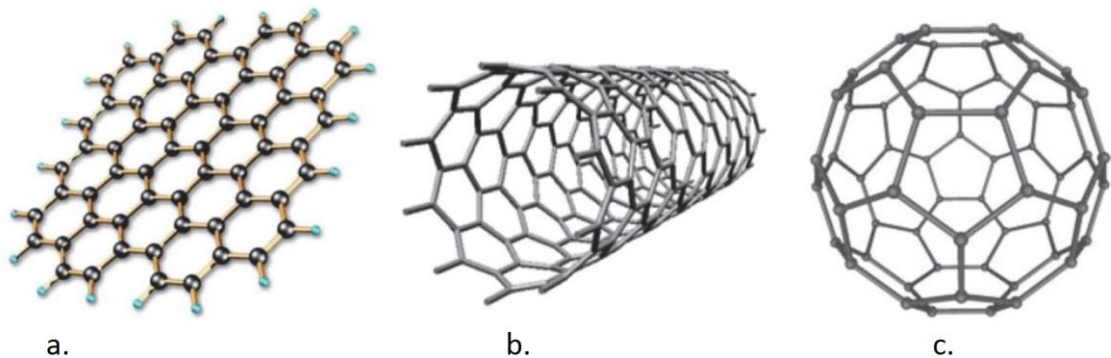
Grafeenin useisiin hyödyllisiin ominaisuuksiin kuuluu kestävyys ja lujuus, jotka verrattaessa teräkseen ovat jopa 300-kertaisia. Sillä on hyvä sähkön- ja lämmönjohtokyky ja sulamispiste yli 3000 °C. (Turunen 2015.) Grafeeni on lähes läpinäkyvää ja taipuisaa. (Hiltunen & Hiltunen 2014: 116; Novoselov ym. 2012) Grafeeni on kevyttä, tiheydeltään 0,77 mg/m<sup>2</sup>. Paperi on tuhat kertaa painavampaa. (Turunen 2015). On myös havaittu, että grafeeni pystyy tuhoamaan kolibakteereja. Tavanomaisiin materiaaleihin verrattuna grafeeni on ympäristöystävällistä, koska se sisältää vain hiiltä. (Paukku 2013: 36; Hiltunen & Hiltunen 2014: 116.)

Grafeeniin perustuva toinen hiilinanomateriaali on hiilinanoputket. Nämä putket ovat kuin rullalle kääntynyttä grafeenia. (Hiltunen & Hiltunen 2014: 119.) Putken muodossa hiili saa jälleen uudenlaisia ominaisuuksia. Hiilinanoputket voivat olla pituudeltaan ja läpimitaltaan erikokoisia. Kapeimmat putket ovat noin nanometrinhalkaisijaltaan. Pituus voi vaihdella sadoista nanometreistä mikrometreihin tai jopa senttimetreihin asti. (Heino & Vuento 2005: 108; Lestelä 2009: 21.) Hiilinanoputket voivat muodostaa rakenteita, joissa on useampi putki sisäkkäin (Wilson 2002: 89).



Hiilinanoputkilla on grafeeninkaltaiset fysikaaliset ominaisuudet. Ne voivat toimia sähkönjohteena tai puolijohteena, tyypistä riippuen. Niissä on havaittu myös suprajohtavuutta. (Heino & Vuento 2005: 108.) Hyvien sähköisten ominaisuuksien takia hiilinanoputkia on tutkittu biosensoreina elintarvikealalla (Lestelä 2009: 22).

Fullereeni on ensimmäinen löydetty hiilinanomateriaali, joka on pallonmuotoinen. Fullereenin voi muodostaa eri määrä hiiliatomeja, esimerkiksi  $C_{60}$  tai  $C_{70}$ , joissa luku ilmaisee hiiliatomien määrän. Pallorakenteessa voi olla mukana kuusikulmioiden lisäksi viisi- ja seitsemänkulmioita. Tärkeä fullereenin ominaisuus on että, sen sisään voidaan sijoittaa atomeita. (Wilson 2002: 87–88.) Fullereenin halkaisija on alle 1 nm. Niitä voidaan valmistaa korkeissa lämpötiloissa grafiittitangosta heliumin läsnäollessa ja paineistamalla. Fullereenit ovat erittäin lujia ja pysyviä molekyylejä. Liittämällä niiden pintaan erilaisia molekyylejä voidaan saada aikaan erilaisia ominaisuuksia. (Lestelä 2009: 20.) Kuvassa 3 on esitetty hiilinanomateriaalien rakenteita.



Kuva 3. Hiilinanomateriaaleja. a) grafeeni, b) hiilinanoputki c) fullereeni (Muokattu kohteesta Graphite to Graphene... in a Kitchen Blender. 2014.)

### 3.1.2 Metalliset nanopartikkelit

Metallien yleisiä ominaisuuksia ovat hyvä sähkön- ja lämmönjohtokyky, kestävyys ja jäykkyys (Theodore 2006: 64). Metallien hallinta alle 100 nm:n kokoluokassa on uutta, ja hyvä kokojakauman, dispersion ja pintaominaisuuksien hyödyntäminen on kehitty-mässä. Kun metallipartikkeleja tuotetaan nanomittakaavassa ominaisuudet vaihtuvat verrattuna tavanomaisiin kappaleisiin. Muuttuvia ominaisuuksia ovat muun muassa sulamispisteen aleneminen, kemiallinen reaktiivisuus, katalyyysinopeuden kasvu ja kvanttiominaisuuksien ilmeneminen. Metallisten nanopartikkelien kokoaminen suuremmiksi

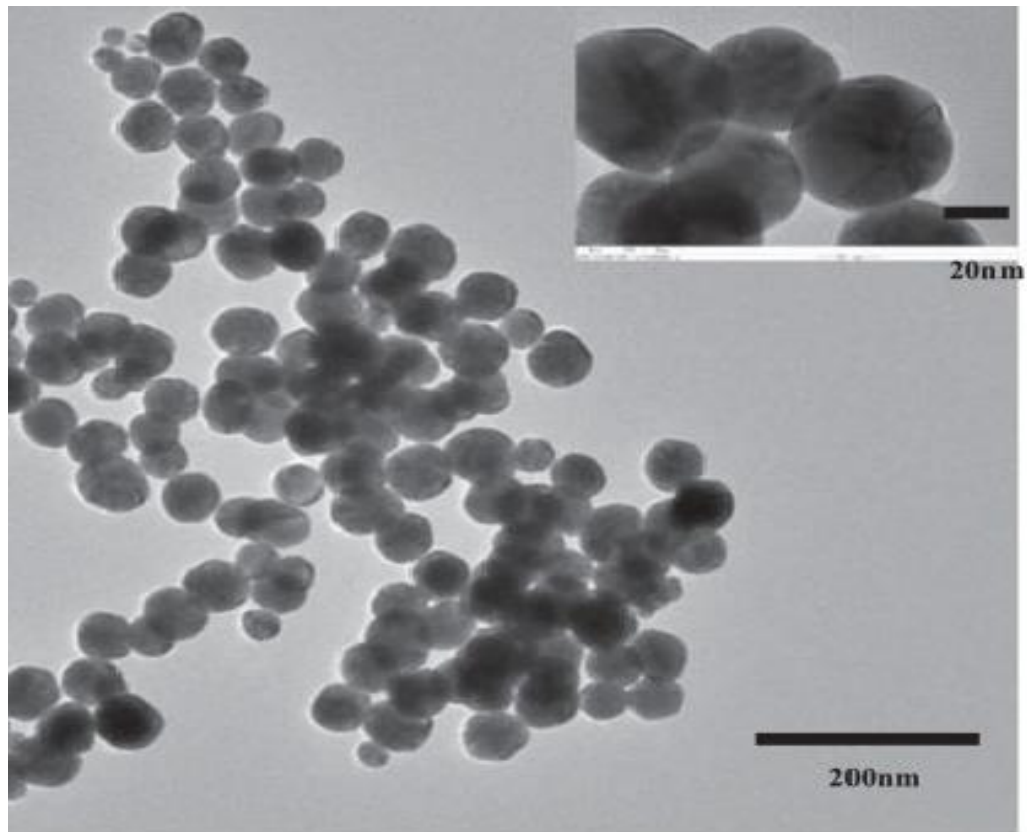
rakenteiksi muuttaa metallin vahvuutta, kovuutta ja vetolujuutta verrattuna tavallisiin rakenteisiin. (Theodore 2006: 246.)

Pienen koon vuoksi syntyy myös ongelmia. Pienet partikkelit ovat helpommin alttiita reagoimaan ja joskus hapettuvat räjähdyksenomaisesti. Tällöin niitä ei voi käsitellä ilmassa ja niihin on laitettava passivoiva kerros tai käsiteltävä inertissä ympäristössä. Agglomeroituminen eli kasaantuminen on sekin pienten hiukkasten hallinnan ongelma. (Theodore 2006: 246.)

Metalliset nanopartikkelit ovat yksinkertaisimpia tuotettuja nanomateriaaleja. Yleisimpiä nanokoon metalleja, joita on hyödynnetty, ovat alumiini, kupari, rauta, hopea ja kulta. Biotieteissä tutkitaan paljon metallien soveltuvuutta esimerkiksi biosensoreihin, solujen ja biomolekyylien merkkiaineisiin ja syövän hoitoon. (Hester & Harrison 2007: 7.)

Hopeisilla nanopartikkeleilla on huomattu olevan erinomainen sähkönjohtokyky sekä antimikrobisia ominaisuuksia (Hester & Harrison 2007: 7; Theodore 2006: 248). Nanohopeapartikkeleilla on todella suuri pinta-ala, jolloin materiaalia ei tarvitse käyttää paljoa, jotta voitaisiin saavuttaa hyvä tehokkuus. Tähän mennessä nanokokoista hopeaa on käytetty ainesosana torjunta-aineessa, kuluttajatuotteissa, jotka ovat antimikrobisia ja läpinäkyvässä johtokäytössä musteissa. (Theodore 2006: 248.)

Kultaisten nanopartikkelien (Kuva 4) valmistaminen verrattuna muihin metalleihin on helpompaa, koska kulta on luonteeltaan kemiallisesti stabiilimpaa. Kolloidista kultaa on käytetty lääketieteen sovelluksissa ja uusia käyttökohteita on kehitteillä. Katalyyttisten ominaisuuksien takia kultananopartikkeleita käytetään hapetusprosesseissa. Tällaisia prosesseja ovat hiilidioksidin hapettaminen vetyvirrassa, propeenin selektiivinen hapettaminen ja typpipitoisten kemikaalien hapettaminen. Muita sovelluskohteita on optiikassa ja elektroniikassa, joihin kuuluu sensoreiden ja antureiden komponentit. (Theodore 2006: 248.)



Kuva 4. TEM- kuvia kultananopartikkeleista (Muokattu lähteestä Chen ym. 2014)

Neulan muotoisia rautapartikkeleja, joiden halkaisija on välillä 50–100 nm ja pituus noin 20 nm, käytetään digitaalisen ja analogisen datan magneettiseen tallentamiseen. On huomattu, että nämä partikkelit voivat tallentaa viisi-kymmenkertaisesti magneettista tallennuskapasiteettia per yksikkö. Palladiumilla päällystettyjä rautapartikkeleja, joiden halkaisija on 100–200 nm, voidaan mahdollisesti käyttää pohjaveden puhdistamisessa, jolloin vedestä poistuu klooriyhdisteitä. (Theodore 2006: 246–247.)

Hiilinanoputkien lisäksi nanokokoisia putkia on valmistettu muistakin materiaaleista mukaan lukien kupari, rauta, oksideista ( $\text{TiO}_2$  ja  $\text{ZnO}$ ), nitrideistä (boorinitridi, BN ja galliumnitridi GaN) sekä muista epäorgaanisista molekyyleistä (Rogers ym. 2015: 121).

### 3.1.3 Metallioksidit

Suurin tuotettujen nanopartikkelien ryhmä on metallioksidit. Metallioksideja on myös eriten eri koostumuksen mukaan luokiteltuna. Niihin kuuluvat titaanidioksidi ( $\text{TiO}_2$ ), sinkkioksidit ( $\text{ZnO}$ ) ja raudan oksidit. (Hester & Harrison 2007: 7–8.) Käyttökohteita oksideilla on monia erilaisia. Kosmetiikassa ja pintamateriaaleissa sovelletaan paljon oksideista valmistettuja nanopartikkeleita.

Titaanidioksidi on paljon tuotettu epäorgaaninen pigmentti, ja mikrometriluokan  $\text{TiO}_2$  - jauheita käytetään laajasti pinnoitteena, paperi- ja muovisovelluksissa sekä täyte- ja valkaisuaineena. Sovelluksissa, joissa käytetään nanometriluokan  $\text{TiO}_2$  -partikkeleja, kuten UV-valon blokkauksessa partikkelikoko on 50 nm tai pienempi. Nämä partikkelit transmittoivat valon energiaa näkyvillä aallonpituuksilla heijastaen UV-valoa. Kosmetiikka-tuotteisiin ja aurinkovoiteisiin voidaan lisätä titaanidioksidia UV-suoja-aineeksi. Monikäyttöistä titaanidioksidia hyödynnetään myös sairaaloissa ja ravintoloissa, sillä sen ominaisuuksiin kuuluu myös helposti puhdistuvuus.  $\text{TiO}_2$  -nanopartikkelit ovat katalyyttisiä, valokatalyyttisiä ja omaavat hyviä sähköisiä ominaisuuksia. Aurinkokennoissa, korroosionestossa ja elektroniikassa löytyy myös käyttökohteita titaanidioksidille. (Theodore 2006: 250.)

Sinkkioksidia käytetään titaanidioksidin tapaan UV-suoja-aineena, mutta se suojaa laajemmalla valon spektrin alueella (UV-A ja UV-B, kun  $\text{TiO}_2$  vain UV-B). Käyttökohteita löytyy kosmetiikassa, aurinkosuojissa ja lisäksi jalkavoiteissa tuhoamaan sieniä.  $\text{ZnO}$ :a voidaan sekoittaa keraameihin ja kuminkäsittelyssä lisäämään kestävyyttä sekä kuluminen kestoja. (Theodore 2006: 251.)

Raudan oksideista nanoteknologiassa käytetään ferrioksidia ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) pigmenttisovelluksissa ja magneettista oksidia ( $\text{Fe}_2\text{O}_4$ ), sähkömagneettisissa tarkoituksissa. Ferrioksidiset nanopartikkelit ovat läpikuultavia näkyvän valon taajuuksilla, mutta läpinäkymättömiä UV-valossa ja ultrapienen partikkelikoon vuoksi voidaan valmistaa epätasaisia, läpinäkyviä päällysteitä, joilla on UV-valoa heijastavia kykyjä. Kun magneettisia rautapartikkeleja liuotetaan nesteisiin, syntyy niin sanottuja ferronesteitä, jotka reagoivat sähkömagneettiseen kenttään hyödyllisellä tavalla. Ferrofluideja on käytetty monissa teollisissa ja lääketieteellisissä sovelluksissa vuosikymmeniä. Pelkän raudan tapaan raudan oksideja

voidaan käyttää tiedon tallentamiseen ja lisäksi edistyneemmissä magneeteissa, superkondensaattoreissa sekä useissa lääketieteellisissä diagnostiikkalaitteissa. (Theodore 2006: 248–249.)

#### 3.1.4 Polymeerit ja komposiitit

Nanomateriaalit voivat olla useiden materiaalien seoksia eli komposiitteja (Itävaara ym. 2008: 4). Komposiitit koostuvat kahdesta tai useammasta komponentista ja yhdistelmällä saadaan aikaan ominaisuuksia, joita ei yksittäisillä materiaaleilla ole (Theodore 2006: 64).

Kemiassa on tavallista, että muutaman atomin muodostama perusyksikkö, monomeeri, kertaantuu lukuisia kertoja muodostaen suuria määriä erilaisia rakenteita, polymeerejä. Kemianteollisuudessa tärkeässä roolissa ovat synteettiset polymeerit. Synteettiset polymeerit ovat yleensä muoveja. (Heino & Vuento 2005: 53, 65–66.) Monet polymeerit valmistetaan polymerisaation avulla orgaanisista molekyyleistä. Polymeerimateriaalien ominaisuuksia ovat keveys, taipuvuus ja korroosionkesto. (Theodore 2006: 64.)

Polymeeriset biomolekyylit, DNA ja proteiinit, ovat luonnosta löytyviä ihmisen hyödyntämiä polymeerejä. DNA:ssa neljä emästä muodostaa ketjun, jonka pituus voi vaihdella suuresti, mutta halkaisija on noin 2 nm (McMurry & Simanek 2007: 526).

Keraamit ovat yhdisteitä, jotka ominaisuuksiltaan sijoittuvat metallisten ja epämetallisten väliin. Ne ovat useimmiten oksideja, nitridejä tai karbideja. Keraamisten materiaalien luokitteluun sisältyy mineraaleja, sementti ja lasi. Tyypillisesti keraamit kestävät hyvin kuumuutta ja eristävät sähköä. Muita keraamien ominaisuuksia on korroosionkesto, vahvuus ja kovuus. Toisaalta keraamit saattavat olla hauraita. (Theodore 2006: 64.)

Nanoteknologiassa hyödynnetään luonnon polymeereistä ja synteettisistä polymeereistä tehtyjä partikkeleita ja materiaaleja. Mahdollisia erilaisia rakenteita on lukematon määrä, johtuen jo pelkästään monomeerien lukumäärästä ja mahdollisista kombinaatioista.

### 3.1.5 Dendrimeerit ja misellit

Dendrimeerit ovat rakenteeltaan haaroittuneita, puun oksia muistuttavia molekyyli-rakenteita. Dendrimeerit muodostuvat askelmittain fraktaalimaisesti sisällä olevan molekyylin jatkeeksi. Tyypillisesti nämä rakenteet ovat sitoutuneena kovalenttisin sidoksin ja halkaisija on alle 5 nm, mutta suurempia 100 nm:n dendrimeerejä, joissa on suuri määrä haaroja, on myös valmistettu. Dendrimeerien uloimpien haarojen atomit ja molekyylit määrittelevät kunkin rakenteen luonteen. Kemiallinen reaktiivisuus, stabiilius, liukoisuus ja myrkyllisyys määräytyvät uloimpien haarojen mukaan. Muokkaamalla uloimpia kerroksia saadaan aikaan dendrimeerejä, jotka voivat siepata muita molekyyliä. Tätä ominaisuutta käytetään hyödyksi herkkien yhdisteiden suojaamisessa ja veden puhdistamisessa haitallisista aineista. Muita käyttökohteita löytyy lääketieteessä, sensoreissa, katalyyteinä ja päällysteissä. (Rogers ym. 2015: 121–122; Heino & Vuento 2005: 145.)

