



Open your mind. LUT.
Lappeenranta University of Technology

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO
Teknillinen tiedekunta
Konetekniikan koulutusohjelma
BK10A0400 Kandidaatintyö ja seminaari

NANOTEKNIIKAN MAHDOLLISUUDET KONETEKNIKASSA
POTENTIAL OF NANOTECHNOLOGY IN MECHANICAL ENGINEERING

Lappeenrannassa 4.10.2013
Ossi Tynkkynen

SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO	3
1.1 Tutkimuksen lähtökohta.....	4
1.2 Tutkimustavoite	5
1.3 Työn rajaukset.....	5
1.4 Tutkimuskysymykset	6
1.4.1 Onko nanotekniikka turvallista?.....	6
1.4.2 Mitkä ovat nanotekniikan tulevaisuuden näkymät konetekniikassa?	6
2 NANOTEKNIIKAN HYÖDYNTÄMINEN ERI TEOLLISUUDEN ALOILLA	7
2.1 Uudet materiaalit, erilaiset pinnoitusmahdollisuudet ja nanoteknologia	7
2.2 Elintarviketeollisuus	8
2.2.1 Konetekniikkaa elintarviketeollisuuden sovelluksiin.....	9
2.3 Nanosovelluksia energiatekniikassa	9
2.3.1 Nanosovellus tuulivoimaan	9
2.3.2 Nanotekniikka aurinkoenergian talteenotossa.....	10
2.3.3 Sovellus lentokoneiteollisuuteen.....	12
2.4 Nanosovelluksia terveydenhuollossa	122
2.4.1 Nanosovellus lääketieteeseen.....	14
2.4.2 Nanosovellus lääkkeiden annostukseen	15
2.5 Nanosovelluksia kuljetusteollisuuteen.....	16
2.5.1 Nanosovellus akkuteollisuuteen.....	17
2.5.2 Nanosovellus tuulilasiteollisuuteen.....	17
2.5.3 Nanosovellus öljyihin.....	18
2.5.4 Nanosovellus katalysaattoreihin.....	19
2.5.5 Kuljetuskaluston osien nanopinnoitus.....	19

2.6	Eräitä muita sovelluskohteita nanoteknologialle	20
2.6.1	Nanoteknologiaan perustuva edullinen älymaali	21
2.6.2	Nanosovellus matkapuhelinkonsepiin.....	21
2.6.3	Nanosuodatus	22
2.6.4	Henkilökohtaiset kannettavat veden suodattimet.....	244
3	NANOTEKNOLOGIAN MAHDOLLISUUDET KONETEKNIKASSA	255
3.1	SWOT-analyysi.....	266
3.2	Ongelmia nanosta.....	277
3.2.1	Nanomateriaalien käyttö työpaikoilla	288
3.2.2	Riskien hallinnan keinot.....	29
4	JOHTOPÄÄTÖKSET	300
4.1	Esimerkki onnistuneesta tuotekehittelystä (2013)	333
5	YHTEENVETO	355
6	LÄHDELUETTELO.....	36

1 JOHDANTO

Nanoteknologia on tekniikkaa, jossa käytetään nanometrin eli millimetrin miljoonasosan kokoisia materiaalihiukkasia. Nanoteknologiassa materiaali saa uusia ominaisuuksia, joita hyödynnetään nanoteknisissä tuotteissa. Esimerkiksi: Lianhylkivyyys, kulutuskestävyys, voiteluominaisuudet, korroosionkestävyys, energiatehokkuus sekä mekaaninen kestävyys, nanotekniikkaa voidaan hyödyntää monissa teknillisissä sovelluksissa. Konetekniikassa erilaisissa pinnoissa, voiteluöljyissä, maaleissa ja suodatuksessa. Koneiden sähkö- ja elektroniikkakomponenteissa nanotekniikkaa soveltaen voidaan parantaa lämmönjohtavuutta ja pienentää ylikuumentumisriskiä.

Jo käytössä olevia sovelluksia ovat likaa hylkivät työvaatteet, suurkaupunkien vedenpuhdistamoilla käytettävä nanosuodatus, nanokomposiittimateriaalit ajoneuvojen katalysaattoreissa, pesäpallomailoissa, tennismailoissa, suojakypäroissä, ajoneuvojen puskureissa, erilaisissa koteloissa ja yleensä pinnoissa. Nanotimanttivahat, joilla on hyvät pinnan eristys – ja suojausominaisuudet sekä nanotimantti -moottoriöljyt, jotka vähentävät kulumista, kitkaa ja vähentävät polttoaineen kulutusta.