Misellit ovat dendrimeerien kaltaisia partikkeleja, jotka muodostuvat itsestään vesiliuoksissa. Itsestäänjärjestäytymisen avulla tietynlaiset molekyylit, pinta-aktiiviset aineet, koontuvat muodostaen erilaisia rakenteita. Pinta-aktiiviset aineet koostuvat hydrofiilisestä ja hydrofobisesta osasta. Vesiliuoksissa tällaiset molekyylit kasaantuvat niin, että hydrofobinen osa ei ole kosketuksissa veden kanssa. Kun vedessä on tietty konsentraatio pinta-aktiivisia aineita misellit muodostuvat spontaanisti muodostaen 2–10 nm kokoisia muodostelmia. Riippuen molekyylien rakenteesta ja konsentraatiosta misellin pysyvyys vaihtelee suuresti, jopa kuukausista mikrosekunteihin. Solukalvot ovat misellinkaltaisia rakenteita, jotka ovat muodostuneet hydrofiilisestä ja hydrofobisesta osasta. (Rogers ym. 2015: 123.)

### 3.1.6 Biomateriaalit

Biomateriaalit määritellään materiaaleiksi, joita elimistö ei hyli ja jolla voidaan korjata tai korvata vaurioituneita elimistön osia. Lainsäädännössä ei tunneta termiä vaan puhutaan lääketieteellisestä laitteesta. Biomateriaali on yleisnimike tutkimuksessa ja kehityksessä. Hyödynnettäessä biomateriaaleja on tärkeää tuntea niiden koostumus, synteesi, rakenne sekä fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet. Sovelluskohteita löytyy biotekniikassa, lääkekehityksessä, elintarvikkeissa ja kemianteollisuudessa. Hyödyllisiä ominaisuuksia ovat luonnollisuus, kuitumaisuus, myrkyttömyys, spesifisyys ja geelimäisyys. (Mattinen 2015.)

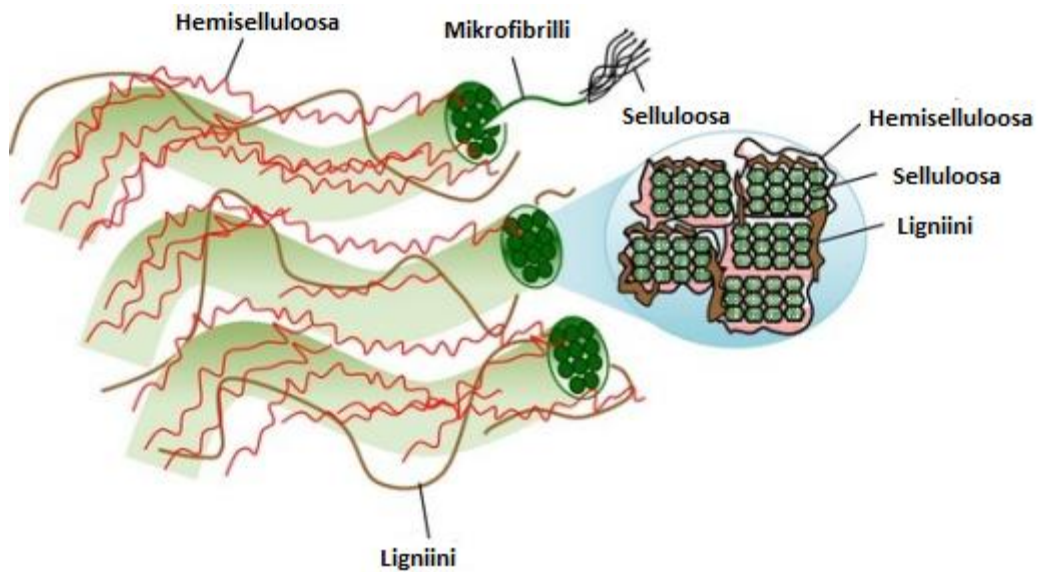
Biomateriaaleja on testattava ennen tuotteistamista ja kaupallistamista. Biomateriaalien toksisuudesta ja bioyhteensopivuudesta ei voi tehdä yleistyksiä, vaikka niissä olisi samankoisia rakenneosia, koska kemiallinen rakenne ja fysikaaliset ominaisuudet eroavat. Biomateriaaleja on monenlaisia, mutta kahtiajako voidaan tehdä synteettisiin ja luonnon materiaaleihin. Biomolekyylit esiintyvät eliöissä, joista niitä voidaan eristää. (Mattinen 2015.)

Kaikkia esiteltyjä materiaaleja: hiilimateriaaleja, metalleja, oksideja, keraameja, polymeerejä, komposiitteja ja kvanttipisteitä voidaan hyödyntää biomateriaaleina (Theodore 2006: 64; Mattinen 2015).

### Selluloosa

Selluloosa on maapallon yleisin uusiutuva orgaaninen materiaali, jota syntyy vuodessa miljardeja tonneja. Tehtävänä luonnossa selluloosalla on säilyttää kasvien solurakenteita (Kuva 5). Merissä mikrobit tuottavat selluloosaa. Selluloosa eristettiin ensimmäisen kerran vuonna 1838, mutta tarkkaa synteesimekanismia ei ole vielä selvitetty. (Mattinen 2015.)

Selluloosalla on suuri molekyylipaino, sillä se rakentuu glukoosiyksiköistä, joita voi olla tuhansia. Ketjumuotoiset selluloosamolekyylit sitoutuvat toisiinsa vetysidoksilla. Selluloosa ei liukene veteen ja sietää kemikaaleja, ja se ei sovellu ihmisravinnoksi, koska se ei hajoa kunnolla suolistossa. Sitä käytetään kuitenkin elintarvikkeissa lisäaineena (mikrokiteinen selluloosa). (Mattinen 2015.)



Kuva 5. Kasvin soluseinän rakenne, jossa selluloosamolekyylit ja ligniini sitoutuneena toisiinsa. (Muokattu lähteestä: Lee ym. 2014)

Nanoselluloosaa pidetään hyvänä vaihtoehdona fossiilisille raaka-aineille ja metalleille. NykYTEKNIKOILLA nanomittakaavan ominaisuuksia voidaan muokata ja lääketieteellisiäkin käyttökohteita olisi olemassa. Nanosellua on kuitumaisena: nanofibrilloitu selluloosa, NFC; mikrofibrilloitu selluloosa MFC; bakteerinanoselluloosa, BNC. Kiteisessä muodossa: nanokiteinen selluloosa, NCC ja mikrokiteinen selluloosa, MCC. (Mattinen 2015.)

Nanoselluloosaa valmistetaan puun lisäksi oljista, sokerijuurikkaasta tai banaanin ja perunan kuorista. Valmistuksessa on useita eri vaiheita pilkkomisesta kemikaalikäsittelyyn. Kuiduista saadaan 20–40 nm:n pituisia. Suomessa keskitytään mikrofibrilloidun selluloosan tutkimiseen ja kehittämiseen. Tutkimustietoa tarvitaan lisää, jotta lukuisat käyttömahdollisuudet saadaan toteutettua. (Mattinen 2015.)

Lääketieteellisessä tutkimuksessa kehitellään nanoselluloosasta valmistettua alustaa, jossa pystyttäisiin kasvattamaan ihmissolukkoa. Rakenteena on pieneksi pilkottu kiteinen selluloosa. Kokeissa kantasolut ovat viihtyneet alustassa, joka ei aiheuta hylkimisreaktiota ja varastoi kosteutta, jota solut tarvitsevat. Kantasolututkimuksessa ja lääkekehityksessä solujen normaali kasvu ja toimiminen ovat hyödyksi. Tavoitteena olisi ihmisten varaosien tuottaminen. Lihasten, hermojen ja verisuonten solut toimivat nanosellussa kuin aidossa ihmisessä. (Telkänranta 2015.)



## Ligniini

Ligniini on maapallon toiseksi yleisin biopolymeeri, muodostaen 15–25 % biomassasta. Ligniini on selluloosaa paljon kompleksisempi polymeeri. Se muodostuu monista erilaisista monomeereistä ja yleensä puhutaan ligniineistä. Ligniinien eristäminen luonnollisessa muodossa tutkimuksia varten on vaikeaa ja teknisesti haastavaa. Ligniinejä käyttämällä kyetään vähentämään fossiilisten raaka-aineiden käyttöä niin kuin selluloosan kohdallakin. (Mattinen 2015.)

Ligniinien biosynteesi on vieläkin monimutkaisempaa kuin selluloosalla. Fenoliyhdisteitä, joista ligniinit rakentuvat, on kolmisen kymmentä ja rakenteeltaan ligniini on haaroittunut. Rakenne on myös epäsäännöllinen ja heterogeeninen. Luonnossa ligniinit sitovat itseensä muita molekyyliä ja toimivat ”liimana” sekä suojana. (Mattinen 2015.)

### 3.1.7 Kvanttipisteet

Kvanttipisteet ovat kvanttirajoitettuja nanopartikkeleja. Niitä kutsutaan myös nanokiteiksi. Kun jonkin materiaalin hiukkaskoko pienenee tarpeeksi paljon niin siihen osuva valo viirtää elektroneja, jolloin materiaali ei enää pura saamaansa säteilyä lämpönä vaan valona. Syntyy fluoresenssi-ilmiö. Puolijohdemateriaalista tehdyt nanokiteet ovat erivärisiä kuin saman materiaalin suuremmat kappaleet. Kvanttipisteiden koko on muutamista nanometreistä kymmeneen nanometriin. Galliumarsenidista, GaAs, tehty kuutio, jonka sivu on 10 nm, sisältää noin 40 000 atomia. (Heino & Vuento 2005: 76, 102.)

Materiaaleilla, joissa on sovellettu kvanttirajoitusta, on mielenkiintoisia optisia ja sähköisiä ominaisuuksia. Partikkelin kokoa ja materiaalia muuttamalla sen fluoresenssiemissiota voidaan säätää niin, että saadaan esille säteilyn spektrialue ultravioletista infrapunaan asti. (Heino & Vuento 2005: 77.)

Kvanttipisteiden ominaisuudet tekevät niistä kiinnostavia biosovellusten leima-aineina. Kvanttipisteitä voidaan kapseloida liposomeihin ja hyödyntää biokuvantamisessa. Liposomissa oleva kvanttipiste pääsee soluun helposti sisään liposomin kalvon sulautuessa solukalvoon. (Heino & Vuento 2005: 102.)

### 3.2 Elektroniikka

Yksi keskeisimpiä nanoteknologian sovellusalueita on elektroniikka. Nanomateriaalien tutkimus ja kehitys ovat laajuudeltaan ja tieteelliseltä tasoltaan korkeinta modernissa elektroniikassa. Materiaalien hallinta ja rakenteet ovat tärkeitä muun muassa tietokoneen komponenteissa. Integroiduissa piireissä rakenteiden koko on jo pudonnut aivan nanoskaalan alapäähän. (Itävaara ym. 2008: 6.)

Nykyään moderni prosessori sisältää miljardeja transistoreja (Trelles 2011). Integroiduissa piireissä komponentit ovat yhdistettynä toisiinsa yhdelle piikiekolle aina vain pienemmälle alueelle (Wilson 2002: 195). Piipohjaiset puolijohteet hallitsevat elektroniikkateollisuutta. Seostamalla epäpuhtauksia puolijohteisiin niistä saadaan aikaan kahdentyyppisiä johteita: n-tyyppin ja p-tyyppin puolijohteet. N-tyyppissä on elektroniylimäärä, joka kuljettaa virtaa ja p-tyyppissä elektroniaukko, jonka täytyminen kuljettaa virtaa. (Wilson 2002: 192–193.)

Tietokoneiden tehon jatkuva kasvu perustuu komponenttien pienenemiseen, mutta raja miniatyrisoinnissa alkaa tulla vastaan ja uusia keinoja laskentaan on kehitteillä. Hiilen nanomateriaalit ovat yksi lupaava materiaali mikropiirien valmistamiseen (Itävaara ym. 2008: 6). Muita keinoja voisi olla molekyyliin, kuten DNA:han, perustuva laskenta ja kvanttietokoneet (Wilson 2002: 188).

Tavallisten tietokoneiden laskenta ja datan hallinta perustuvat bitteihin. Bitin arvo voi olla 1 tai 0, eli "on" tai "off". Kvanttietokoneissa niin sanotut "kubitit" toimivat laskennassa. Kubitin arvo voi olla 1 tai 0 ja lisäksi näiden superpositio, jolloin arvo on samanaikaisesti molemmat. Tämä kvanttiominaisuus tavataan atomeilla ja elektroneilla. Menetelmällä saavutetaan nopeampi laskutehokkuus, joka on miljardi kertaa nopeampi kuin tavallisessa integroidussa piirissä. (Theodore 2006: 443.)

DNA:lla on käytettävissään neljä eri merkkiä eli emästä informaation merkitsemiseen nollan ja ykkösen sijaan. DNA on todella tehokas tiedon varasto, koska yhden bitin säilymiseen tilaa kuluu vain noin kaksi kuutionanometriä. Nykyisten tietokoneiden toiminnan perustuessa jonomaaiseen ajatteluun DNA-tietokoneet pystyvät käsittelemään informaatiota rinnakkaisesti paljon tehokkaammin. Rinnakkaisuuden takia on mahdollista saavuttaa erittäin suuria parannuksia laskutehokkuuteen ja samalla tilaa ja energiaa tarvitaan vähemmän. (Heino & Vuento 2005: 125.)

### 3.3 Nanorakenteiden tutkiminen ja valmistaminen

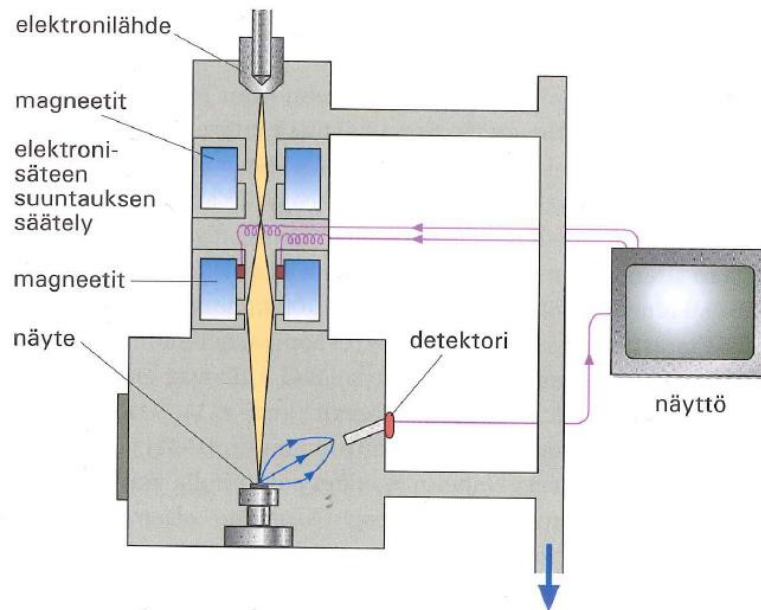
#### 3.3.1 Mikroskopiat

Tavallisella valomikroskoopilla ei voi nähdä nanometriluokan objekteja. Valomikroskoopin erotuskyky on parhaimmillaan noin 200 nm. Tarkasteltavien kohteiden suurennus saadaan valomikroskoopilla 1500-kertaiseksi, jolloin havaitaan esimerkiksi soluista solukalvot ja tuma. (Seitz 2010.) Parempaan erotuskykyyn päästään elektronimikroskoopien SEM (Scanning Electron Microscope) ja TEM (Transmission Electron Microscope) sekä atomivoimamikroskoopin AFM (Atomic Force Microscope) ja pyyhkäisytunnelointimikroskoopin STM (Scanning Tunneling Microscope) avulla.

Yllä mainituilla mikroskopiolla tutkitaan nanomateriaalien kokoa, muotoa ja ominaisuuksia. Kokoa mitattaessa liikutaan nanometriluokassa ja tarkkuudeksi saavutetaan alle yksi nanometri. Lisäksi voidaan mitata massaa, voimia ja sähköisiä tai muita ilmiöitä. Nanoteknologian kehityksessä mittaamisella on suuri vaikutus. Nanokohteiden mittaamiseen vaikuttaa paljon ympäristö ja fysikaaliset tekijät kuten lämpötila. (Heino & Vuento 2005: 115.)

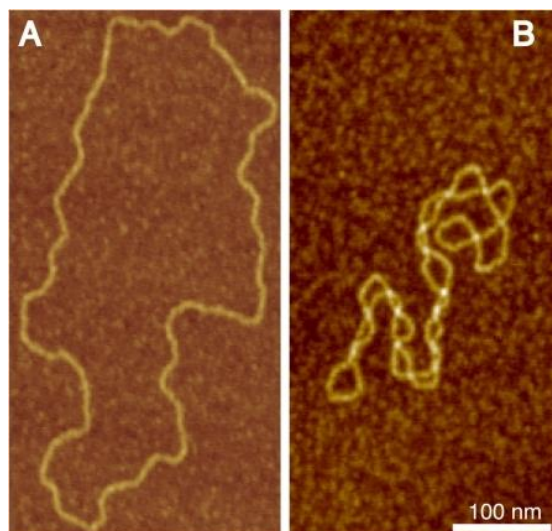
Ensimmäinen elektronimikroskooppi rakennettiin jo 1930-luvulla ja menetelmä on ollut yleisessä käytössä nanoluokan rakenteiden kuvantamisessa 1950-luvulta lähtien. TEM on menetelmä, jossa elektronisuihku läpäisee näytteen, jolloin saadaan tietoa rakenteiden pinnoista ja sisäosista. Näytteiden on oltava ohuita (alle 100 nm). Toiminnaltaan TEM muistuttaa valomikroskooppia, mutta valon sijaan käytetään elektronisuihku tyhjiössä, jota ohjataan magneeteilla. SEM:llä tutkitaan kohteiden pintoja. Siinä elektronisuihku kohdistetaan noin yhden nanometrin alueelle kerrallaan ja näyte käydään läpi järjestelmällisesti. Pinnan kuva muodostuu sironneista elektroneista, jotka detektoidaan. (Heino & Vuento 2005: 115–116.)

Kuvassa 6 on esitetty SEM:n toimintaperiaate, jossa pinnan muodot detektoidaan ja ne saadaan tutkittavaksi näyttölaitteelle.