Eräs oleellinen tutkittavana oleva nanosovellus ovat sairaalaympäristöön soveltuvat pinnoitteet, jotka hylkivät likaa ja samalla tappavat sairaalabakteereita. Likaa hylkivät pinnoitteet (Kuva 1.) soveltuvat myös hyvin julkisiin tiloihin, niistä esimerkkeinä ovat hotellit, koulut, päiväkodit, kirjastot, valtion virastot, myymälät, marketit jne. Tulevaisuudessa myös yksityisasuntojen saniteettitilat ja tekstiilit, kuten matot, verhot, pöytäliinat ym. pölyä ja likaa keräävät tekstiilit.



Kuva 1. Nanofibrilliselluloosa- eli NFC-kalvo voidaan räätälöidä vettä hylkiväksi. (Kemia-Kemi 1/2013) /1./

”Kalvon paksuus on vain kymmeniä mikrometrejä, mutta vesi ei riko kalvoa, ja pisara pysyy kalvon pinnalla jopa ylösalaisin. Tiiviin, sileän kalvon pintaan voidaan painaa sähköjohtavia kuvioita.” /1/.

Nanoteknologian tutkimukseen on kiinnitetty huomiota merkittävästi Suomessa 2000-luvulla. Nanotieteen tutkimusta ja koulutusta on kehitetty ja laajennettu huomattavasti.

Nanopartikkelien terveys- ja ympäristövaikutusten huomioon ottaminen jo tutkimus- ja kehitysvaiheessa tulee korostumaan. Näkemys on, että vuonna 2020 nanoteknologiat ja niiden tutkimus ovat vakiintuneet osaksi arkipäivää, ja poikkitieteellinen tutkimustapa on hyvin kehittynyt. Nanotieteiden koulutuksen uskotaan integroituvan luonnolliseksi osaksi muun muassa luonnontieteiden, tekniikan ja lääketieteen koulutusta.

1.1 Tutkimuksen lähtökohta

Tämän kandidaatintyön tarkoitus on selvittää nanotekniikan sovellusmahdollisuuksia pääasiassa konetekniikassa ja konetekniikkaan liittyvissä sovelluksissa. Muitakin nanosovelluksia käsitellään, koska ne tavalla tai toisella liittyvät tekniikkaan. Työ koostuu pääasiassa kirjallisuustutkimuksesta. Nanoteknologiaa tutkitaan ympäri maailmaa. Vuosille

2007 – 2013 ajoittuu Euroopan tutkimuksen 7. Puiteohjelma, johon sisältyy mm. nanotiede, materiaalit ja uudet tuotantomenetelmät.

Suomessa nanotutkimusta on koostettu erilaisten tutkimusohjelmien ja klusterin yhteyteen. Suomessa on rahoitettu Tekesin teknologiaohjelmia 2002-2013, joista osa jatkuu edelleen. Kaikissa on tutkittu, hyödynnetty ja kaupallistettu nanorakenteita ja ilmiöitä. Tutkimuksiin on sisältynyt myös koneenrakennuksen nanomateriaaleja kaupallistaneita yrityksiä. Suomen Akatemian nanotieteen tutkimusohjelmassa FinNano 2006-2010 tehtiin alan perustutkimusta.

/2./

1.2 Tutkimustavoite

Tässä työssä pyritään perehtymään nanoteknologian nykyhetkeen, sekä nanotutkimukseen ja käytännön sovelluksiin. Lisäksi tässä työssä keskitytään jatkuvasti perässä laahaavaan lainsäädäntöön ja riittämättömään tutkimustietoon nanopartikkeleiden terveysriskeistä, jotka liittyvät työntekijöihin työpaikoilla, sekä kuluttajiin, jotka ostavat ja käyttävät nanotuotteita.

1.3 Työn rajaukset

Nanotekniikan sovellusalueet voidaan jakaa seuraavasti:

- a) Elektroniikka
 - Optoelektroniikka (ORC on Suomen johtava nanofotoniikan tutkimuskeskus)
- b) Energia
- c) Biotekniikka
- d) Muut materiaalitekniikat

Nanomateriaalit voivat olla epäorgaanisia tai orgaanisia. Lisäksi materiaalit voivat olla koostumukseltaan myös useiden materiaalien seoksia eli komposiitteja.

Nanotekniikka on hyvin laaja tekniikan alue, sovelluskohteita löytyy useiden eri teknologioiden alueelta. Tässä tutkimuksessa on tarkoitus pitäytyä koneenrakennustekniikassa ja sitä sivuavissa tai lähellä olevissa nanotekniikoissa. Työn tavoitteena on hahmottaa nanoteknologian mahdollisuuksia konetekniikassa.

1.4 Tutkimuskysymykset

1.4.1 Onko nanotekniikka turvallista?

Nanohiukkasten haitallisuutta pystytään tutkimaan tällä hetkellä vain yksi hiukkastyypin kerrallaan. Alle sadasta tutkitusta nanohiukkastyypistä suurin osa on ollut haitattomia. Uudenlaisia hiukkastyyppejä tuotetaan kuitenkin koko ajan lisää ja toistaiseksi tutkimusresurssit eivät riitä, jotta tutkimus pysyisi teknologian kehityksen tahdissa.

- Kuinka voidaan määrittellä riittävä osan tieto, jolla heti tuotantoprosessin alussa voidaan nähdä lopputuotteen turvallisuus?
- Löytyykö hiukkasten ominaisuuksista jokin sellainen piirre tai ominaisuus, joka mahdollistaa haitallisuuden toteamisen nopeasti ja helposti?
- Altistumisen määrä?
- Nanohiukkasen muoto?
- Altisteiden kemialliset reaktiot elimistössä?
- Biokestävyys eli hajoaako aine elimistössä vai pysyykö se muuttumattomana?

1.4.2 Mitkä ovat nanotekniikan tulevaisuuden näkymät konetekniikassa?

- Minkälaisia mahdollisuuksia teollisesti valmistetut nanopartikkelit tarjoavat?
- Onko konetekniikan tuotteissa mahdollista soveltaa nanoteknologiaa?
- Mahdollistavatko nykyiset laitteet ja asetukset nanoteknologian sovellukset tuotteisiin?
- Onko yrityksillä riski joutua käräjille mahdollisten arvaamattomien haittojen surauksena?
- Kuinka nanotuotteiden kierrätys on järjestettävä ja mitä siinä tulee huomioida?

2 NANOTEKNIIKAN HYÖDYNTÄMINEN ERI TEOLLISUUDEN ALOILLA

2.1 Uudet materiaalit, erilaiset pinnoitusmahdollisuudet ja nanoteknologia

Materiaaliteknologiassa ajankohtaisia ovat nanotekniikan mahdollistamat materiaalimuutokset, joiden avulla perinteisille materiaaleille tuodaan lisäarvoa ja uutta toiminnallisuutta. Esimerkkeinä lisäarvoista ovat mm. magneettisten, sähköisten, biologisten tai optisten ominaisuuksien muutokset. Teollisuus voi hyödyntää nanoteknologiaa erityisesti pinnoitteissa ja erilaisina lisäaineina. Kuluttajille tutuimpia nanotuotteita ovat kulutuselektroniikan tuotteet, LED-valaisimet, urheiluvälineet ja tekstiilit sekä likaa hylkivät pinnoitteet. Nanoteknologian mahdollistamat uudet sovellusalueet ja niiden tunnistaminen voivat tuoda yrityksille merkittäviä markkina-alueita ja liiketalouden kasvua.

”Nanotekniikan mahdollisuuksia pinnoissa ja materiaaleissa:

Pinnoitteet:

Likaantumattomat ja helposti puhdistettavat pinnat

Antimikrobiaaliset pinnoitteet

Jäätymättömät pinnoitteet

Kulutusta kestävät pinnoitteet

Pinnoitteet vaativiin olosuhteisiin

Itsestään korjautuvat pinnoitteet

Kitkaa alentavat pinnoitteet

Lämmönsiirto- ja kondenssipinnat

Virtauspinnat

Nanokomposiitit

Lujat ja keveät muovinanokomposiitit

Hiilipohjaiset materiaalit

Nanotimantit tribologisissa kontakteissa

Nanorakenteiset hiilipohjaiset pinnoitteet

Aktiiviset materiaalit:

Anturit ja aktuaattorimateriaalit
 Näyttöpinnat sekä valonläpäisyltään säädettävät ikkunapinnat
 Värähtelyn vaimennus
 Sulautettu anturointi
 Näkymättömät sähköä johtavat nanokalvot
 Luontoa jäljittelevät materiaalit:
 Nanokomposiitit
 Taipuisat väriaineaurinkokennot
 Uudet sovellukset:
 Pinta- ja kolloiditiede
 Nanopartikkelit eri sovelluskohteisiin
 Monitasomallinnusavusteinen suunnittelu” /3./