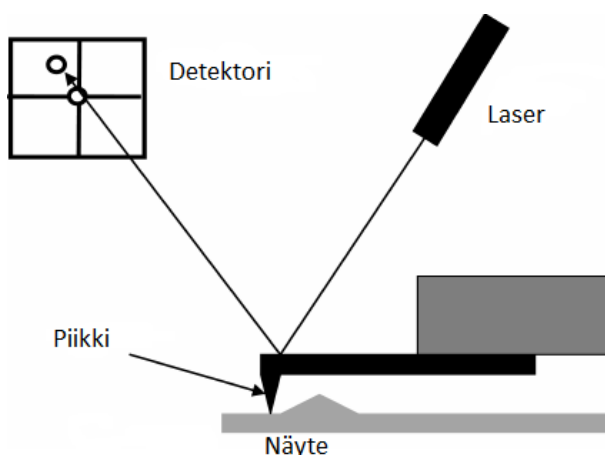
Kuva 6. SEM:n toimintaperiaate (Heino & Vuento 2005: 116)

Voimamikroskopioiden AFM ja STM ovat nanoteknologian tärkeimpiä kuvantamismenetelmiä. STM kehitettiin 1981, ja vuotta myöhemmin, sillä saavutettiin atomitasoisen erotuskyky. AFM kehitettiin 1985 ja sillä saavutettiin atomitasoisen erotuskyky 1987. Voimamikroskopioidella tutkitaan lähinnä kohteiden pintoja tai molekyylien muotoa ja rakennetta. Samoilla tekniikoilla voidaan siirrellä atomeja ja molekyyliä uuteen järjestykseen. (Heino & Vuento 2005: 117.) Kuvassa 7 on kaksi AFM-kuvaa bakteri-DNA:sta.



Kuva 7. Kaksi AFM-kuvaa bakteri-DNA:sta. A: avonainen rihma. B: kiertynyt rihma (Witz & Stasiak 2010)

Atomivoimamikroskoopin toiminta (Kuva 8) perustuu tukivarren päässä olevaan piikkiin, jota liikutellaan näytteessä sen koskettaen pintaa tai ollen hieman sen yläpuolella. Kärjen halkaisija on vain muutamia nanometrejä. Sitä liikutellaan näytteen yllä mitattavan alueen läpi, jolloin pinnanmuodot liikuttavat tukivartta ja lasersäteen avulla rekisteröidään kohoumat. Tietokoneella yhdistetään paikkatiedot ja pinnan kohoumat. Kuvaksi saadaan topologinen kartta kohteesta. (Heino & Vuento 2005: 117)



Kuva 8. Atomivoimamikroskoopin toimintaperiaate. (Muokattu lähteestä Wang ym. 2014)

Pyyhkäisy-tunnelointimikroskoopi on samantapainen laite kuin atomivoimamikroskoopi, mutta siinä käytetään hyväksi tunnelointi-ilmiötä pinnan tarkastelussa. Koetinta liikutellaan näytteen yllä tyhjiössä, jolloin pinnasta irtoaa elektroneja ja ilmiö on mitattavissa sähkövirtana. Näin saavutetaan atomitaso erotuskyky ja atomien manipulointikyky. (Heino & Vuento 2005: 117–118.)

Voimamikroskopiolla voidaan mitata myös voimia, jotka vaikuttavat molekyyli-tasolla, kun syntyy erilaisia sidoksia. AFM:n kärkeen voidaan sijoittaa vain yksi testimolekyyli ja sen irtautuessa saadaan mitattua voima, joka syntyy molekyylin tarttuessa uuteen kohteeseen. Proteiinien ominaisuuksien kuten elastisuuden ja sidosten stabiiliuden tutkimuksessa käytetään näitä menetelmiä. (Heino & Vuento 2005: 117–118.)

### 3.3.2 Yleiset valmistustekniikat

Nanoteknologiassa on erilaisia tekniikoita ja lähestymistapoja rakenteiden valmistuksessa. Tässä esitellään ”top-down” ja ”bottom-up”, litografia, CVD (Chemical Vapor Deposition), ALD (Atomic Layer Deposition), sooli-geeli-menetelmä ja itsestään järjestäytyminen (”self-assembly”).

Kaksi periaatteeltaan erilaista lähestymistapaa valmistettaessa nanorakenteita on ”top-down” ja ”bottom-up”-menetelmä. Top-down-menetelmässä isosta materiaalipalasta muokataan aina vain pieneneviä rakenteita. Bottom-up:ssa lähdetään liikkeelle toisesta suunnasta eli aloitetaan atomeista ja molekyyleistä kasaamaan isompia rakenteita. (Wilson 2002: 26.) Top-down-menetelmää käytetään valmistettaessa esimerkiksi nanoelektroniikkaa pienentäessä komponentteja ja bottom-up-menetelmässä suurella tarkkuudella asetellaan atomit ja molekyylit haluttuun paikkaan, jolloin muodostuu erilaisia rakenteita ja materiaaleja (Wilson 2002: 190).

Litografiassa tekniikoita käyttäen pinnoille siirretään tietokoneen avulla tuotettu kuvio, jota hyödynnetään, kun perusmateriaaliin muodostetaan kolmiulotteinen kuvio. Kuvio tehdään etsauksella liuosten tai kaasujen avulla poistaen perusmateriaalia kemiallisesti syövyttäen. Litografiamenetelmillä on juurensa puolijohdeteknologiassa. Fotolitografiassa UV-valon avulla pintaan muodostetaan kuvio käyttäen kromikerrosta, jonka paksuus on noin 100 nm. (Heino & Vuento 2005: 132.)

Tarkemmissa litografiatekniikoissa käytetään elektronisuihkua, jonka aallonpituus on pienempi kuin UV-valon ja erotuskyky luokkaa 10 nm. Tuotanto on hidasta, mutta leimaamisen avulla sitä voidaan nopeuttaa, kun elektronisuihkua ei tarvitse käyttää kuin kerran. (Heino & Vuento 2005: 135.)

Hapettaminen, kerrostaminen, ja seostaminen ovat paljon käytettyjä menetelmiä nanoteknologiassa (Heino & Vuento 2005: 133). Näillä menetelmillä valmistetaan sähköisiä eristeitä tai johteita ja passivoidaan pintoja. Hapetus tapahtuu korkeissa lämpötiloissa (900–1200 °C) ja kerrostuksessa käytetään kuumassa höyrystyviä kemikaaleja. Metalleja kerrostetaan käyttämällä metallihöyryjä. (Heino & Vuento 2005: 134.)

CVD:ssä aloitusmateriaali höyrystetään ja sen jälkeen tiivistetään jollekin pinnalle yleensä tyhjiössä. Laskeuma voi olla alkuperäinen materiaali tai uusi ja erilainen aine,

joka on muodostettu kemiallisessa reaktiossa. (Theodore 2006: 233.) Materiaalia kuumennetaan niin, että se muodostaa kaasufaasin ja sen jälkeen sen annetaan asettua pinnalle kiinteänä faasina. Prosessissa muodostuu nanojauheita metallioksideista- ja karbideista, jos hiilen tai hapen höyryjä on mukana metallissa. (Wilson 2002: 59.)

ALD on menetelmä, jossa kaasufaasista materiaaleja sijoitetaan pinnalle ohueksi filmiksi. Menetelmä on CVD:n kaltainen, mutta siinä voidaan kontrolloida materiaalin paksuutta ja koostumusta paremmin. ALD:ssä vakuuutilassa kaasumaisia kemikaaleja syötetään pulsseina ja annetaan reagoita pinnan kanssa. Yhden kerroksen muodostuttua reagoimaton aine poistetaan ja toinen vastareagenssi syötetään pulssina ja poistetaan. Toistamalla reaktiot pinnan paksuus saadaan halutun laiseksi. (Johnson ym. 2014: 236.)

Matalissa lämpötiloissa (alle 100 °C) suoritettu ALD sopii herkille materiaaleille kuten polymeereille ja biologisille kohteille. Titaanidioksidilla on pystytty päällystämään viruksia ALD:n avulla. Lisäksi bioyhteensopivia pinnoitteita implanteille on muodostettu ALD:llä. (George 2010: 119, 128.)

Sooli-geeli prosessi on märkäkemiallinen menetelmä, jonka avulla saadaan syntetisoitua erittäin puhtaita ja homogeenisia nanomittaluokan materiaaleja alemmissä lämpötiloissa verrattuna muihin menetelmiin. Merkittävä hyöty sooli-geeli-prosesseissa on juuri lempeät olosuhteet tavanomaisiin materiaalien prosessoointeihin nähden. Sooli-geeli prosesseja on kahta pääreittiä: epäorgaaninen ja metalli-orgaaninen reitti. Epäorgaanisessa reitissä käytetään raaka-aineena metallisuoloja vesiliuoksessa. Metalli-orgaanisessa reitissä käytetään orgaanisia liuottimia ja metallien hapettuneita muotoja. Ensin mainittu reitti on halvempi ja helpompi käsitellä, mutta reaktiota vaikeampi hallita. (Theodore 2006: 233–234.)

Prosessissa reaktantit sekoitetaan ja prekursorit reagoivat ensin hydrolyyttisesti ja sitten tiivistyvät tai polymerisoituvat hapon tai emäksen läsnä ollessa muodostaen kiinteitä partikkeleja. Nämä soolit, jotka ovat kolloidisia oksidipartikkelien suspensioita, stabiloidaan. Ajan kuluessa kolloidiset partikkelit liittyvät toisiinsa geeliytymisessä ja liuoksen viskositeetti kasvaa. Sooli-geeli voidaan sen jälkeen muodostaa kalvon, kuidun tai bulkkimateriaalin muotoon. (Theodore 2006: 234–235.)

Itsestään järjestäytymisessä tavoitteena oleva rakenne syntyy automaattisesti lähtöaineista (Heino & Vuento 2005: 138). Solujen sisällä olevia rakenteita syntyy lähtöaineista

automaattisesti koeputkissa. Esimerkiksi ribosomit muodostuvat proteiineista ja nukleinihaposta tällä tavalla. Myös virusten rakenteet asentuvat itsestään. (Heino & Vuento 2005: 138.)

Nanoteknologiassa on tavoiteltu itsestään asentuvuutta ja niitä on saatu aikaan biomeettisten eli biologisten rakenteiden matkimisessa orgaanisista lähtöaineista. Biologisia kalvoja muodostuu itsestään asentumalla ja misellitkin kokoontuvat liuoksissa itsestään oikeissa olosuhteissa. Rengasmaisista peptideistä on tehty nanorakenteita, joita syntyy myös bakteereissa. Bakterin pinnalle kasattu rengasrakennelma toimii antibiootina tappaen solun, kun sen läpi pääsee vuotamaan solun sisältöä. (Heino & Vuento 2005: 138.)

## **4 Kyselytutkimus**

### **4.1 Periaatteet**

Kyselytutkimuksella voidaan kerätä tietoa erilaisista ilmiöistä. Siinä tutkimuksen suorittaja esittää vastaajille kysymyksiä, jotka on laadittu niin, että haluttu tieto saadaan mahdollisimman tarkasti kerättyä. Kyselytutkimuksessa laaditaan kyselylomake. Sen välityksellä tieto saadaan kerättyä vastaajilta. (Vehkalahti 2008: 11.) Lomakkeen suunnittelu ja laatiminen ovat tärkeässä roolissa tutkimuksen kannalta, sillä kun vastaukset on annettu niin huonolla lomakkeella saadut vastaukset johtavat todennäköisesti myös huonoihin tuloksiin (Heikkilä 2014).

Tutkimus voi olla luonteeltaan laadullinen tai määrällinen. Laadullisessa tutkimuksessa aineistonkeruumenetelmänä käytetään lomakekyselyitä ja internet- tai sähköpostikyselyitä. Tutkimuksen kohteesta saadun tiedon perusteella pyritään ymmärtämään käyttäytymistä ja syitä toiminnalle. Tutkittavien määrä voi olla pienikin, sillä yritetään ymmärtämään eikä selvittämään määriä. Laadullinen menetelmä sopii hyvin toiminnan kehittämiseen, vaihtoehtojen kartoittamiseen ja sosiaalisten ongelmien tutkimiseen. (Heikkilä 2014.)

Määrällisessä tutkimuksessa ilmiöitä kuvaillaan numeerisen tiedon perusteella ja tulkin-toja tehdään lukumäärien ja prosenttiosuuksien perusteella. Määrällisessä tutkimuk-



sessä perusjoukosta tulisi saada kattava otos ja lomakkeessa on yleensä valmiita vastausvaihtoehtoja. Määrällisellä menetelmällä saadaan selville senhetkinen tilanne, mutta syyt voivat jäädä selvittämättä. (Heikkilä 2014.)

Laadullinen ja määrällinen menetelmä eivät ole toisiaan poissulkevia vaan niitä voidaan yhdistellä ja täydentää toisillaan. Aluksi voidaan käyttää laadullista menetelmää ja sen jälkeen hyödyntää määrällistä menetelmää. (Kananen 2011: 15.) Molemmista voidaan siis ottaa aineksia ja koostaa omanlainen kysely (Heikkilä 2014).

#### 4.2 Tiedonkeruu kyselylomakkeella

Kerätessä tietoa kyselylomakkeella vastaajat pitää ottaa huomioon. Lomakkeen ulkoasu sekä rakenne vaikuttavat tiedon keruuseen ja jälkikäsitteilyyn. Kysymysten asettelu ja ulkonäkö olisi hyvä muotoilla sellaisiksi, että vastaajan on miellyttävä vastata kaikkiin kysymyksiin. Lomaketta tehdessä kannattaa ajatella myös vastausten käsittelyvaihetta. (Kananen 2011: 44.) Vastaamisen jälkeen muutosten tekeminen on mahdotonta, joten lomakkeen tulisi olla toimiva. Tutkimuksen onnistuminen riippuu paljolti lomakkeesta. Oikeat kysymykset tavoitteen kannalta ratkaisevat tulosten mielekkyyden. Myös sisällön on oltava kohdillaan. (Vehkalahti 2008: 20.)

Kysymyksille laaditaan yksiselitteiset vastausohjeet, jotta vältetään väärinymmärryksiä. Kysymyksissä tulisi kysyä vain yhtä asiaa kerrallaan ja edetä loogisessa järjestyksessä. Samaa aihetta koskevat kysymykset voidaan ryhmitellä eri kokonaisuuksiksi helpottamaan vastaamista. Tyypiltään kysymykset voivat olla avoimia, suljettuja eli strukturoituja tai sekamuotoisia. (Heikkilä 2014.)

Tässä kyselytutkimuksessa tavoitteena oli tehdä lomake, joka koostuu enimmäkseen suljetuista kysymyksistä, jotta vastaaminen olisi nopeaa. Ennen kyselyn lähettämistä pohdittiin, että kiireinen yrityksen edustaja ei välttämättä ehdi vastaamaan kyselyyn, jos vastaaminen vie paljon aikaa. Kyselylomake on liitteessä 1.

### 4.3 E-lomake

Yksi tapa tehdä kyselytutkimus on suorittaa verkkokysely. Verkossa suoritettavaan kyselytutkimukseen ja lomakkeen tekoon on olemassa erilaisia ohjelmistoja. Sähköinen lomake on monipuolinen tiedonkeruussa. Siitä voi muokata ulkoasultaan ja rakenteeltaan erilaisia kokonaisuuksia. Ohjelmiston teknisillä ratkaisuilla voidaan helpottaa sekä kyselyn suorittajan, että vastaajan työtä. (Pahkinen 2012: 213–216.)

Tässä työssä käytettiin Eduix Oy:n lomakeohjelmistoa nimeltään e-lomake. Ohjelman avulla luotiin kyselylle oma internet-osoite, jossa vastaukset annetaan ja tallennetaan. Lomakkeen täyttö on helppoa, sillä se toimii internet-selaimessa, eikä siihen tarvita muita ohjelmistoja. E-lomakkeen avulla voi kerätä tietoa monenlaiseen tarpeeseen. Se on nopea täyttää ja tietojen tallennus näkyy heti ohjelmistossa. Vastaukset voidaan siirtää Exceliin jatkokäsittelyä varten. (E-lomake 2016.)

### 4.4 Lomakkeeseen valitut kysymykset

Kyselylomakkeessa oli 13 kohtaa, joista yhdeksän sisälsi valmiita vastausvaihtoehtoja ja neljä kohtaa oli avoimia kohtia, joihin vastaaja saattoi kirjoittaa tekstiä vapaasti. Alkutekstinä kerrottiin kyselyn tavoite ja mistä kyselyssä on kyse. Johdannossa tuotiin esiin mitä kyselyllä yritetään saada selville eli yritysten tarpeet nanoteknologiaan liittyen.

Lomakkeen alussa on ryhmä, jossa kerättiin suppeasti yrityksen perustietoja: nimi, henkilöstömäärä ja sijainti. Nimikohtaan kirjoitetaan nimi ja kohdassa henkilöstömäärä oli viisi vastausvaihtoehtoa radionappimuodossa. Kokoluokissa yritysten suuruus luokiteltiin pienimmästä suurimpaan. Yrityksen sijainti otettiin selville pudotusvalikon avulla, jossa oli allekkain Suomen maakunnat.

Toisessa ryhmässä kysyttiin nanoteknologian hyödyntämisestä. Aluksi oli kohta, jossa kysyttiin hyödynnetäänkö nanoteknologiaa. Jos yrityksessä hyödynnettiin nanoteknologiaa, niin avoimessa kohdassa pystyi kertomaan, miten sitä hyödynnetään. Seuraavaksi on radionappikohta, jossa tiedusteltiin, kuinka kauan yrityksessä on hyödynnetty nanoteknologiaa. Kohdassa oli kuusi vaihtoehtoa. Lopuksi hyödyntämisryhmässä oli kohta, jossa Likertin-asteikolla kysyttiin nanoteknologian tärkeyttä. Vaihtoehtoina: ei tärkeä, vähän tärkeä, ei osaa sanoa, melko tärkeä ja erittäin tärkeä.

Kolmannessa ryhmässä kysyttiin, että millaisia tarpeita yrityksillä on nanoteknologiaan liittyen. Ensimmäinen kysymys koski insinöörin tehtäviä. Siinä seitsemästä kohdasta saattoi valita 1–3. Seuraavassa kohdassa kysyttiin, että minkälaista osaamista valmistuvilla insinööreillä toivottaisiin olevan. Valintamahdollisuuksia oli 6 kappaletta ja avoin kohta tekstille. Viimeisenä ryhmässä kysyttiin, millainen yhteistyö ammattikorkeakoulun kanssa yritystä voisi kiinnostaa. Kohdassa oli seitsemän vaihtoehtoa ja avoin kohta, johon saattoi kirjoittaa muita mahdollisuuksia. Lopussa oli vielä avoin kohta vapaille kommentteille ja tietojen lähetys.

Kysymyksiä oli lomakkeen teko- ja suunnitteluvaiheessa enemmän, mutta yllä olevat kysymykset pääsivät lopulliseen lomakkeeseen, joka lähetettiin yrityksille.

#### 4.5 Saate ja muistutus

Kyselytutkimuksen kokonaisuuteen vaikuttavia tekijöitä kysymysten lisäksi ovat saate ja muistutus (Vehkalahti 2008: 47–48). Saatekirje (Liite 2) on kyselytutkimuksen julkisivu. Vastaaja kohtaa sen ensimmäisenä vastatessaan tutkimukseen. Saatteessa kerrotaan tutkimuksen perustiedot eli sen mikä on tarkoitus, kuka tutkimuksen tekee, miten vastaajat on valittu ja miten tuloksia tullaan hyödyntämään. (Vehkalahti 2008: 47.)