2.2 Elintarviketeollisuus

”Elintarviketeollisuudessa nanotekniikan käyttökohteet ovat sekundääripinnat ja kontaktimateriaalit. Sekundääripintoihin kuuluvat kaikki ne tuotantolaitoksen pinnat, jotka eivät ole suorassa kontaktissa elintarvikkeisiin. Esimerkiksi säiliöiden ulkopinnat, pakattujen pakattujen tuotteiden kuljettimet, seinät ja ilmanvaihtojärjestelmät. Kontaktimateriaalit, kuten säiliöiden sisäpinnat ja lämmönvaihtimien tuotepuoli koskettavat raaka-aineita tai valmiita elintarvikkeita. Mikäli nanotuotetta aiotaan käyttää kontaktimateriaalina, pitää niiden elintarvikekelpoisuus selvittää aina tarkasti.”

”Nanoteknologian elintarvikesovelluksia ovat mm. äly- ja aktiiviset elintarvikepakkaukset, nanokokoiset lisäaineet, nanokapselit, nanoemulsiot ja dispersiot, vedenpuhdistus ja nanosuodatus.”

”Pakkaustekniikan tutkimus keskittyy tulevaisuuden joustavien pakkauslinjojen kehittämiseen ja valmistamiseen, kuten toiminnalliseen ja älypakkaamiseen. Pakkausalan ratkaisuja ovat mm. materiaali- ja pinnoiteratkaisujen, elektroniikan ja pakkauksen yhdistäminen, asiakaslähtöiseen suunnittelun sekä pakkaamisen arvoketjun aihealueet.” /4./

2.2.1 Konetekniikkaa elintarviketeollisuuden sovelluksiin

Myös konetekniikassa tehdään kuitupakkauksien valmistettavuuden ja joustavien valmistusjärjestelmien kehittämiseen liittyvää pakkaustutkimusta. Kehitettävissä ratkaisussa huomioidaan pakkausvalmistuksen tehokkuus sekä tekniset että taloudelliset valmiudet ja rajoitteet.

Pakkaustutkimuksen aiheita ovat mm. kuitupakkauksien aihion valmistus, muodonanto ja pakkausvalmistuksen koneet ja laitteet. Pakkausvalmistuksen koneiden ja laitteiden avulla voidaan mallintaa ja kehittää pakkausprosessia kattavasti; pakkauksen suunnittelusta käyttäen 3D-mallinnusta ja pikamalleja aina pakkausten täyttöön ja suljentaan. Myös pakkaamisen prosessi- ja työkalukehitys sekä pakkauskone- ja linjakehitys ovat tärkeitä tutkimuskohteita.

ALD-pinnoitus on nanomittaskaalan tiivistä pinnoitusta, jossa pinnoite rakennetaan atomikerros kerrallaan.. ALD-tekniikkaa voidaan soveltaa pakkausteollisuudessa paperi- ja muovimateriaaleille. Painettavan elektroniikan saralla sitä käytetään erilaisten suojakalvojen tekemiseen ja materiaalikerrosten pitämiseen erillään. /5./

2.3 Nanosovelluksia energiatekniikassa

Nanomateriaaleja kehitetään aktiivisesti energiasovelluksiin, joita ovat mm. aurinkokennot, akut, paristot ja superkapasitaattorit energian varastointiin, vedyn varastointijärjestelmät, pienet polttokennot, hiilidioksidin talteenotto- ja varastointimenetelmät ja paremmat lämmöneristysmateriaalit.

2.3.1 Nanosovellus tuulivoimaan

Eagle Tuulivoima Oy:n valmistamien matalantuulen pientuulivoimaloiden salaisuus on hyptoniitti, funktionalisoidun - toiminnallisoidun - hiilinanoputken ja epoksihartsin seos – suomalaisen yrityksen keksintö. ”Hyptoniitti on niin kevyttä, sitkeää ja jäykkää, että siipien pinta-ala on voitu kaksinkertaistaa. Eagle-voimala tuottaa sähköä 30 prosenttia enemmän kuin

perinteinen pientuulivoimala, sillä tuotanto voi alkaa, kun tuulen nopeus on kaksi metriä sekunnissa.”