Saatekirjeeseen liitetään linkki, josta vastaaja pääsee kyselyyn. Siinä kerrotaan myös mihin mennessä vastaukset toivotaan saada ja miten niitä käsitellään. Saatteessa ilmoitetaan, että vastaamisella on jokin merkitys sekä kiitetään vastauksista. Loppuun vielä allekirjoitus ja yhteystiedot, mistä voi saada mahdollisia lisätietoja. Tyylin tulisi olla asiallinen ja kohtelias. (Heikkilä 2014.) Muistutuksen lähettämisen avulla pyritään saamaan enemmän vastauksia. Muistutus on Liitteessä 2.

#### 4.6 Kyselytutkimuksen tavoitteet

Kyselytutkimuksen tavoitteena oli saada tietoa insinöörin osaamistarpeista nanoteknologiaan liittyen. Kyselyn avulla selvitettiin myös nanoteknologian tämänhetkistä soveltamista bio- ja elintarviketekniikassa sekä kartoitettiin, minkälaisia osaamistarpeita yrityksillä on nanoteknologiaan liittyen. Kohteena olivat suomalaiset bio- ja elintarvikealan yritykset.

Kyselystä pyrittiin tekemään mahdollisimman helposti ja nopeasti vastattava, jotta vastaaminen sujuu nopeasti. Vastausten analysointi pyrittiin sekin tehdä mahdollisimman yksinkertaiseksi. Kyselytutkimuksen toteutustavaksi valittiin verkkokysely sähköpostin välityksellä. Ohjelmiston avulla tietojen kerääminen sujuu melko vaivattomasti. Tulosten perusteella laadittiin suosituksia bio- ja elintarviketekniikan insinöörin opetukseen nanoteknologiaan liittyen.

#### 4.7 Yhteydenotto

Sähköpostiosoitteet hankittiin yrityksen omilta internetsivuilta. Joidenkin yritysten kohdalla kysely lähetettiin suoraan kohdistettuna henkilölle, jonka arvioitiin voivan vastata kyselyyn. Toisten yritysten kohdalla kysely lähetettiin yleiseen sähköpostiosoitteeseen.

Yrityksille lähetettiin kyselylomakkeita ensin 19.5.–30.6.2016 ja sitten 1.8.–19.8.2016 yhteensä 96 kappaletta. Vastaukset toivottiin saada 30.6. ja 19.8. mennessä. Jos vastausta ei ollut tullut noin parin viikon kuluttua, lähetettiin muistutussähköposti, jossa pyydettiin uudestaan vastaamaan. Muistutuksia lähetettiin yhteensä 77 kappaletta. Sähköpostiin saatiin 9 viestiä, joissa kerrottiin pääasiassa, että yritys ei hyödynnä nanoteknologiaa. Yrityksiä, joilta ei tullut mitään vastausta, oli 68 kappaletta. Virheilmoituksia sähköpostin lähettämisesä oli 4 kappaletta. Kolmessa sähköpostissa oli jokin muu syy, joka johti vastaamattomuuteen.

#### 4.8 Testaus ja lähettäminen

Ennen lomakkeen julkaisua ja eteenpäin lähettämistä se tulisi testata, jotta toimivuus olisi mahdollisimman hyvä ja suurimmat virheet toiminnan kannalta saataisiin korjattua (Heikkilä 2014). Lomaketta testattiin itse ennen sen lähettämistä yrityksille. Testauksessa huomattiin, että lomakkeen kukin kohta toimii ja tulokset tallentuvat oikein ohjelmistoon ja siirto Exceliin analysointia varten onnistuu.

## 5 Yritykset

### 5.1 Bio- ja elintarvikeyritykset Suomessa

Elintarviketeollisuus on Suomen suurin kulutustavaroiden valmistaja ja neljänneksi suurin teollisuudenala tuotannon arvossa mitattuna. Elintarvikeala jakautuu kahteen päätoimialaan: elintarvikkeiden valmistajiin ja juomien valmistajiin. Neljä suurinta alatoimialaa ovat: lihateollisuus, meijeriteollisuus, muiden elintarvikkeiden valmistus ja leipomoteollisuus. (Hyrylä 2014.)

Suomen suurimpia elintarvike- ja lääketeollisuuden yrityksiä sisällytettiin kyselyyn, sekä lääkeyrityksiä, joilla yhtymäkohtia biotekniikkaan. Mukana oli muun muassa perinteisiä lääkeyrityksiä, biolääke- ja biomateriaaliyrityksiä sekä diagnostiikkayrityksiä. Valikoinnissa pyrittiin katsomaan että, onko yrityksillä tuotetta tai kehitystyötä Suomessa.

Joka kolmas kehitteillä oleva lääke on biologinen (Biologiset lääkkeet 2016). Isoilla lääketeollisuuden yrityksillä arveltiin olevan biotekninen tuote, ja yritysten internetsivuilta pyrittiin löytämään tämä oletus. Kemianteollisuuden yrityksistä noin yksi kolmasosa käyttää biopohjaisia raaka-aineita (Biopohjaisten raaka-aineiden käyttö kasvaa 2016). Näistä yrityksistä valikoitiin mukaan yrityksiä tutkimukseen.

Kyselytutkimuksen ulkopuolelle jätettiin pieniä leipomoalan yrityksiä, teurastamoita ja jätehuoltoyrityksiä. Muissa poisjääneissä elintarvikeyrityksissä toiminta keskittyi tukkumyyntiin, ruoka-annosten valmistajiin (salaatit ja voileivät yms.) Joillain listatuilla yrityksillä ei ollut kotisivuja, ja näin ne jäivät pois tutkimuksesta. Mukana oli kuitenkin pienempiä elintarvikealan ja lääkealan yrityksiä. Monet yritykset ilmoittivat sivuillaan, että tuotanto on modernia ja teknologiat ja laitteet ovat nykyaikaisia.

### 5.2 Perusjoukon määrittely ja otos

Kyselylomakkeen avulla kerätään tietoa havaintoyksiköiltä, jotka kuuluvat tai ovat osa ilmiötä. Perusjoukko on joukko, joka koostuu kaikista havaintoyksiköistä. Koko perusjoukkoa ei tarvitse tutkia vaan siitä voidaan ottaa otos. Otoksen tulisi olla edustava ja

perusjoukon kaltainen. (Kananen 2011: 17.) Tutkimukseen valituiksi tulleet yksiköt muodostavat otoksen, josta tehdään johtopäätökset (Vehkalahti 2008: 43). Tämän tutkimuksen tapauksessa otos on näyte, sillä yksiköt on itse valittu mukaan tutkimukseen.

Kyselytutkimuksen kohteena olivat suomalaiset bio- ja elintarvikealan yritykset, perusjoukko, josta otettiin näyte. Ensin yrityksiä haettiin eri internetsivustoilta, joissa oli listattuna erilaisia yrityksiä. Mukana oli Suomen suurimpia elintarvikealan yrityksiä, suurimpia lääkealan yrityksiä ja muita yrityksiä, joissa sovelletaan biotekniikkaa.

Sivustoihin kuuluivat muun muassa Elintarviketeollisuusliiton, Suomen Bioteollisuuden, Kemianteollisuuden ja Lääketeollisuuden sivut. Näiden lisäksi vierailtiin Panimoteollisuusliiton ja muissa yksittäisissä sivustoissa. Yrityksiä etsittiin myös kirjasta Biolääkeala – Ideasta Innovaatioon (Sundqvist & Hansén 2006), jonka lopussa oli kattavasti lueteltuna eri biolääkealan yrityksiä.

Yritysten hakuvaiheessa listattuna oli moninkertainen määrä yrityksiä verrattuna niihin, joihin otettiin loppujen lopuksi yhteyttä.

## **6 Vastaukset**

Kyselylomakkeeseen vastattiin 12 kertaa. Puolessa niistä kerrottiin, että nanoteknologiaa hyödynnetään tällä hetkellä. Lomakkeeseen saatujen vastausten vastausprosentti oli 12,5 %, kokonaisvastausprosentin ollessa 21,9 %, kun sähköpostiin saatiin 9 vastausviestiä lisää. Yrityksiä, joilta ei tullut mitään vastausta, oli 68 kappaletta.

### **6.1 Yritysten perustiedot**

Yritysten nimet on raporttiin muutettu nimiksi Yritys1–12, vastaamisajankohdan mukaan. E-lomakeohjelmistolla piirrettiin kuvaajat neljän kysymyksen vastauksista kustakin kaksi kuvaajaa: vastausten absoluuttinen jakauma pylväsdiagrammin muodossa ja suhteellinen jakauma piirakkakuviona.

Liitteessä 3 on esitetty yritysten henkilöstömäärä. Kuvioista näkyy, että yritysten kaikki kokoluokat ovat edustettuina. Eniten yrityksiä on pk-luokassa (50–249 työntekijää), joita

kyselyyn vastaajista oli viisi kappaletta. Suuryrityksiä (500 työntekijää tai enemmän) oli mukana kolme. Pieniä (1–9 työntekijää) yrityksiä saatiin mukaan kaksi.

Selkeästi suurin osa vastanneista yrityksistä sijaitsee Uudellamaalla. Kahdeksan yritystä 12:sta kertoi sijaitsevansa siellä (Liite 4). Kaksi yritystä sijaitsee Pirkanmaalla, yksi Varsinais-Suomessa ja yksi Etelä-Pohjanmaalla.

Kaksi kolmasosaa eli 66,67 % yrityksistä sijaitsee Uudellamaalla ja yritykset sijaitsevat vain neljässä eri maakunnassa. Vastausten määrän lisääntyminen olisi voinut tuoda esiin yrityksiä myös muista maakunnista ja yritysten sijainnista olisi saatu lisää havaintoaineistoa.

## 6.2 Nanoteknologian hyödyntäminen

Lomakkeeseen vastanneista puolet kertoi hyödyntävänsä nanoteknologiaa. Tämä näkyy liitteen 5 ensimmäisen kuvion, vasemmassa laidassa olevasta punaisesta palkista. Yksi yritys on soveltanut nanoteknologiaa yhden vuoden, kaksi yritystä 2–5 vuotta, yksi yritys 6–10 vuotta ja kaksi yritystä 16–20 vuotta tai kauemmin. Kohtaan 11–15 vuotta ei annettu yhtään vastausta.

Kysyttäessä nanoteknologian tärkeyttä yrityksille käytettiin viisiasteista Likertin-asteikkoa. Kolmelle yritykselle nanoteknologia ”ei ole tärkeä”, neljälle ”vähän tärkeä”, kolme ”ei osaa sanoa”, ”melko tärkeä” ei saanut yhtään vastausta ja kahdelle yritykselle nanoteknologia on ”erittäin tärkeä”. Kuviot ovat liitteessä 6, jonka kuvioissa jakautuneisuus on tasaisinta yhden vastausvaihtoehdon jäädessä pois.

## 6.3 Monivalintakysymykset

Monivalintakysymysten vastaukset on esitetty yksinkertaisen taulukon muodossa. Taulukoituja monivalintakysymyksiä oli kolme kappaletta ja lomakkeessa ryhmiteltyinä kohtaan ”Yrityksen tarpeet”.

Taulukko 1. Insinöörin tehtäviä

Tehtävä:	Valintoja (kpl):
suunnittelu	4
tutkimus	7
tuotekehitys	11
asiantuntija	4
hallinto ja johto	0
myynti ja markkinointi	0
laadunvalvonta	2

Tuotekehitykseen tarvittaisiin vastausten mukaan eniten insinööriosaaamista. Hallinto ja johto sekä myynti ja markkinointi eivät saaneet yhtään valintaa. Muihin tehtäviin tuli muutama valinta. Insinöörin tehtäviä on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 2. Insinöörin osaamisalueita nanoteknologiassa

Osaamisalue:	Valintoja (kpl):
Nanoteknologian teoreettista ymmärtämistä yleisellä tasolla	6
Nanoteknologian käytännön osaamista yleisellä tasolla	7
Nanoteknologiaan liittyvää tuotekehitysosaamista	9
Nanoteknologiaan liittyvää tutkimusosaamista	4
Nanoteknologian ughiin liittyvää osaamista	5
Nanoteknologian tietyn osa-alueen syvällistä osaamista	6

Nanoteknologian osaamisalueissa valintoja saattoi tehdä kaikkiin kuuteen kohtaan. Jokaiseen kohtaan saatiin valintoja (Taulukko 2.). Eniten valintoja sai tuotekehitysosaaminen, joka oli myös edellisessä kohdassa saanut eniten valintoja. Kohdissa, joissa kysyttiin insinöörien tehtäviä ja osaamista, tuotekehitys ja tutkimusosaaminen olivat molemmissa monivalinnoissa mukana. Näin syntyi hieman päällekkäisyyttä kysymyksissä.

Taulukko 3. Yrityksen ja ammattikorkeakoulun yhteistyömahdollisuudet

Yhteistyömahdollisuus:	Valintoja (kpl):
AMK:n järjestämä koulutus nanoteknologian perusteista yleisesti	5
AMK:n järjestämä koulutus tietystä nanoteknologian osasta	3
Yrityksen antama insinööritoiminta nanoteknologiaan liittyen	4
Yrityksen tarjoama harjoittelupaikka nanoteknologiaan liittyen	2
Yrityksen antama innovaatioprojektiaihe nanoteknologiaan liittyen	3
Yritysvierailu nanoteknologian näkökulmasta	1
Yrityksen pitämä motivaatiokoulutus/oppitunti AMK:n tiloissa yrityksen soveltamasta nanoteknologiasta	2



Taulukkoon 3 on laitettu allekkain yritysten ja ammattikorkeakoulun yhteistyömahdollisuuksia. Valintoja saattoi tehdä 1–3 kappaletta. Jokaiseen kohtaan saatiin valintoja. Eniten kiinnostusta olisi amk:n järjestämään koulutukseen nanoteknologian perusteista yleisesti. Yritysvierailu nanoteknologian näkökulmasta sai vain yhden valinnan. Muissa kohdissa on kahdesta neljään valintaa.

#### 6.4 Sanalliset vastaukset

Avoimien kohtien sanalliset vastaukset on laitettu luettelomuotoon. Kohtia oli neljä kappaletta ja jokaiseen saatiin vastauksia. Yritysten nimet ovat muutettuna ja numero perässä tarkoittaa, kuinka mones yritys oli vastausjärjestyksessä.

Nanoteknologian hyödyntäminen:

- Yritys2, elintarvikkeet: nanoteknologiaa hyödynnetään sekundäärisillä pinoilla helpottamaan kohteiden siivousta
- Yritys4, muovi- ja komposiitit: tekevät muovin raaka-ainetta, johon sekoitetaan nanosellua, itse käyttävät nimitystä microfibrilloitu sellu
- Yritys5, lääkevalmisteet: kosmetiikassa
- Yritys6, diagnostiikka: reagenssien valmistus: vasta-aineiden valmistus immunoanalytiikkaan, lukuisia sovelluksia bioteknologian reagenssivalmistuksessa
- Yritys7, maitotuotteet: tutkivat biomateriaaleja elektronimikroskoopeilla
- Yritys9, diagnostiikka: polymeeristen nanopartikkelien tuotanto ja hyödyntäminen in-vitro diagnostisiin (IVD) tarkoituksiin

Millaista muuta osaamista nanoteknologiaan liittyen tarvitaan?

- Yritys4: terveysvaikutukset ja imago
- Yritys6: bioteknologian osaaminen massatuotanto-olosuhteissa
- Yritys9: työsuojelu, erityisosaaminen biolääketieteen alueella esim. leimat ja kiintokantajat

Mitä muita yhteistyömahdollisuuksia voisi olla?

- Yritys9: "Yllä olikin kattavasti yhteistyömahdollisuuksia mainittuna."

## Vapaamuotoisia kommentteja

- Yritys6: yritys on Suomessa pelkästään myyntiorganisaatio. Kaikki tuotekehitykseen liittyvät toiminnot ovat joko Saksassa, Sveitsissä tai USA:ssa. EM. vastaukset on tulkittava koskien em. maissa tapahtuvia toimintoja. Bio- ja nanoteknologian soveltaminen RD:n tuotealueilla on jo nyt tapahtuvaa ja tulee jatkossa varmasti lisääntymään.
- Yritys10: Olemme monikansallisen korporaation paikallinen tytäryhtiö jonka toimialaan täällä kuuluu myynti- ja markkinointi. Emme tällä hetkellä toimi alueilla, joissa hyödynnetään nanoteknologiaa. Yrityksemme tuotekehitystä johdetaan emoyrityksemme puolelta. Emme paikallisesti ole tietoisia tulevaisuuden tarpeistamme nanoteknologian osaamisen suhteen.

Vapaamuotoisissa kommentteissa ilmeni, että kahdella yrityksellä on Suomessa vain myyntitoimintaa ja muu toiminta keskittyy muualle.

## 7 Bio- ja elintarviketekniikan sovelluksia

Tähän lukuun on koottuna kyselytutkimuksen perusteella saatuja tietoja nanoteknologian soveltamisesta bio- ja elintarviketekniikan alalla ja kirjallisuuden perusteella valittuja aiheita, joiden ajateltiin olevan tärkeitä insinöörin osaamisen kannalta.

### 7.1 Nanobioteknologia

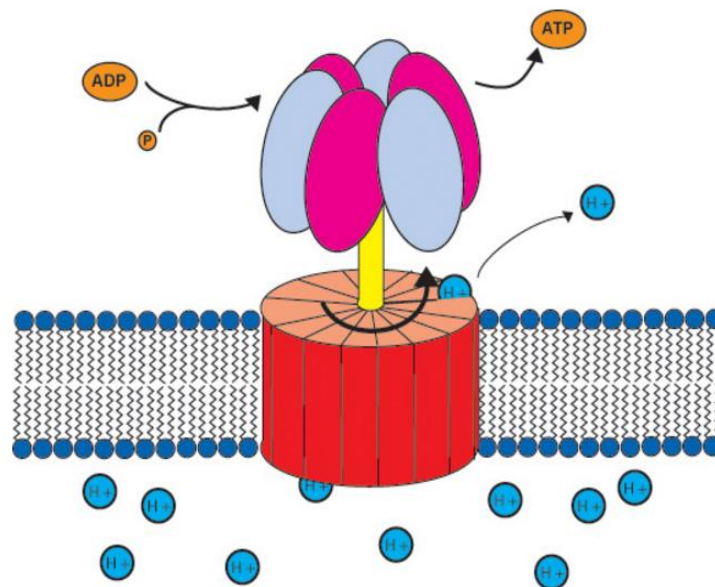
Nanobioteknologia on eliöissä ilmenevää nanoteknologiaa. Elävien organismien molekyyliekoneistot toimivat nanometriä tasolla. Solujen rakenteita voidaan käyttää hyödyksi nanoteknologiassa. Vaikka nämä rakenteet eivät ole ihmisen kehittämiä ne luokitellaan kokonsa puolesta nanoteknologiaksi. Nanobioteknologia on ”bottom-up”-lähestymistapa, jossa biologisista komponenteista valmistetaan pieniä rakenteita ja systeemejä. (Rogers ym. 2015: 334.)

Biologiassa on keskeistä nanokokoisten molekyylien vuorovaikutukset. Biologiset prosessit on selitettävissä erilaisten molekyylien välisinä vuorovaikutuksina. Nanoteknologian kannalta kiinnostavaa on, että monet molekyylit ovat kooltaan nanometriluokkaa, kuten DNA ja proteiinit. Nanoteknologisia komponentteja voidaan käyttää biologiassa ja toisin päin, biologisia komponentteja voidaan käyttää nanoteknologiassa. (Itävaara ym. 2008: 6.)

Ajatuksena nanobioteknologiassa on, että biologisia ja ei-biologisia rakennekomponentteja liitetään toiminnallisesti toisiinsa. Biologinen komponentti voi olla esimerkiksi entsyymi, joka kytketään nanopartikkelin optiseen tai sähköiseen ominaisuuteen ja biologisia tapahtumia havaitaan signaaleina. Biomolekyylejä apuna käyttäen on mahdollista tunnistaa muita molekyylejä ja rakentaa erilaisia materiaaliyhdistelmiä. (Itävaara ym. 2008: 6.)

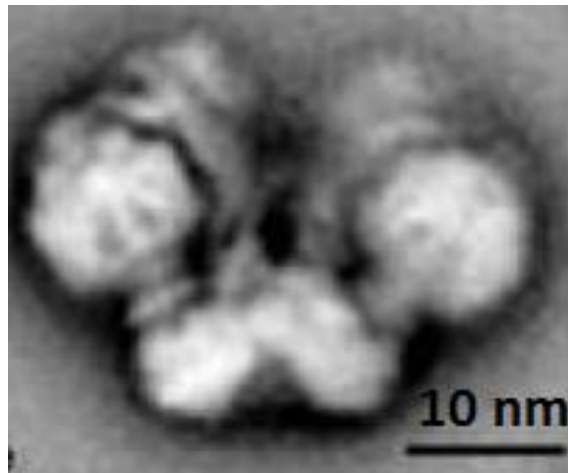
Luonnossa esiintyvät nanokokoiset systeemit kuten solujen organellit ovat ”nanokoneita”. Solujen keskeisimmät toiminnot ovat itsestään järjestäytyvien nanolaitteiden suorittamia. (Turunen 2015.) Ribosomeissa ja mitokondrioissa on toimivia nanorakenteita. Solujen sisällä tapahtuvat synteesit ovat erittäin nopeita, kun ihmisen kehittämät tekniikat ”atomi-atomilta” ovat hitaita. Entsyymien avulla saavutettu nopeuden kasvu biokemiallisissa reaktioissa on huima, jopa  $10^{17}$ -kertainen. Tällöin reaktioon vaadittu aika muuttuu miljoonista vuosista millisekunteihin. (McMurry & Simanek 2007: 497.)

ATP-syntaasi on nanokoneen kaltainen rakenne, joka vastaa solujen energiantuotannosta. ATP-syntaasi on entsyymi ja sen leveys on noin 10 nm. Niitä sijaitsee solujen kalvoilla. Protonien avulla ATP-syntaasi muodostaa ATP:tä, jota solut käyttävät energiaksi erilaisissa reaktioissa. (Turunen 2015.)



Kuva 9. ATP-syntaasin toimintaperiaate (Molecular motor 2008)

Kuvassa 9 on esitetty ATP-syntaasin toimintamekanismi ja kuvassa 10 on elektronimikroskooppikuva ATP-syntaasista.



Kuva 10. Elektronimikroskooppikuva: ATP-syntaasista muodostunut kompleksi (Muokattu lähteestä Dudkina ym. 2008)

Soluilla on hyvä kyky liikkua, joka johtuu proteiineista, jotka tuottavat tai kuluttavat mekaanista energiaa. Molekyyli-moottorien avulla solujen toiminnot mahdollistuvat. Moottoreita on monenlaisia. Erimuotoisia, -kokoisia ja toimintoja omaavia molekyyli-moottoreita löytyy luonnosta. Liittämällä molekyyli-moottoreihin elektronisia systeemejä syntyy hyödyllisiä sovelluksia. (Rogers ym. 2015: 359–360.)

Solujen eri rakenteet tarjoavat malleja ihmisen mahdollisesti rakentamille nanokoneille. Ihmisen mittakaavan mekaanisissa laitteissa käytettävät metallit eivät kuitenkaan toimi samalla tavalla nanomittakaavassa. (Turunen 2015.)

Biomolekyylit muodostavat kolmiulotteisen muotonsa vesiliuoksissa järjestäytyen luonteenomaiseen muotoonsa. Jäljittelemällä ("mimic") biologisia toimintoja saadaan luotua nanorakenteita itsestäänjärjestäytymistä hyödyntämällä. Muodostuvia rakenteita sanotaan biomimeettisiksi nanorakenteiksi (biomimetic nanostructures.). (Rogers ym. 2015: 359.) Biomimetikassa suunnitellaan laitteita ja prosesseja, jotka jäljittelevät luonnossa ilmeneviä systeemejä. Ne eivät ole täydellisiä kopioita vaan muokattuja luonnon menetelmiä uuteen tarkoitukseen. (Rogers ym. 2015: 375.)

Biomimeettisiin nanorakenteisiin kuuluu liposomit, synteettiset mikrobit, virukset ja veren solujen kaltaiset partikkelit. Liposomien synteettisen kalvon sisään pakataan yhdisteitä, joita kuljetetaan kehossa lääkinällisissä tarkoituksissa. Liposomien kaltaisia rakenteita lisätään kosmetiikkatuotteisiin emulgaattoreiksi, jotta niihin saadaan oikeanlainen rakenne. Veren punasolujen ja valkosolujen toimintoja jäljitteleviä rakenteita ollaan suunnittelemassa. (Rogers ym. 2015: 359,379.)

Lotuskukan lehdellä on hyvä kyky hylkiä vettä johtuen sen pinnan rakenteesta. Vesi pisaroituu lehdelle ja vie siitä lian pois. Tätä itsepuhdistuvaa ominaisuutta kutsutaan Lotus-efektiksi, joka huomattiin, kun pintaa kuvattiin elektronimikroskoopilla. Itsepuhdistuvuus johtuu pinnan kuperista nystyröistä, joiden pinnalla on vahakiteitä kokoluokassa 10–100 nm. Lotuskukan pinnan kaltainen pinta voidaan valmistaa myös keinotekoisesti. (Turunen 2015.)

## 7.2 Nanoteknologia elintarviketuotannossa

### 7.2.1 Elintarvikkeiden nanopartikkelit

Kaikissa elintarvikkeissa on nanokokoisia biomolekyyliä ihan luonnostaan (Lestelä 2009: 13). Tärkeimmät ravintoaineet kuten proteiinit, hiilihydraatit ja rasvat, muodostuvat molekyyleistä ja ovat luonnon polymeerejä, jotka ovat osa jokapäiväistä ruokavaliota. Elintarvikesovelluksissa pitäisi kuitenkin ottaa huomioon erityisesti ihmisen valmistamat partikkelit ja materiaalit. Joskus tarkoituksenmukaisesti tuotettujen ja ruoan luonnollisten nanopartikkelien välillä rajanveto on vaikeaa. (Suomalainen & Hakkarainen 2008: 23.) Biomolekyyleillä ja niiden muokkaamisella on paljon mahdollisuuksia elintarviketeollisuudessa biologisuutensa vuoksi (Lestelä 2009: 13).

Jos elintarvike sisältää valmistettua nanomateriaalia, on ainesosaluettelu merkittävä ainesosan perään sana ”nano” suluissa (Elintarviketieto-opas 2014). Nanomerkintä synteettisille ainesosille on tullut voimaan vuoden 2013 lopulla (Heikkinen 2013).

Maidossa tärkeitä komponentteja ovat kaseiinimisellit ja rasvapallerot. Kotitalouksissa ja teollisuudessa on käytössä paljon eri maitotuotteita. Hiilihydraateista koostuva tärkkelys on tärkeä energianlähde. Kuumennettaessa siitä vapautuu nanokokoista amyloosia ja amylopetkiiniä. Rasvat muodostavat nanorakenteita tai -järjestelmiä. (Mattinen 2015.)

Elintarvikkeisiin sovellettavan nanoteknologian avulla pyritään saamaan tuotteisiin uusia ja hyödyllisiä ominaisuuksia (Lestelä 2009: 12). Nanoaineksilla voidaan lisätä ruoan hyviä ominaisuuksia ja poistaa huonoja (Heikkinen 2013). Nanoteknologialla on mahdollista suojata monia lisäaineita, jotka ovat yleensä herkkiä ja helposti pilaantuvia. Kapseloimalla elintarvikkeiden lisäaineita polymeereillä saadaan lisäaineet suojattua. (Lestelä 2009: 36.)

### 7.2.2 Elintarvikepakkaukset

Monet elintarvikkeet pakataan jonkinlaiseen pakkaukseen. Pakkauksen avulla voidaan säilyttää pidempään elintarvikkeen halutut ominaisuudet ja mikä tärkeää syömiskelpoisuus. Yleisiä pakkausmateriaaleja ovat erilaiset muovit, pahvit ja kartonki, sekä lasi ja metalli. Perinteisiin pakkauksiin voidaan liittää uudenlaisia ominaisuuksia tai kehittää kokonaan uusia pakkausmateriaaleja.

Elintarvikepakkaukset ovat kehityksen kohteena olevia nanoteknologian sovelluksia. Erilaiset äly- ja aktiiviset pakkaukset sekä pakkausmateriaalit tuovat teknologian lähemmäksi kuluttajaa. Niiden avulla pyritään pidentämään elintarvikkeen elinikää parantamalla pakkauksen suojausominaisuuksia, poistamaan kaasuja ja kosteutta, jotka pilaa elintarvikkeen sekä vähentämään valon aiheuttamia muutoksia ja pilaantumista. Myös antimikrobiset pakkausmateriaalit ovat mahdollisia. Nanokokoiset hopea- ja titaanidioksidipartikkelit soveltuvat komponenteiksi antimikrobisiin pakkauksiin. (Lestelä 2009: 27–28.) Nanotekniset pakkausmateriaalit tekevät pakkauksista vahvempia ja näin tarvitaan vähemmän materiaalia pakkaamiseen (Suomalainen & Hakkarainen 2008: 23).

Älypakkauksissa on erilaisia toiminnallisia ominaisuuksia, joiden avulla voidaan seurata elintarvikkeiden pilaantumista tai havainnollistaa elintarvikkeiden olosuhteita. Nämä voidaan toteuttaa indikaattoreilla ja sensoreilla. Älypakkaus kertoo kuluttajalle elintarvikkeen laadun ja se voi sisältää lämpötila-antureita, aika-lämpötilaindikaattoreita tai mikrobikontaminaation ilmaisimen. Indikaattorit ja sensorit seuraavat pakatun elintarvikkeen laatua ja sen ympärillä olevaa tilaa. Nanosensorit reagoivat fysikaalisiin ja kemiallisiin tekijöihin. Ne voivat havaita elintarvikkeen sisäisiä ja ulkoisia olosuhteita elintarvikkeen koko eliniän ajan. Tärkeimpänä tavoitteena sensoreilla on tunnistaa erilaiset kontaminaatiot tarkasti ja nopeasti, jopa tunneissa tai minuuteissa. (Lestelä 2009: 31–32.)

Biohajoavien materiaalien kehittäminen alkoi 1990-luvulla tavoitteena saada aikaan tavanomaisia muoveja korvaavia materiaaleja. Ensimmäisiä markkinoille tulleita tuotteita ovat olleet biohajoavat kompostipussit. Kehitystyö on ollut hidasta, koska useimmat biopolymeerit hajoavat liian nopeasti eivätkä ole tarpeeksi kestäviä ja siedä kosteutta. Nanomateriaalien avulla oletetaan saavutettavan parempia kestävyysominaisuuksia. (Itävaara ym. 2008: 8.) Lisäämällä biopolymeereihin epäorgaanisia nanopartikkeleja saadaan pakkauksista vahvempia vetolujuudeltaan ja vedenläpäisevyyttä pienemmäksi (Lestelä 2009: 33–34).

Elintarvikkeet voidaan päällystää syötävillä kalvoilla, jotka koostuvat usein proteiineista, rasvoista tai hiilihydraateista. Kalvoja käytetään eristämään tuote kosteudelta, rasvalta tai hapelta. (Itävaara ym. 2008: 7–8.) Fysikaalisesti tai kemiallisesti sitoutuneet nanolaminaatit ovat elintarvikesovelluksia, joilla päällystetään hedelmiä, vihanneksia ja makeisia estämään kaasujen ja kosteuden pääsyä elintarvikkeisiin. Päällysteet ja kalvot parantavat elintarvikkeen koostumusta. (Lestelä 2009: 35.)

Pilaantumisprosessissa muodostuvia yhdisteitä voidaan havaita hiilinanoputkisensorien avulla. Nämä nanosensorit tunnistavat orgaanisia happoja, etanolia, amiineja, rikkiyhdisteitä ja hiilidioksidia. Kaasumolekyylit adsorboituvat hiilinanoputkien pintaan kiinnitettyihin nanopartikkeleihin ja reaktioissa vapautuu elektroneja. Sensorin johtokyky muuttuu ja yhdisteet voidaan näin havaita. (Lestelä 2009: 32.)

### 7.2.3 Prosessit ja laitteet

Elintarvikealan laitteissa nanoteknologiaa sovelletaan nanomateriaaleissa ja pinnoitteissa. Haluttuja pintojen ominaisuuksia ovat kulutuskestävyys, likaantumattomuus ja helposti puhdistettavuus, antimikrobisuus sekä kitkaa alentavat pinnoitteet ja korroosionkestävyys. Ominaisuuksia on mahdollista yhdistellä. Koneissa nanoteknologian sovel- luskohteita on myös eristeissä. Nanoeristeet toimivat lämmön, äänen, tai värinän eristyksessä. (Pohjola 2011: 5–6.)

Käyttökohteet ryhmitellään sekundääripintoihin ja kontaktimateriaaleihin. Tuotantolaitok- sessa sekundääripinnat ovat kaikki pinnat, jotka eivät ole suorassa kontaktissa elintar- vikkeisiin. Säiliöiden ulkopinnat, pakattujen tuotteiden kuljettimet, seinät ja ilmanvaihto- järjestelmät ovat sekundääripintoja. Kontaktimateriaaleihin kuuluvat säiliöiden sisäpinnat

ja lämmönvaihtimien sisäpuolet, jotka koskettavat raaka-aineita tai valmiita elintarvikkeita. (Pohjola 2011: 7.)

Elintarvikkeiden tuotantolaitoksissa laitteissa käytetään pääasiassa ruostumatonta- ja haponkestävää terästä ja elintarvikemuovia. Nanomateriaalien yhteensopivuus pitää tarkistaa ennen käyttöönottoa, varsinkin kontaktimateriaalien kohdalla. Elintarvikkeiden valmistuksessa erityispiirteitä ovat olosuhteiden muutokset (lämpötila, pH, paine, hankaus). Lämpötila voi vaihdella pakastustilojen (-30 °C) ja kuuman pesuveden (+150 °C) alueella ja pH:n vaihtelukin on suurta, jopa 1–14. (Pohjola 2011: 14.)

Elintarviketeollisuudessa huomion kohteena ovat nanoteknologian edut ja rajoitteet. Kysyntää syntyy, jos uusilla menetelmillä saadaan todellista hyötyä. Mahdollisia hyötyjä ovat: hygieenisuus, koneiden eliniän kasvu ja energiatehokkuus. Rajoitteita käytössä ovat turvallisuuden säilyminen, asiakkaiden ja kuluttajien hyväksyntä, materiaalien kesto käyttöolosuhteissa, prosessien uudelleen muotoileminen ja lakien säätelemät rajoitteet. (Pohjola 2011: 9–11.)

Elintarviketeollisuudessa suodatuksessa ja erottamisessa pystytään käyttämään erilaisia huokoisia nanopartikkeleja. Nanosuodatusta käytetään paljon meijeri- ja juomateollisuudessa. Sen avulla erotetaan ja puhdistetaan heraa, poistetaan suoloja, erotellaan mineraaleja, fraktioidaan ja konsentroidaan sokereita, väkevöidään ja valmistetaan uutteita. Erottuminen perustuu molekyylien ominaisuuksiin tai sähkönvaraukseen. (Lestelä 2009: 38.)

#### 7.2.4 Terveysvaikutteiset elintarvikkeet ja uuselintarvikkeet

Terveyttä edistävien eli funktionaalisten elintarvikkeiden kehittämisessä bioaktiiviset yhdisteet ovat merkittäviä. Bioaktiiviset aineet kuten antioksidantit, monitydyttymättömät rasvahapot ja peptidit ovat kovin reaktiivisia ja epästabiileja, minkä johdosta ne on suojattava elintarvikkeen muilta komponenteilta ja ympäristöltä niin, että ne eivät hajoaisi. On kehitetty erilaisia kapselointitekniikoita herkkien yhdisteiden suojaksi. Kapseleiden imeytymisen nopeuttamiseksi ja tehostamiseksi käytetään nanopartikkeleja. (Itävaara ym. 2008: 7.)



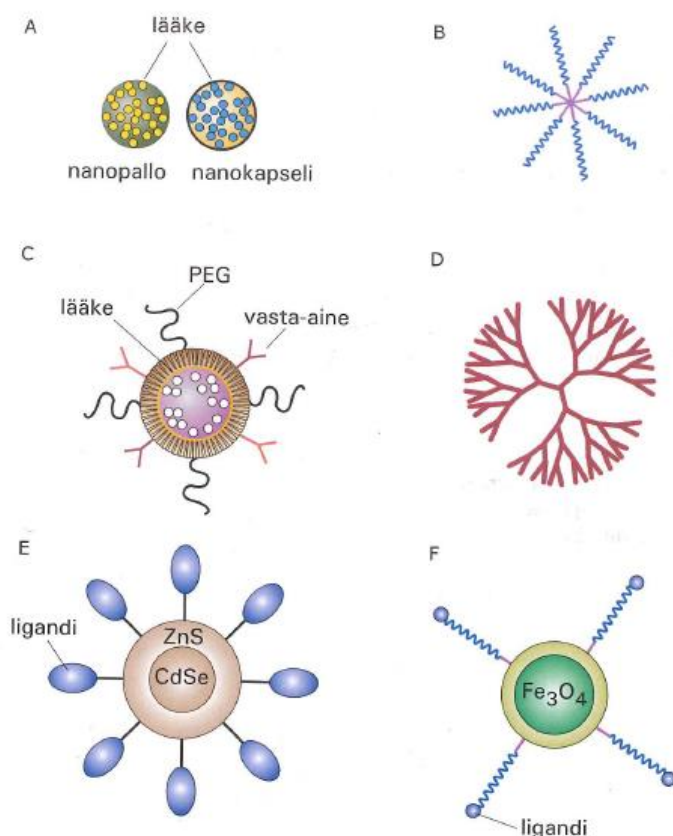
On mahdollista, että nanoteknologian avulla valmistetut elintarvikkeet luokitellaan uus-elintarvikkeiksi (Korhonen 2007: 3). Elintarvike, joka sisältää valmistettuja nanomateriaaleja tai koostuu niistä voi olla myös uuselintarvike (Elintarviketieto-opas 2014).