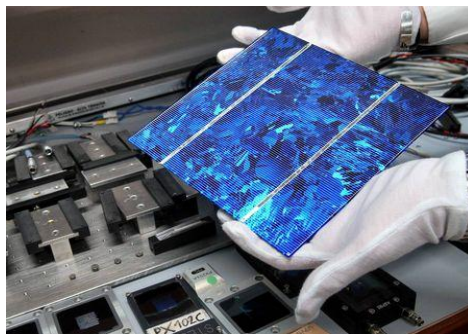
Tuulivoiman kanssa on ollut kuitenkin hankaluuksia:

Käräjäoikeus on asettanut Eagle tuulivoima Oy:n konkurssiin. Yhteiskunta on sijoittanut siihen varoja 3-4 miljoonaa euroa. Eagle tuulivoima Oy perustettiin maaliskuussa 2008 Lahden tiede- ja yrityspuisto Oy:n yrityshautomossa. /6./

2.3.2 Nanotekniikka aurinkoenergian talteenotossa

Suomalainen yritys on edennyt nopeasti: Suomessa on tarkoitus tuottaa miljoona neliometriä keräinpintaa vuodessa. Tavoite on kuitenkin päästä kansainvälisille markkinoille, joten nopeassa aikataulussa perustetaan tehtaita todennäköisesti myös muualle.

Yrityksen direct flow -teknologiaan perustuva aurinkokeräin on huomattavasti tehokkaampi kuin muut markkinoilla olevat tuotteet. Norsk Hydron tekemän selvityksen mukaan yritys on ainoa maailmassa, joka pystyy kyseisen keräimen pinnoittamaan selektiivisellä absorptiopinnoitteella. ”Nimi direct flow viittaa siihen, että vesi kiertää itse absorberissa, eikä siihen liitetyissä putkissa.” Näin lämmönsiirto paranee ja energian hukka pienenee. ”Aurinkoenergia-absorberi on laite, joka absorboi, eli sitoo auringon säteilyä.”



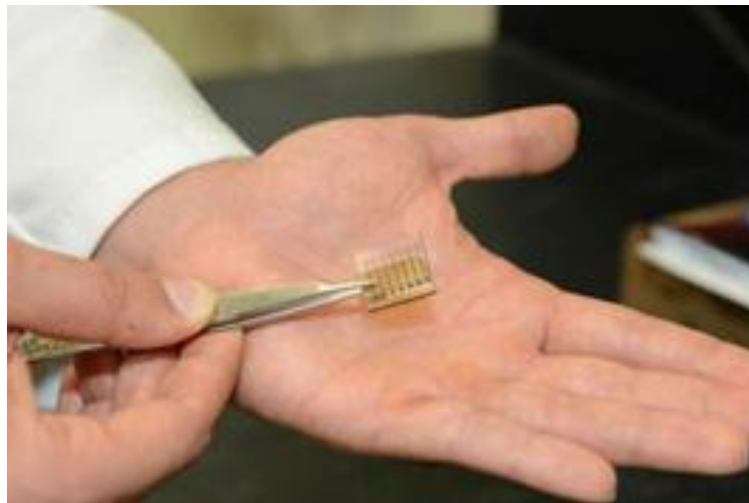
Kuva 2. Monikerroksisesta nanomateriaalista valmistettu uuden sukupolven pinnoite. /7./

Monikerroksisesta nanomateriaalista (Kuva 2.) valmistettu uuden sukupolven pinnoite voi tutkijoiden mukaan lisätä merkittävästi aurinkokennojen tehoa. Heijastamaton nanopinnoite vähentää aurinkokennosta pois heijastuvan auringon säteilyn määrää, jolloin hyötysuhde paranee.

Pinnoite perustuu työkaluissa käytettäviin super koviin pinnoitteisiin. Tässä innovaatioissa sovelletaan samaa rakennetta kuin optisiin pinnoitteisiin. ”Pinnoituslinjalla keräimen pintaan tehdään kolme erilaista kerrosta, joiden paksuus yhteensä on noin 100 nanometriä. Pinnoite on patentoitu nimellä MEMO Coating.”

Tasokeräimen pitää kestää 220 astetta celsiusta, mutta keräimiä on testattu jo yli kolmessa sadassa. Kun keräimien lämmönkestoa vielä saadaan nostettua, voidaan siirtyä ensin tyhjiöputkikeräimiin ja sitten konsentroiviin keräimiin, joilla tuotetaan suoraan sähköä. ”Tällöin lämpötilan keston on oltava jo 550 astetta. Suomalaisen yrityksen hankke, on osa Tekesin Toiminnalliset materiaalit -ohjelmaa.” /7./

”Maailman ensimmäinen täyshiilinen aurinkokenno (Kuva 3.). Hiilinen kenno on melko tehoton mutta ennen kaikkea niin halpa, että se voi moninkertaistaa aurinkovoiman tuotannon maailmassa.”