### 7.3 Nanolääketiede

Nanolääketieteessä nanoteknologiaa hyödynnetään ihmisen terveyden ylläpidossa. Olemassa olevaa tietämystä molekyyleistä, partikkeleista, materiaaleista ja laitteista, jotka ovat nanokokoluokkaa, käytetään avuksi eri tavoin. Nanolääketieteen sovellusten avulla diagnosoidaan, hoidetaan ja estetään sairauksia uusilla menetelmillä. Nanolääketieteellä on käytössä samat nanoteknologian perustyökalut, joita käytetään lääketieteellisissä käyttökohteissa. (Rogers ym. 2015: 365.)

Lääketieteeseen syntyy uusia mahdollisuuksia nanoteknologiaa hyödyntämällä. Lääkkeiden annostelu ja syövän hoito ovat hyviä esimerkkejä (Itävaara ym. 2008: 6–7). Muita sovelluskohteita on muun muassa diagnostiikassa ja lääketieteellisessä kuvantamisessa. Uusia terapiamuotoja aukenee, kun nanomateriaaleja käytetään uusilla tavoilla. Uusilla teknologioilla on aina pyritty parantamaan sairauksia, niin myös nanoteknologian saralla. (Heino & Vuento 2005: 142.)

Erityisen mielenkiinnon kohteena ovat lääketieteen tarpeisiin suunnitellut nanopartikkelit (Kuva 11). Yksinkertaisia nanopartikkeleja, jotka säätelevät lääkkeiden vapautumista on jo kliinisissä tutkimuksissa. Uudemmat partikkelit, jotka vievät lääkkeen oikeaan paikkaan kehitellään. (Heino & Vuento 2005: 142)



Kuva 11. Lääketieteellisiä nanopartikkelejä. A: nanopallo ja nanokapseli. B: polymeerimiselli. C: liposomi (PEG, polyetyleeniglykoli) D: dendrimeeri. E: kvanttipiste. F: nestemagneetti. (Heino & Vuento 2005)

### 7.3.1 Diagnostiikka ja merkkiaineet

Nanoteknologian avulla diagnostiikkaan on mahdollista kehittää uudenlaisia herkkiä menetelmiä. Menetelmien koon pienentyessä saavutetaan monia hyötyjä. Näytemäärät pienenevät ja samasta näytteestä voidaan tehdä rinnakkain useita määrittäyksiä. Analyysimenetelmien herkkyyden kasvaessa olisi periaatteessa mahdollista havaita yksittäinen molekyyli. (Heino & Vuento 2005: 157–158.)

Yksi osa-alue diagnostiikassa, jossa tuotetaan ja hyödynnetään polymeerisiä nanopartikkelejä, on *in vitro* -diagnostiikka (IVD). *In vitro* -diagnostiikalla tarkoitetaan erilaisten lääketieteellisten näytteiden tutkimista. Potilaasta tai terveestä henkilöstä otettuja näytteitä tutkitaan laboratoriossa eri välineiden ja menetelmien avulla. *In vitro* -diagnostiikka jakautuu moneen osa-alueeseen. (Suvanto & Kouvonen 2012: 11.) Nanoteknologisia sovelluksia löytyy molekyyli diagnostiikasta, immunoanalytiikasta ja veren sairauksien diagnostiikasta.

Immunoanalytiikka käsittää menetelmiä, joissa käytetään vasta-aineita tunnistamaan yhdisteitä. Vasta-aineet tunnistavat spesifisesti antigeenejä ja sitoutuvat niihin. (Soininen 2011.) Immunomäärityksiä käytetään määrittämään analyyttiä biologisissa nesteissä. Niissä on ainakin kaksi vaihetta, jotka ovat analyytin ja vasta-aineen reaktio ja immuno-reaktion tuotteiden havainnointi, jolloin määritetään analyytin määrä. (Laakso 2010: 7.)

Immunoanalytiikassa erilaisia menetelmiä käytetään esimerkiksi lääkeaine- ja hormonimäärityksiin. Ensimmäisissä analyyseissä merkkiaineena käytettiin radioaktiivisia leimoja. (Suvanto & Kouvonen 2012: 12.) Leima voi olla yhdiste, mikrobi, kemiallinen ryhmä tai partikkeli, joka kiinnitetään tutkittavaan kohteeseen ja saadaan havaittua (Laakso 2010: 17). Nykyään radioaktiiviset leimat on yleensä korvattu entsyymillä tai fluoresoivalla yhdisteellä. Fluoresoivana yhdisteenä voi toimia lantanidista (europium, samarium) muodostettu kelaatti, jonka aallonpituus voidaan mitata. Europium on käytetyin ja se alkaa fluoresoida voimakkaasti kelatoituneena. (Laakso 2010: 20.) Entsyymisovelluksissa substraatin lisääminen aikaansaa värin, joka on mitattavissa (Soininen 2011).

Fluoresoivia leimoja käytetään paljon biologisissa sovelluksissa kuten kuvantamisessa ja analytiikassa. Fluoresoivat leimat perustuvat fluoresenssiin, jossa korkeaenergisellä valolla viritetään partikkeleja ja ne emittoivat matalaenergisempää valoa. Nanopartikkelien avulla solukoita säteilytettäessä ei synny haittaavia valovaurioita. Nanopartikkelit mahdollistavat yksinkertaisen ja edullisen laitteiston käytön. (Ibrahim 2012: 11.)

Biologiset makromolekyylit sitoutuvat toisiinsa erittäin spesifisesti. Etenkin proteiinien ja nukleiinihappojen sitoutuessa toisiinsa ja muihin molekyyliin syntyy erilaisia kemiallisia sidoksia. Biotiinin ja streptadiviinin sitoutuessa toisiinsa muodostuu voimakas sidos, jota voidaan hyödyntää proteiinien tutkimisessa ja nanoteknologiassa. Biotiini on orgaaninen happo, joka on optisesti aktiivinen. Sitä löytyy jokaisesta elävästä solusta. Biotiini toimii katalyyttinä entsyymaattisissa reaktioissa. Streptavidiini on proteiini, jota käytetään yleisesti antigeenien havaitsemisessa. Yhdessä nämä kaksi muodostavat lujan sidoksen, josta on hyötyä määrityksissä. (Laakso 2010: 18–20.)

Magneettisia nanopartikkeleja on käytetty hyödyksi diagnostisissa kuvantamisissa kuten MRI- kuvantamisessa (Magnetic Resonance Imaging), jossa superparamagneettiset nanopartikkelit ilmentävät ydinmagneettista resonanssi-ilmiötä, NMR, (Nuclear Magnetic Resonance). Käytetyt partikkelit koostuvat rautaoksidityimestä, johon on liitetty jokin polymeeri, joka tunnistaa tiettyjä molekyyliä tai soluja. Kuvauksessa on mahdollista saada

näkyviin paikka, johon partikkeli SPIO (Superparamagnetic Iron Oxide) on liittynyt. (Heino & Vuento 2005: 146–147.)

Kvanttipisteitä, jotka koostuvat muutamasta sadasta atomista ja eristävästä kuoresta, ja joiden pinnalle on kiinnitetty erilaisia molekyyliä, voidaan käyttää solubiologisessa ja lääketieteellisessä kuvantamisessa. Kvanttipisteiden fluoresenssin intensiteetti on niin voimakas, että olisi mahdollista havaita yksittäinen kvanttipiste solun sisältä. (Heino & Vuento 2005: 146.)

### 7.3.2 Lääkekehitys ja täsmälääkkeet

Nanolääketieteen tutkimuksen yksi tavoite on kehittää tehokkaampia lääkehoitoja. Nanopartikkeleihin voidaan imeyttää, liuottaa, kapseloida tai muuten vangita lääkeaineita. Biohajoavuus on eduksi partikkeleissa. Nanokapselit ja -pallot ovat polymeereistä valmistettuja partikkeleja, joita voidaan käyttää lääkinnässä. Kapselissa lääke on sisällä ja pallossa tasaisesti jakautuneena. (Heino & Vuento 2005: 143.)

Täsmälääkityksellä tarkoitetaan lääkitystä, jonka vaikutukset kohdennetaan tiettyjä syöpäsoluissa esiintyviä aineita tai niiden toimintaa vastaan, ettei lääkkeen vaikutus ulotu muualle kehoon. Täsmälääkitystä käytetään monien eri syöpätyyppien hoidossa. Sivuvaikutukset ovat normaalisti melko vähäisiä verrattuna solunsalpaajahoitoihin. Hoitoja usein yhdistetään, mikä aiheuttaa sivuvaikutuksia. (Lääkehoidot 2016.)

Pienen koon vuoksi nanopartikkelit pääsevät kaikkialle verenkierron mukana ja solut ottavat niitä sisäänsä. Partikkelien valmistuksessa voidaan käyttää kehon omia proteiineja, kuten veren albumiinia tai kollageenia ja siitä valmistettua gelatiinia. Biohajoavia partikkeleja on mahdollista valmistaa myös polylaktideista (PLA) ja maitohapon ja glykolihaapon sekapolymeereistä (PLGA). Hajotessaan nämä polyesterit muodostavat luonnollisia aineenvaihduntatuotteita. (Heino & Vuento 2005: 143.)

Nanopartikkelien avulla proteiineja voidaan annostella lääkkeiksi ja DNA:ta siirtää solun sisään. Annostelussa hyödynnettävien partikkelien avulla keskushermoston sairauksia pystytään hoitamaan, sillä pienet kappaleet pääsevät veri-aivoesteen läpi. Pitkäaikaisessa käytössä olevien lääkkeiden pakkaaminen partikkeleihin, joista lääke vapautuu päivien tai viikkojen ajan, voitaisiin toteuttaa. Hajotessaan lääkeaine vapautuu ja toimii

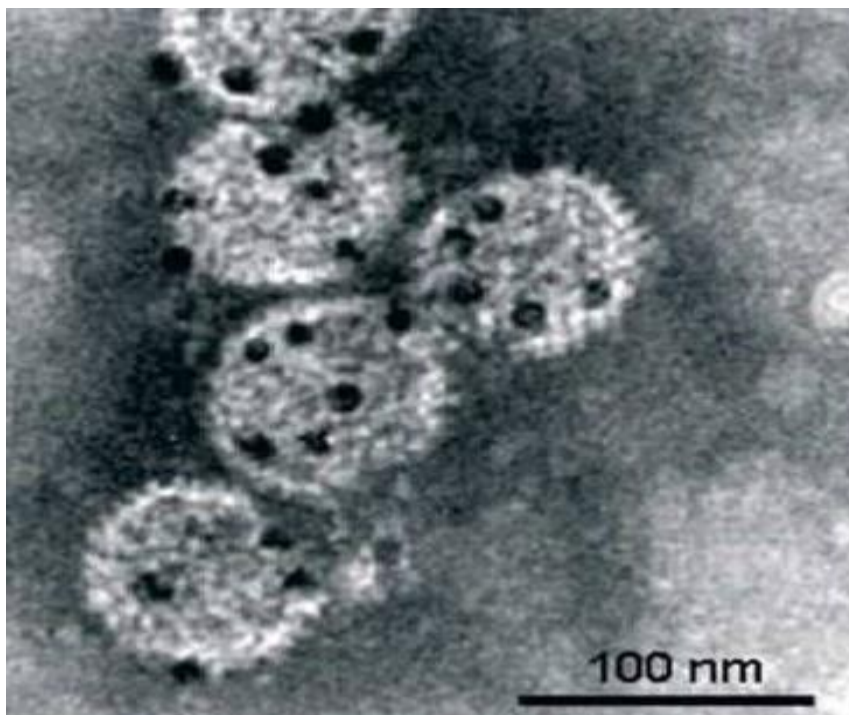
normaalilla tavallaan. Annostelun lisäksi polymeeripartikkelit ovat osoittautuneet käyttökelpoisiksi rokotteissa, joissa antigeeni pakataan ja se vapautuu oikeassa paikassa oikeaan aikaan. (Heino & Vuento 2005: 144.)

Muita lääketieteellisiä nanopartikkeleja ovat epäorgaaniset, alumiini, pii tai titaani, partikkelit, joiden kokoa ja huokoisuutta voidaan säädellä valmistuksessa sooli-geeli- tekniikkaa käyttämällä. Näiden partikkelien pinnalle pystytään liittämään vasta-aineita ja muita molekyyleja säädeltäessä biologisia ominaisuuksia. Vesi- ja rasvaliukoisuuden säätelyssä hyödynnetään misellejä ja liposomeja, jotka ovat rakkulankaltaisia nanokokoisia kappaleita. Dendrimeereihin voidaan samanaikaisesti kiinnittää monia eri molekyylejä ja saada aikaan yhdistelmävaikutuksia. Lisäksi dendrimeereillä voidaan hoitaa virusperäisiä- ja mikrobisairauksia. (Heino & Vuento 2005: 144–146.)

### 7.3.3 Virusten käyttö nanopartikkeleina

Virukset ovat potentiaalisia komponentteja nanovalmistuksessa kokonsa ja rakenteensa puolesta. Virusten nukleiinihappoa suojaava proteiiniukuori on mahdollista avata tilapäisesti ja sen sisään saadaan aineita, jotka virus kuljettaa solun sisään. Viruksista on rakennettu pintoja ja kidemäisiä rakenteita linkoamalla niitä vesiliuoksissa. Yhdistelmä-DNA-tekniikalla aikaansaadulla muuntelulla valmistetaan suuri määrä erilaisia viruksia ja sopivat valitaan kuhunkin tehtävään. (Heino & Vuento 2005: 130.)

Virukset ovat kehittyneet kulkeutumaan elimistön eri osiin ja ne tunnistavat kohdesolujen pintaproteiineja ja pääsevät solun sisään tai voivat kulkea solujen läpi infektoimatta niitä. Nanoteknologian kannalta virusten käyttäytyminen eri tavalla verenkierrrossa ja kudoksissa on merkittävässä asemassa, kun halutaan esimerkiksi kohdistaa terapeuttisia vaikutuksia sairauksien hoidossa. (Heino & Vuento 2005: 148.)



Kuva 12. TEM- kuva muokatuista viruksista, joissa mustat pisteet oksidipartikkeleja. (Muokattu lähteestä: Cormode ym. 2010)

Kuvassa 12 on lääketieteellisiin tarkoituksiin muokattu virus, jonka pintaan on kiinnitetty oksidipartikkeleja.

## 7.4 Ympäristö ja terveys

### 7.4.1 Nanopartikkelien kulkeutuminen ympäristöön

Nanopartikkelit saattavat päästä ympäristöön valmistuksen ja tuotannon yhteydessä sekä käytön myötä. Maaperään joutuneet hiukkaset on vaikea havaita koska maassa on samanlaisia ja -kokoisia partikkeleita muutenkin. Kasveihin partikkelit voivat vaikuttaa, vaikka ne eivät kulkeutuisi kasvin sisään asti. Ilmassa olevien hengitettävien hiukkasten tiedetään olevan haitallisia terveydelle. Ilmassa pienet hiukkaset käyttäytyvät eri tavalla koosta riippuen. Vedessä nanopartikkelien käyttäytymiseen vaikuttavat liukoisuus, vuorovaikutukset luonnollisten ja ihmisperäisten kemikaalien kanssa sekä biologiset ja elottomat prosessit. Veden välityksellä partikkelit voivat kulkeutua kauas orgaanisten yhdisteiden välityksellä. (Suomalainen & Hakkarainen 2008: 29–32.)

#### 7.4.2 Altistuminen nanopartikkeleille

Tärkeimmät kulkeutumisreitit ihmisen elimistöön ovat keuhkot, ruuansulatusjärjestelmä ja iho. Alle 100 nm:n kokoiset partikkelit päätyvät hengitettäessä keuhkoihin. Erikokoiset partikkelit poistuvat kudoksista eri tahtiin. Pienemmät partikkelit kulkeutuvat kehossa pidemmälle. Myös muoto vaikuttaa liikkumiseen. Varatut nanopartikkelit imeytyvät ruuansulatuselimistössä huonosti. Suoliston kautta kulkeutumista voi tapahtua imusuonistoon ja hiussuonistoon. Terve iho suojaa hyvin ympäristöltä, mutta vahingoittunut iho voi päästää läpi nanopartikkeleja ja ne saattavat sitä kautta kulkeutua muualle. Kehossa nanopartikkelit vaikuttavat mahdollisesti immuunijärjestelmään. (Suomalainen & Hakkarainen 2008: 28–29.)

Altistumista voi tapahtua elintarvikkeiden välityksellä. Päästyään elimistöön vahingollisia vaikutuksia saattaa syntyä eri elimissä kuten maksassa, aivoissa, munuaisissa ja suolistossa. Imeytyminen elimistöön voi olla solumyrkkyä ja haitata solujen normaalia jakautumista ja vaurioittaa muutenkin DNA:n toimintaa. (Lestelä 2009: 34.)

Elimistöön joutuessaan nanohiukkanen törmää väistämättä proteiineihin, rasvoihin tai sokereihin. Samalla tapahtuu pintarakenteesta ja koostumuksesta riippuen päällystymistä happamilla ja emäksisillä aineilla. Alun perin liukenematon aine voi liueta ja myrkytön voi muuttua myrkylliseksi. (Heikkinen 2013.)

Työntekijöiden altistuminen nanopartikkeleille on keskeinen tutkimuskohde nanoteknologia-teollisuudessa. Mittaaminen työperäisessä altistumisessa on vaikeaa. Todennäköisimmin altistuminen tapahtuu hengityksen kautta, mutta myös muita reittejä pitkin. Nanoteknologian teollisuuden kasvaessa partikkeleille altistutaan yhä enemmän. Hankalaa on arvioida nanopartikkelien ominaisuuksien takia, että missä ja milloin altistutaan ja kuinka paljon. (Lestelä 2009: 41–42.)

#### 7.4.3 Riskien ja uhkien hallinta

Nanoteknologian sovellukset aiheuttavat turvallisuusriskejä. Niiden tutkiminen ei ole kärkipäässä vaan tutkimus ja kehitystyö keskittyvät lähinnä valmistukseen ja käyttöön. Riskit tiedostetaan, mutta niihin ei aina keskitytä riittävästi. Ympäristöön joutuneet nanopartikkelit ovat tuntemattomia ekosysteemeille ja haittojen mittaaminen hankalaa. Menetel-

miä ja standardeja kehitellään helpottamaan toimintaa. Teollisesti valmistettujen nanopartikkelien vaikutuksia ympäristöön ja ihmisen terveyteen olisi tarkkailtava. (Suomalainen & Hakkarainen 2008: 33–37.)

Työterveyslaitos TTL toimii nanoturvallisuuden osaltaan vuonna 2011 perustetussa nanoturvallisuuskeskuksessa, joka keskittyy työympäristössä esiintyvien nanohiukkasten arviointiin ja turvallisuuden edistämiseen. Teollisuudessa ja viranomaisten taholla ollaan yksimielisiä, että nanopartikkelit aiheuttavat erilaisia terveysriskejä kuin suuremmat partikkelit. Lisätietoa tarvittaisiin. (Pohjola 2011: 1.)

### Työsuojelu

Työsuojelun tarkoituksena on varmistaa ihmisten hyvät työolot, joissa terveys ja turvallisuus otetaan huomioon. Hyvät työolot edistävät jaksamista, tuottavuutta ja kilpailukykyä. Päävastuu on työpaikoilla ja työn tekijöillä, mutta viranomaiset tukevat toimintaa. Työnantajan on noudatettava työturvallisuuslakia ja järjestää terveydenhuollon kanssa työstä ja olosuhteista johtuvien vaarojen ja haittojen torjumiseksi. Työn turvallisuus on riippuvainen siinä käytettyjen koneiden, suojainten, teknisten laitteiden ja kemikaalien ominaisuuksista. Työpaikkojen tapaturmat ovat viime vuosikymmeninä vähentyneet. Elintarviketeollisuudessa tapahtuu eniten työvahinkoja. (Työsuojelu Suomessa 2010.)

Turvallisuustutkimus on menestyksen kannalta tarpeellista. Niin työntekijöiden kuin kuluttajienkin kannalta turvallisuus on otettava huomioon. Nanohiukkasille altistuvien määrä kasvaa jatkuvasti ja terveyshaitat tulevat enemmän esille. Suomessa turvallisuustutkimus on huippuluokkaa ja nanoteknologiatyöpaikat ovat turvallisia. (Savolainen 2012.)

Euroopan unionin asetuksen REACH (Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals) avulla pyritään suojelemaan ihmisten terveyttä ja ympäristöä kemikaalien aiheuttamilta riskeiltä sekä parantamaan EU:n kemikaaliteollisuuden kilpailukykyä. Se edistää myös vaihtoehtoisten keinojen käyttämistä aineiden vaarojen arviointiin. REACH tuli voimaan 1. heinäkuuta 2007. (Reach-asetus tutuksi 2015.)

Asetusta sovelletaan kaikkiin kemiallisiin aineisiin, ei pelkästään teollisissa prosesseissa käytettyihin, vaan myös päivittäisessä käytössä oleviin. Asetus vaikuttaa useimpiin yrityksiin EU:n alueella. Asetuksessa määritellään menettelyt aineiden ominaisuuksista ja



vaaroja koskevista tiedon keräämiseen ja arviointiin. Aineet on rekisteröitävä ja kemikaalivirasto arvioi riskien mahdollista hallittavuutta. (Reach-asetus tutuksi 2015.)

Yritysten on todistettava ja täytettävä vaatimukset, jotka liittyvät riskienhallintaan. Kemikaalivirastolle on osoitettava, että aineita käytetään turvallisesti ja käyttäjille tiedotettava riskienhallintatoimenpiteistä. Jos riskejä ei voida hallita, niiden käyttöä saatetaan rajoittaa. Yritys voi olla kemikaalien valmistaja, maahantuojaja tai jatkokäyttäjä. (Reach-asetus tutuksi 2015.)

Nanomateriaalit tarjoavat teknisiä ja kaupallisia mahdollisuuksia, mutta ne voivat aiheuttaa riskejä ympäristölle ja ihmisen terveydelle. REACH-asetuksessa ei aseteta erityisiä vaatimuksia nanomateriaaleille, mutta ne kuuluvat asetuksen säännösten piiriin. Euroopan komissio antoi vuonna 2011 suosituksen nanomateriaalien määritelmästä, jota tulisi noudattaa asetuksissa. (Nanomateriaalit 2015.)

EU:n kemikaalilainsäädännön mukaan aineet, joita tuotetaan yli tonni vuodessa pitää rekisteröidä. Kun tuotanto ylittää kymmenen tonnia pitää EU:lle toimittaa myös terveys- ja turvallisuustiedot. Useimmat tuotetut nanopartikkelit eivät ylitä tonnirajaa, jolloin tietoja ei tarvitse toimittaa. (Heikkinen 2013.)

## **8 Tulosten tarkastelu**

### **8.1 Kyselytutkimus**

Kyselytutkimuksen tarkoitus oli tutkia yritysten toimintaa ja nanoteknologian hyödyntämistä. Usein kyselytutkimukset kohdistetaan yksittäisille henkilöille, kun halutaan saada selville esimerkiksi opiskeluun, mielipiteisiin, käyttäytymiseen ja asenteisiin liittyviä asioita. Vaikka tässä kyselytutkimuksessa ei saatu suurta määrää vastauksia, yrityksissä saattoi olla paljon työntekijöitä ja kysymysten voidaan olettaa koskevan monia ihmisiä.

Kyselytutkimus suoritettiin ajanjaksolla touko-elokuu 2016. Yritysten henkilöitä oli juuri tuohon aikaan lomalla ja kesän kiireet saattoivat nekin vaikuttaa vastaamiseen. Kyselyn suunnitteluun ja lomakkeen laatimiseen aikaa kului paljon. Kyselyn suunnittelu ja tekeminen aloitettiin keväällä 2015.

Lomakkeen tekninen toiminta oli hyvä, mutta kyselyn laatu sekä saateviesti ja muistutus ovat saattaneet vaikuttaa vastaamiseen, jos yrityksen edustaja on ollut kiireinen. Kyselyn saateviesti ja muistutus olisi ehkä pitänyt laittaa suoraan sähköpostiviestiin eikä liitetiedostoksi.

Suomessa on suuri määrä bio- ja elintarvikealan yrityksiä, ja aluksi ajateltiin suorittaa satunnaisotos perusjoukosta, mutta päädyttiin valikoimaan näyte, koska yritysten internetsivuilla vierailun perusteella havaittiin, että näytteen ottaminen olisi parempi vaihtoehto.

Jos vastauksia olisi saatu suuri määrä, analysoinnista olisi muodostunut paljon työläämpää. Ennen tutkimuksen suorittamista ajateltiin, että toivottu vastausprosentti kyselylomakkeeseen olisi noin 30 %, joka vastaisi 96 lähetetyssä lomakkeessa ainakin 28 täytettyä lomaketta. Sanallisten vastausten huomioonottaminen olisi tällöin ollut haastavampaa, jos nanoteknologiaa hyödyntäviä yrityksiä olisi sama puolet tai enemmän mukana.

## 8.2 Vastausten hyödynnettävyys

Kuudessa lomakevastauksessa kerrottiin, että nanoteknologiaa hyödynnetään jollakin tavalla tällä hetkellä. Vastaukset olivat erilaisia ja niiden perusteella tehtiin päätelmiä nanoteknologian soveltamisesta bio- ja elintarviketekniikassa. Alalla hyödynnetään nanoteknologiaa ja on hyödynnetty kauankin, sekä se on lisääntymässä tulevaisuudessa. Yrityksillä olisi tarpeita insinöörien nanoteknologiaosaamisessa ja yhteistyössä ammattikorkeakoulujen kanssa.

Kyselytutkimuksen vastaukset olivat määrään nähden monipuoliset ja niiden avulla saatiin pienoiskuva, miten bio- ja elintarviketekniikassa sovelletaan nanoteknologiaa tällä hetkellä. Vastausten perusteella oli mahdollista kirjallisuusselvityksen kanssa tehdä ehdotuksia insinöörien osaamistarpeisiin bio- ja elintarviketekniikan alalla.

## 9 Pohdinta

Nanoteknologia on suhteellisen uusi teknologian ala ja pitää sisällään paljon erilaisia sovelluksia. Tärkeimmät tieteenalat fysiikka, kemia ja biologia yhdistyvät siinä muodostaen tieteidenvälisen kentän, jossa syntyy uusia tutkimus- ja tuotekehittelymahdollisuuksia. Laaja eri alojen yhdentyminen tuottaa uutta tietoa, kun kehitellään menetelmiä ja tuotteita. Nanoteknologia on tieteelliseltä ja tekniseltä kannalta haastava, jos mennään syvälle atomien ja molekyylien hallinnassa.

Tässä työssä keskityttiin lähinnä bio- ja elintarvikealan sovelluksiin, mutta myös muihin tärkeisiin aloihin tutustuttiin. Työtä tehdessä eri alojen hyödyntämä nanoteknologia tuli tutuksi ja myös muita teknologiaan liittyviä aiheita pohdittiin kuten nanoteknologian mahdollisuuksia ja siitä aiheutuvia uhkia. Lainsäädännöllä on vaikutuksia nanoteknologioiden käyttöönotossa ja soveltamisessa. Kuluttajien asenteet ja tottumukset saattavat vaikuttaa nanoteknologian sovellusten käyttöönottoon ja tuotteistamiseen. Yrityksen imagolla on omat vaikutuksensa.

Nanoteknologia avaa uusia mahdollisuuksia materiaaleihin ja menetelmiin liittyen monilla teknologian alueilla. Aineen määrän ollessa pieni syntyy taloudellisesti ja ympäristön kannalta uudenlaisia etuja. Yksinkertaisille partikkeleille voidaan löytää sovelluskohteita eri tarkoitukseen kuin alun perin oli suunniteltu. Hiilinanomateriaaleilla, metallisilla partikkeleilla ja yhdistelmäateriaaleilla on käyttöä nanobiotekniikan ja lääketieteen aloilla.

Erilaisten nanoteknologioiden heikkoutena voidaan pitää ennalta arvaamattomia ominaisuuksia, joita muodostuu valmistettaessa ja käytettäessä partikkeleja. Ihmisen terveyden ja ympäristön kannalta nanoteknologian sovellukset tarvitsevat lisää tutkimusta, koska samankin aineen erilaiset rakenteet käyttäytyvät biologisessa ympäristössä eri tavalla. Elintarvikesovelluksien luonne on erilainen verrattuna materiaalien ja lääketieteen sovelluksiin. Nanomateriaalien käyttö ainesosana elintarvikkeissa, jolloin materiaalit joutuvat kehon sisään voi aiheuttaa haittaa. Lääketieteellinen nanoteknologian käyttö uusilla menetelmillä ja aineilla vakavan sairauden tehokkaammassa hoidossa voi olla hyvin perusteltua.

Suomessa on suuri määrä erilaisia bio- ja elintarvikealan yrityksiä. Kyselyyn otettiin mukaan 96 yrityksen näyte itse valikoimalla. Sähköpostilla lomake lähetettiin näille yrityksille ja vastauksia lomakkeeseen saatiin 12 kappaletta sekä 9 muuta vastausta. Tavoiteltu vastausprosentti oli korkeampi. Vierailu yritysten internetsivuilla ja näytteen valitseminen oli haastavaa ja aikaa vievää. Lomakkeen tekoon ja kyselyn suorittamiseen kului paljon aikaa. Kyselylomakkeen vastausten perusteella ja kirjallisuuteen tutustumalla saatiin käsitys, miten bio- ja elintarviketekniikassa voidaan soveltaa nanoteknologiaa.

Insinööriä työ oli hieman liian laaja-alainen. Olisi ollut parempi tutustua johonkin nanoteknologian sovellukseen syvällisemmin. Aiheena nanoteknologia on haastava, mutta sen käytön lisääntyessä myös bio- ja elintarviketekniikassa uusia sovelluskohteita löytyy enemmän. Nanoteknologia on mukana yhä enemmän teknologioiden joukossa, ja jonkin soveltamiskohteen tarkempi hallitseminen olisi hyödyksi insinöörille. Työn aikana huomattiin, että järjestelmällisyys ja systemaattinen eteneminen ovat tehokasta.

## Lähteet

Biologiset lääkkeet. 2016. Verkkodokumentti. Lääketeollisuus. <[www.laaketeollisuus.fi/terveydenhuolto/biologiset-laakkeet](http://www.laaketeollisuus.fi/terveydenhuolto/biologiset-laakkeet)> Luettu 22.4.2016

Biopohjaisten raaka-aineiden käyttö kasvaa. 2016. Verkkodokumentti. Biotalous. <<http://www.biotalous.fi/kemia/>> Luettu 22.4.2016

Chen, Feng, Wang, Yanwei. Ma, Jun., & Yang Guuangcan. 2014. A biocompatible synthesis of gold nanoparticles by Tris(hydroxymethyl)aminomethane. *Nanoscale Research Letters* 2014; 9(1): 220

Cormode, David P., Jarzyna, Peter A., Mulder, Willem J.M. & Fayad, Zahi A. 2010. Modified natural nanoparticles as contrast agents for medical imaging. *Advanced Drug Delivery Reviews*. Volume 62, Issue 3. s. 329–338

Drexler, Eric. 1986. *Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology*. Palo Alto, CA, USA: Foresight Institute

Dudkina, Natalya V., Sunderhaus, Stephanie, Boekema, Egbert J. & Braun, Hans-Peter. 2008. The higher level of organization of the oxidative phosphorylation system: mitochondrial supercomplexes. *Journal of Bioenergetics and Biomembranes*. 40,5, s.419–424.

Elintarviketieto-opas elintarvikevalvojille ja elintarvikealan toimijoille. 2014. *Eviran ohje* 17068/1.

Feynman, Richard. 1959. *Plenty of Room at the Bottom* (puhe). Pasadena: American Physical Society.

Freestone, Ian., Meeks, Nigel., Sax Margaret & Higgitt, Catherine. 2007. The Lycurgus Cup – A Roman Nanotechnology. *Gold Bulletin*. 40/4. s. 270–277.

George, Steven M. 2010. Atomic Layer Deposition: An Overview. *Chemical Reviews* 110, 2010. s. 111–131

Graphite to Graphene... in a Kitchen Blender. 2014. Verkkodokumentti. Naturphilosophie. <[www.naturphilosophie.co.uk/graphite-graphene-kitchen-blender](http://www.naturphilosophie.co.uk/graphite-graphene-kitchen-blender)> Luettu 26.10.2016.

Heikkilä, Tarja. 2014. Tilastollinen tutkimus. Helsinki: Edita Publishing Oy

Heikkinen, Kirsi. 2013. Pienuudessa piilee riski. Tiede 5/2013, s. 36–39

Heino, Jyrki & Vuento, Matti. 2005. Paljon tilaa pohjalla. Johdatus nanoteknologiaan ja nanotieteeseen. Helsinki: WSOY

Hester, R.E. & Harrison R.M. (edit.) 2007. Nanotechnology: Consequences for Human Health and the Environment. Cambridge, UK: RSC Publishing

Hiltunen, Elina & Hiltunen, Kari. 2014. Teknoelämää 2035. Miten teknologia muuttaa tulevaisuuttamme? Helsinki: Talentum

Holmén, Tom & Vilja Iiro. (toim.) 2009. Ihminen ja maailmanhallinta. Kaksitoista avointa tapausta. Helsinki: Art House

Hyrylä, Leena. 2014. Elintarviketeollisuus. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö

Ibrahim, Marika. 2012. Modifioitujen nanopartikkelien erottelumenetelmät. Opinnäytetyö. Turun ammattikorkeakoulu

Itävaara, Merja, Linder, Markus & Kauppinen, Esko. 2008. Nanomateriaalien mahdollisuudet ja riskit. Helsinki: Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta

Johnson, Richard W., Hultqvist, Adam & Bent, Stacey F. 2014. A brief review of atomic layer deposition: from fundamentals to applications. Materials Today. Volume 17, Number 5. s. 236–246

Jones, Richard A.L. (suom. Kimmo Pietiläinen). 2008. Pehmeät koneet. Nanoteknologia ja elämä. Helsinki: Terra Cognita

Kananen, Jorma. 2011. Kvantti - Kvantitatiivisen opinnäytetyön kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu

Korhonen, Hannu J. 2007. Terveysvaikutteiset elintarvikkeet – kansanterveyden ja tuotekehityksen uudet haasteet. Elintarvike ja Terveys- lehti 21 s. 14–19. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus

Laakso, Suvi. 2010. Rintasyövän diagnostiset määrittämenetelmät. Opinnäytetyö: Turun ammattikorkeakoulu

Labhassetwar, Vinod & Leslie-Pelecky, Diandra L. (edit.) 2007. Biomedical Applications of Nanotechnology. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. Inc.

Lee, H.V, Hamid, S.B.A. & Zain, S.K. 2014. Conversion of Lignocellulosic Biomass to Nanocellulose: Structure and Chemical Process. The Scientific World Journal 2014: 631013.

Lestelä, Iiris. 2009. Nanoteknologia ja elintarvikkeet. Helsinki: Evira

Mattinen, Maija-Liisa. 2015. Nanoteknologia ja biomateriaalit. Opintojaksomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

McMurry, John & Simanek, Eric. 2007. Fundamentals of Organic Chemistry, Sixth Edition. Belmont, CA, USA: Thomson Brooks/Cole

Molecular motor. 2008. Verkkodokumentti. University of Wisconsin - Madison Materials Research Science and Engineering Center Interdisciplinary Education Group <[www.education.mrsec.wisc.edu/nanoquest/molecular\\_motor/index.html](http://www.education.mrsec.wisc.edu/nanoquest/molecular_motor/index.html)> Luettu 26.10.2016

Nanomateriaalit. 2015. Verkkodokumentti. ECHA. <[echa.europa.eu/regulations/nano-materials](http://echa.europa.eu/regulations/nano-materials)> Luettu 21.9.2016

Novoselov, K.S., Fal'ko, V.I., Colombo, L., Gellert, P.R., Schwab, M.G. & Kim, K. 2012. A roadmap for graphene. Nature, VOL 490, s. 192–200

Pahkinen, Erkki. 2012. Kyselytutkimusten otantamenetelmät ja aineistoanalyysi. Jyväskylä: JULPU

Paukku, Timo. 2013. Kymmenen uutta ihmettä, teknologiat, jotka muuttavat maailmaa. Tampere: Gaudeamus

Pohjola, Tuuli. 2011. Nanoteknologian hyödyntäminen elintarvikealan koneenrakennuksessa. Seinäjoki: Bionova Consulting

Reach-asetus tutuksi. 2015. Verkkodokumentti. ECHA. < [echa.europa.eu/regulations/reach/understanding-reach](http://echa.europa.eu/regulations/reach/understanding-reach)> Luettu 21.9.2016

Rogers, Ben., Adams, Jesse & Pennathur, Sumita. 2015. Nanotechnology Understanding Small Systems, Third Edition. Boca Raton: CRC Press

Savolainen, Kai. 2012. Nanoteknologia tarvitsee turvallisuustutkimusta. Helsinki: Työterveyslaitos, Nanoturvallisuuskeskus

Seitz, Arne. 2010. Basics in light microscopy. PT-BIOP Course, EPFL

Soininen, Tiina. 2011. Diagnostiikka. Opintojaksomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Sundqvist, Hannu & Hansén, Sten-Olof. 2006. Biolääkeala, Ideasta innovaatioon. Lääkealan asema ja kehitysedellytykset Suomessa. Turku: Newprint Oy

Suomalainen, Susanna & Hakkarainen, Tero. 2008. Nanoteknologia ja ympäristönsuojelu. Helsinki: Ympäristöministeriö

Suvanto, Nina & Kouvonen, Ilkka. 2012. In vitro -diagnostiikkaan liittyvän teollisuuden kehitysnäkymät Varsinais-Suomessa. Turku: Turun ammattikorkeakoulu.