Kuva 3. Stanfordin yliopiston aurinkokenno on valmistettu kokonaan hiilestä. /8/.

”Stanfordin yliopiston tutkijat Yhdysvalloissa ovat valmistaneet maailman ensimmäisen aurinkokennon, joka koostuu pelkästään hiilestä. Kennolla on monia hyviä puolia. Jäykkien piikennojen sijaan hiilinen kenno on joustava. Hiilikennolla voidaan myös päällystää erilaisilla pintoja, kuten rakennuksia, ikkunoita tai autoja. Hiilikennon valmistus on paljon yksinkertaisempaa kuin piikennojen valmistus. Lisäksi hiili on vakaa aine ja kestää aurinkokennossa liki 600 celciuksen lämpötilan, mihin perinteiset kennot eivät pysty.” /8./

2.3.3 Sovellus lentokoneeteollisuuteen

”Sveitsiläinen Bertrand Piccard suunnittelee lentävänsä maailman ympäri lentokoneellaan, jonka ainoa energialähde on aurinko. Lennon pitäisi tapahtua viimeistään vuonna 2014, jos rahoitus järjestyy. Piccardin lisäksi konetta lentäisi välillä myös toinen lentäjä. Maailmanympärilennosta pitäisi suoriutua korkeintaan viidellä välilaskulla.” (Kuva 4.)



Kuva 4. Solar Impulse lennolla Pariisin yläpuolella. /9./

”Oman alansa teknologiapioneeriksi sanottu 53-vuotias Piccard on kehittänyt Solar Impulse -konettaan noin viisi vuotta. Ensimmäisen prototyypin hän sai ilmaan vuonna 2009. Piccard on saanut hankkeelleen merkittäviä rahoittajia ja kumppaneita. Ranskalainen teknologiayritys on mukana koneen suunnittelussa, ja saksalainen kemianjätti toimittaa koneen erikoiskalvoja ja nanoteknologiaa. Rahaa tulee muun muassa suurelta Saksalaiselta pankilta.” /9./

2.4 Nanosovelluksia terveydenhuollossa

Tamperelainen yritys löysi terveydenhuollosta sovelluksia alunperin paperikoneisiin kehitetylle tekniikalle. Paperikoneissa yrityksen nanopinnoite parantaa toimivuutta, kun paperimassa ei takerru perälaatikon pintoihin. Sairaalaympäristössä samankaltainen pinnoite tappaa bakteereita. Seinät, lattiat, huonekalut, verhot, ovenkahvat. Kelvottomia asuinalueita

sairaalabakteeri mrsa:lle (Kuva 5.), kun ne on käsitelty antibakteerisella nanopinnoitteella. ”Nanopinnoite säilyttää ominaisuutensa käyttökohteesta riippuen kuukausia, jopa vuosia, kun desinfiointiaine vaikuttaa tunteja tai vuorokausia.”



Kuva 5. HUS:n Korvaklinikalta (Kuva: Hannu Jukola)
Antibakteerinen nanopinnoite helpottaa leikkaussalin siivousta. /10./



Kuva 6. Siniseksi värjätty vesipisara superhydrofobisella pinnalla, joka hylkii voimakkaasti vettä. Tällöin vesi palloutuu ja vierii herkästi pinnalla. /10./

”Pinnoite helpottaa siivoamista eikä vahingoita pintoja kuten sairaaloissa käytetty kloori. Puhdistuskemikaaleja tarvitaan vähemmän tai ei ollenkaan. Pinnoite tehoaa myös clostridium difficile -bakteeriin, jonka itiöt eivät piittaa perinteisistä alkoholipohjaisista desinfiointiaineista.”

”Esimerkiksi pyöreät ilmastointiventtiilit likaantuvat 20–30 prosenttia vähemmän ja puhdistuvat pelkällä imuroinnilla 75 prosenttia paremmin, kun ne on pinnoitettu.”

”Tuotekehityksen haasteena oli yhdistää titaanidioksidi sideaineisiin siten, että se säilyttää reaktiivisuutensa mutta ei hajota sideaineita. Pinnoitteesta tuli saada ohut ja kiinnittää se

alustaan. Pinnoite tuli saada toimimaan myös sisätiloissa, pidemmällä aallonpituuksilla ja kuivumaan huoneenlämmössä.”

”Yrityksen pinnoite on 100–200 nanometriä paksu. Molekyylin orgaaninen pää tarttuu biologisiin molekyyliin. Epäorgaaninen pää sitoutuu alustaan kemiallisesti. Kemiallisen sidoksen ansiosta pinnoite kuluu eri tavalla kuin esimerkiksi teflon, joka lohkeilee. Hylkivyyttä säilyy, vaikka pinta kuluu. Ruostumattoman teräksen pinnalla pinnoite säilyy koloissa ja vaikuttaa. Potentiaalisia käyttökohteita ovat sairaaloiden lisäksi lentokentät ja elintarviketeollisuus.”

Tamperelainen yritys on saanut patentin pinnoitteelleen ja neuvottelee parhaillaan suuren yhdysvaltalaisen jakelijan kanssa. Yritys on Tampereen teknillisen korkeakoulun (nyk. yliopisto, TTY) spin off -yritys. /10./

2.4.1 Nanosovellus lääketieteeseen

”Euroopanlaajuisessa tutkimushankkeessa selvitetään nanopartikkeleiden käyttöä taudin diagnostiikassa ja hoidossa. Turussa hankeosapuolena on PET-keskus, jonka toiminta perustuu Turun yliopiston, Åbo Akademin ja Tyksin yhteissopimukseen.”

”Alzheimer-tutkimus on EU:n 7. puiteohjelman tutkimushanke, johon osallistuu 19 eri eurooppalaista tutkimuskeskusta yhteensä 15 eri maasta. Tutkimus on viisivuotinen ja sen kokonaisbudjetti on 14,6 miljoonaa euroa.”

”Turkulaistutkimuksen tarkoituksena on leimata nanopartikkeleita positroneja säteilevillä isotoopeilla ja siten selvittää nanopartikkeleiden kulkeutumista ja jakautumista aivoihin. Tavoitteena on kehittää uusia nanoteknologiaan perustuvia menetelmiä Alzheimerin taudin havaitsemiseen ja hoitoon.”

”Yleisesti lääkesovelluksissa nanokoko voi esimerkiksi vähentää lääkeaineiden haittavaikutuksia, lisätä tehoa, kemiallista säilyvyyttä ja nopeuttaa liukenemistä.” /11./

2.4.2 Nanosovellus lääkkeiden annostukseen

Mikroprosessoreiden raaka-aineena tunnettu alkuaine pii toimii myös lääkeainekuljettimena mahdollistaen tehokkaan lääkeannostelun. Materiaali soveltuu lääkeaineen hitaaseen vapauttamiseen elimistöön. Huokoinen pii pystyy sitouttamaan erityyppisiä lääkemolekyylejä, jolloin niiden ominaisuuksia pystytään muokkaamaan ja käyttäytymistä elimistössä säätelemään.

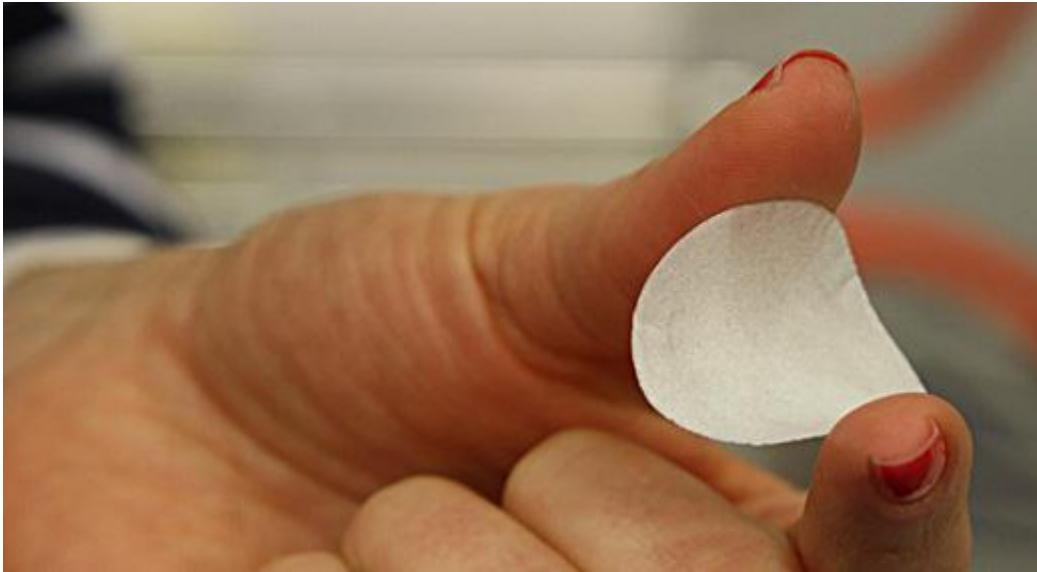
”Piin avulla voidaan kehittää kohdennettua lääkeannostelua, jossa lääkemolekyylit toimitetaan tarkasti tiettyyn kohdekudokseen. Kyseessä on nanoteknologia, jossa 2-100 nanometrin huokosiin ladataan lääkemolekyylejä.”