Telkänranta, Helena. 2015. Puusta kasvaa biosampo. Tiede 6/2015. s. 22–29

Theodore, Louis. 2006. Nanotechnology, Basic Calculations for Engineers and Scientists. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons. Inc.



Trelles, Juan Pablo. 2011. Atomic Layer Deposition in Semiconductor Manufacturing. Washington State University, Vancouver, WA

Turunen, Hannu. 2015. Nanoteknologia ja biomateriaalit. Opintojaksomateriaali. Metropolia Ammattikorkeakoulu.

Työsuojelu Suomessa. 2010. Sosiaali- ja terveysministeriön esitteitä 2010:2. Helsinki: Sosiaali- ja terveysministeriö.

Vehkalahti, Kimmo. 2008. Kyselytutkimuksen mittarit ja menetelmät. Vammala: Tammi

Wang, Bin., Xiao, Wu., Gan, Tat-Hean & Rusinek, Alexis. 2014. Finite Element Modelling of Atomic Force Microscope Cantilever beams with Uncertainty in Material and Dimensional Parameters. Engineering Transactions 62,4, s. 403–412.

Wilson, Michael., Kannangara, Kamali., Smith, Geoff., Simmons, Michelle & Raguse, Burkhard. 2002. Nanotechnology: basic science and emerging technologies. Boca Raton, Florida, USA: Chapman & Hall/CRC

Witz, Guillaume & Stasiak, Andrzej. 2010. DNA supercoiling and its role in DNA decatenation and unknotting. Nucleic Acids Research. 38 (7) s. 2119–2133

## Kyselylomake



### Kysely nanoteknologian osaamistarpeista bio- ja elintarviketekniikan alalla.

Insinöörityön yritys kysely nanoteknologiasta.

Kohteena suomalaiset bio- ja elintarviketekniikan yritykset. Tavoitteena saada tietoa insinöörin osaamistarpeista nanoteknologiaan liittyen.

#### Johdatus

Tervetuloa vastaamaan kyselytutkimukseen, jolla pyritään selvittämään nanoteknologian tämän hetkistä soveltamista bio- ja elintarviketekniikassa sekä kartoittamaan minkälaisia osaamistarpeita yrityksillä on nanoteknologiaan liittyen.

#### Yrityksen perustiedot

Yrityksen nimi

Yrityksen kokoluokka

- Henkilöstömäärä
- 1-9
  - 10-49
  - 50-249
  - 250-499
  - 500-

Yrityksen sijainti

#### Nanoteknologian hyödyntäminen

- \*Hyödynnetäänkö yrityksessänne tällä hetkellä nanoteknologiaa jollakin tavalla?
- Ei
  - Kyllä

Jos kyllä, niin miten?

- Kuinka kauan olette hyödyntäneet nanoteknologiaa?
- ei vielä olleenaan
  - 1 vuoden
  - 2-5 vuotta
  - 6 - 10 vuotta
  - 11 - 15 vuotta
  - 16 -20 vuotta tai kauemmin

- \* Kuinka tärkeä nanoteknologia on yrityksellenne?
- Ei tärkeä
  - Vähän tärkeä
  - Ei osaa sanoa
  - Melko tärkeä
  - Erittäin tärkeä

### Yrityksen tarpeet

Mihin tehtäviin nanoteknologiaa ymmärtäviä insinöörejä tarvittaisiin? (Valitse 1-3)

- suunnittelu
- tutkimus
- tuotekehitys
- asiantuntija
- hallinto ja johto
- myynti ja markkinointi
- laadunvalvonta

Minkälaista nanoteknolgian osaamista valmistuvilla insinööreillä toivotaan olevan?

- Nanoteknolgiaan teoreettista ymmärtämistä yleisellä tasolla
- Nanoteknolgiaan käytännön osaamista yleisellä tasolla
- Nanoteknologiaan liittyvää tuotekehitysosaamista
- Nanoteknologiaan liittyvää tutkimusosaamista
- Nanoteknolgiaan ughiin liittyvää osaamista
- Nanoteknolgiaan tietyn osa-alueen syvällistä osaamista

Millaista muuta osaamista nanoteknologiaan liittyen tarvitaan?

Millainen yhteistyö ammattikorkeakoulun kanssa voisi kiinnostaa? (valitse 1-3)

- AMK:n järjestämä koulutus nanoteknologian perusteista yleisesti
- AMK:n järjestämä koulutus tietystä nanoteknologian osasta
- Yrityksen antama insinööriyöaihe nanoteknologiaan liittyen
- Yrityksen tarjoama harjoittelupaikka nanoteknologiaan liittyen
- Yrityksen antama innovaatioprojektiaihe nanoteknologiaan liittyen
- Yritysvierailu nanoteknologian näkökulmasta
- Yrityksen pitämä motivaatiokoulutus/oppitunti AMK:n tilossa yrityksen soveltamasta nanoteknologiasta

Mitä muita yhteistyömahdollisuuksia voisi olla?

#### Vapaat kommentit

Tässä voi antaa vapaamuotoista kommenttia asiaan liittyen.

#### Tietojen lähetyk

Tallenna

Kiitos vastauksista!

## Saate ja muistutus

Saate



Arvoisa kyselytutkimukseen vastaaja!

Tämä kyselytutkimus on osa insinööriyötäni Metropolia Ammattikorkeakoulussa. Opiskelen bio- ja elintarviketekniikan koulutusohjelmassa. Tavoitteena on saada tietoa, miten allani hyödynnetään nanoteknologiaa.

Kyselyn avulla pyritään saamaan selville myös millaista tietoa insinöörien tulisi hallita nanoteknologiaan, etenkin bio- ja elintarviketekniikan sovelluksiin, liittyen.

Vastausten ja kirjallisuuden perusteella tehdään ehdotuksia insinööriopetuksen toteutukseen, teoria ja käytäntö huomioon ottaen. Kaikki vastaukset ovat tärkeitä ja vastaamalla voitte olla vaikuttamassa nanoteknologian opetuksen suositeltuun sisältöön.

Lomakkeessa on 13 kohtaa ja vastaamiseen menee vain hetki. Suurin osa kysymyksistä on suljettuja, joissa on valmiita vastausvaihtoehtoja, mutta mukana on myös avoimia kohtia.

Vastauksia käsitellään luottamuksellisesti. Sähköpostiosoite on hankittu yrityksenne internetsivuilta.

Kyselyyn pääsee alla olevasta linkistä. Vastaamisen jälkeen klikkaa "Tallenna" niin tiedot tallentuvat ohjelmistoon. Vastausaikaa on 19.8.2016 asti.

Jos et ole oikea henkilö vastaamaan, voisitko lähettää viestin eteenpäin henkilölle, joka voisi vastata kyselyyn.

<https://elomake.metropolia.fi/lomakkeet/16138/lomake.html> 

Kiitos jo etukäteen!

Lisätietoja: simo.rasilainen@metropolia.fi

Simo Rasilainen



Muistutus

|

Ette ole vielä vastanneet kyselyyn nanoteknologiasta. Pyytäisin vastaamaan 19.8. mennessä.

Linkistä pääsee täyttämään e-lomakkeen.

<https://elomake.metropolia.fi/lomakkeet/16138/lomake.html> 

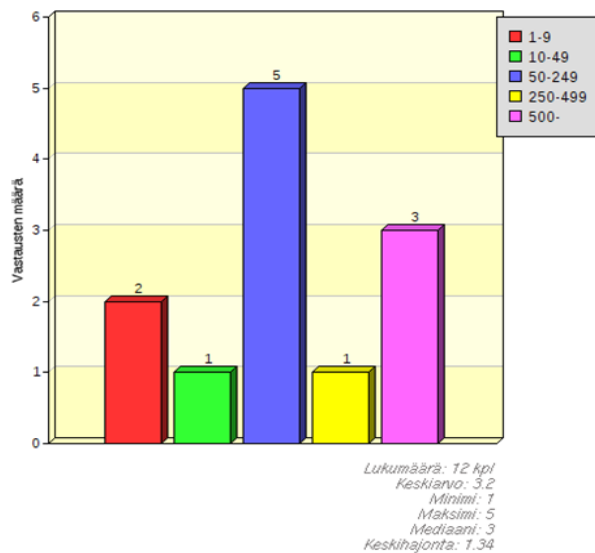
Kiitos vielä kerran!

Simo Rasilainen  
Metropolia Ammattikorkeakoulu

## Yrityksen kokoluokka

Yrityksen kokoluokka  
Henkilöstömaa

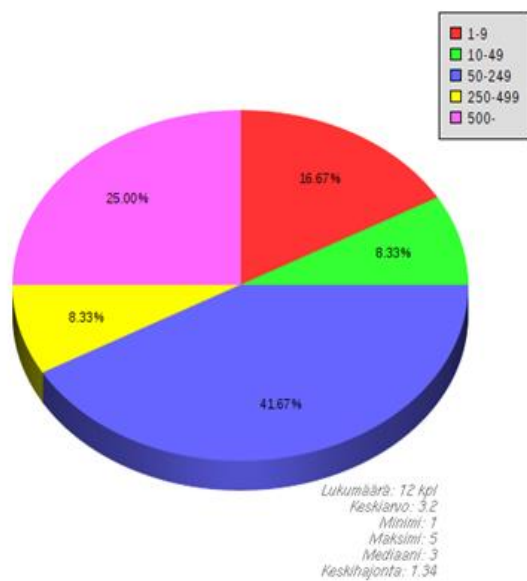
Vastausten absoluuttinen jakauma



Kuva 1

Yrityksen kokoluokka  
Henkilöstömaa

Vastausten suhteellinen jakauma

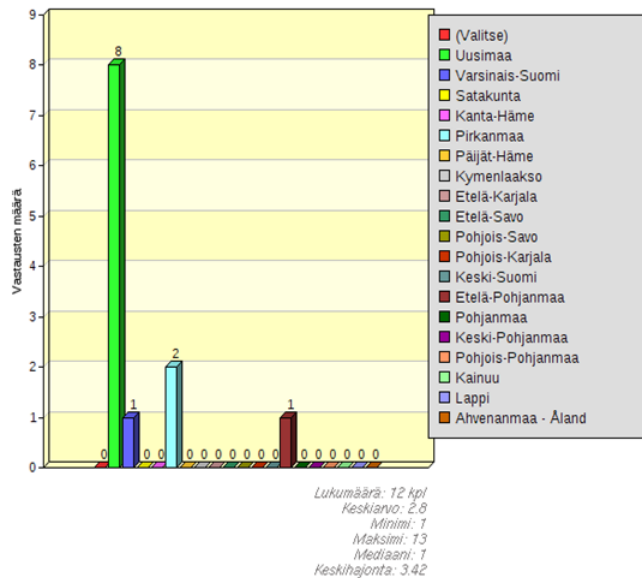


Kuva 2

## Yrityksen sijainti

Yrityksen sijainti

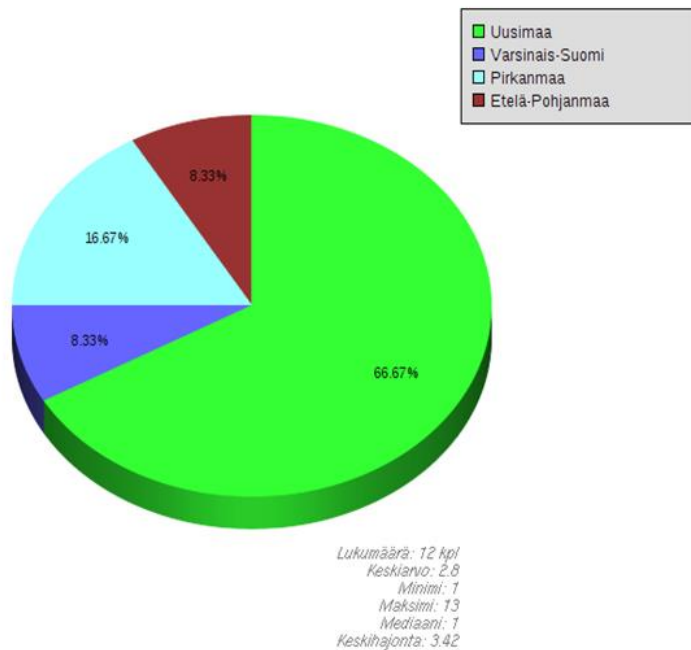
Vastausten absoluuttinen jakauma



Kuva 1

Yrityksen sijainti

Vastausten suhteellinen jakauma

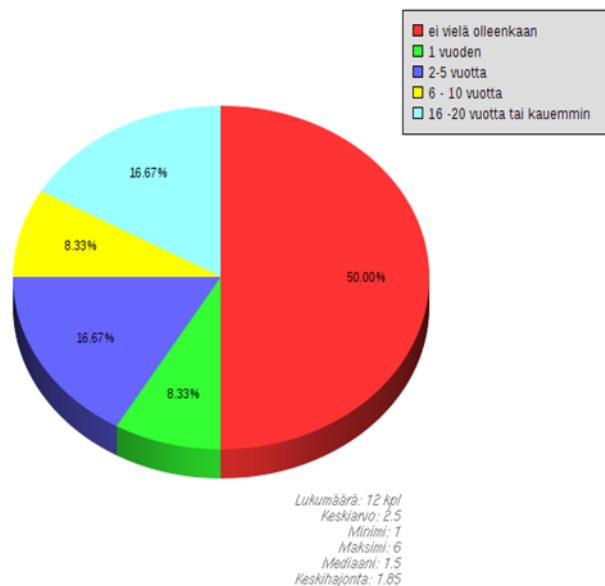


Kuva 2

## Nanoteknologian hyödyntäminen

Kuinka kauan olette hyödyntäneet nanoteknologiaa?

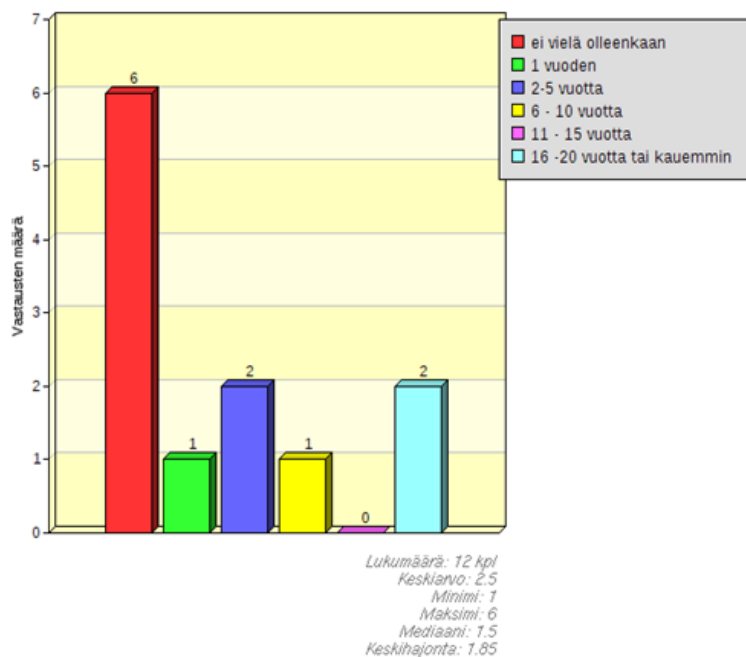
Vastausten suhteellinen jakauma



Kuva 1

Kuinka kauan olette hyödyntäneet nanoteknologiaa?

Vastausten absoluuttinen jakauma



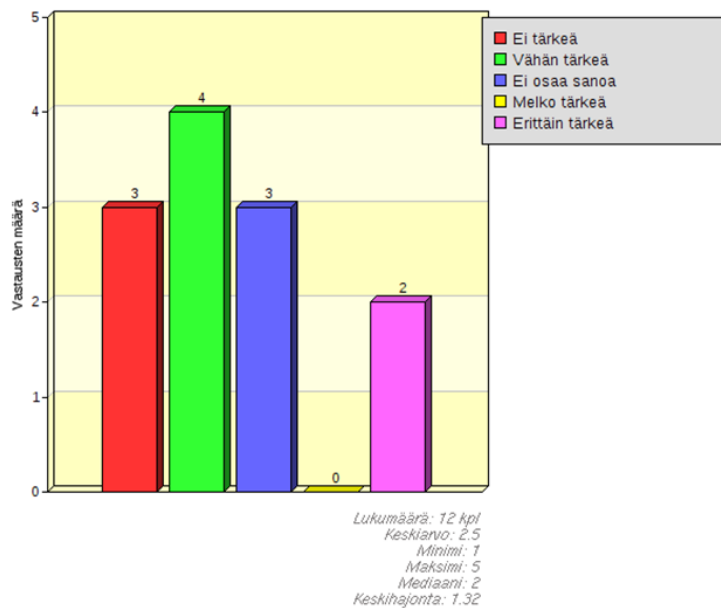
Kuva 2



## Nanoteknologian tärkeys

Kuinka tärkeä nanoteknologia on yrityksellenne?

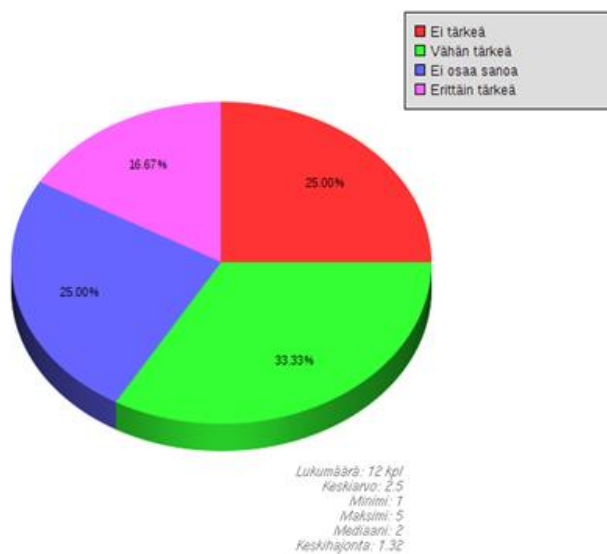
Vastausten absoluuttinen jakauma



## Kuva 1

Kuinka tärkeä nanoteknologia on yrityksellenne?

Vastausten suhteellinen jakauma



## Kuva 2