”Huokoinen pii voidaan tuottaa sekä mikro- että nanopartikkeleina, mikä mahdollistaa materiaalin hyödyntämisen eri annostelureittejä kuten suun kautta, injektiona tai ihon alle laitettuna. Nanohuokoinen pii soveltuu apuaineeksi sekä perinteisille lääkkeille että peptidi-, proteiini- ja geenilääkkeille. Huokoiseen piihin pohjautuvalla lääkeannostelutekniikalla saavutetaan korkeat lääkeainemäärät, parempi liukoisuus ja tehostettu terapeutinen vaikutus sekä kohdennettavuus.” /12./

Tutkimus on kuitenkin vielä siinä määrin kesken, että se ei riitä vakuuttamaan viranomaisia. Kattavat myrkyllisyyteen liittyvät määritykset on tehtävä sovelluskohteesta riippuen.

Suomessa tutkijat eivät ole liikkeellä nanotekniikassa yksin. Englannissa ovat jo käynnissä potilailla tehtävät kliiniset tutkimukset haimasyövän täsmähoidossa. Haimasyöpään ei ole tähän saakka ollut sopivaa lääkettä.

Toinen esimerkki sovelluksesta liittyy lääkeannostukseen; Nanokuituinen selluloosa (Kuva 7.) mahdollistaa tasaisen lääkeaineiden vapautumisen Materiaali soveltuu lääkeaineen hitaaseen vapauttamiseen elimistöön. ”Sitä voidaan käyttää esimerkiksi pitkäkestoisissa ehkäisyvalmisteissa.” /13./



Kuva 7. Nanokuituinen selluloosa muistuttaa ohutta paperia. /13./

2.5 Nanosovelluksia kuljetusteollisuuteen

Kuljetusteollisuus hyötyy monin tavoin nanoteknologiasta, erilaiset nanopinnoitteet lisäävät mekaanista lujuutta ja voiteluominaisuuksia koneenosien liukupinnoilla. Lisäksi nanotimantit erilaisissa öljyissä vähentävät kitkaa, parantavat hyötysuhdetta, polttoainetaloutta sekä pidentävät huoltovälejä alentaen näin kokonaiskustannuksia. Ajoneuvojen katalysaattorit puolestaan vähentävät ajoneuvojen päästöjä, jolloin ympäristöhaitat pienenevät merkittävästi. Edellä mainitun lisäksi ajoneuvojen valoissa saadaan jo nyt suurta turvallisuutta parantavaa etua nanoteknologiasta: ”Kaikki LED-valot, myös laadukkaiden jarruvalojen LED-valot sisältävät kehittyneitä nanometrikoon pinnoitteita, jotka muuntavat hyvin tehokkaasti sähköä valoksi.” Toinen etu on, että LED-valot muuntavat sähkön ihmiselle näkyväksi valoksi lähes välittömästi, kun taas perinteisillä polttimoilla tähän kuluu hieman kauemmin. Ero voi jarrutusmatkana mitattuna merkitä useita metrejä. ”LED-valojen valotehokin on jo sitä luokkaa, että niitä ryhmittämällä voidaan toteuttaa päiväkäyttöön tavanomaista himmeämpiä etuvaloja.” Liikennevaloissa LED-valoilla voidaan säästää sekä huoltotarpeessa, että energiankulutuksessa.

2.5.1 Nanosovellus akkuteollisuuteen

Tulevaisuudessa nanoakut voivat olla jopa 10 kertaa nykyistä pienempiä. ”Kuuluisassa Massachusetts Institute of Technologyssa eli MIT:ssä on löydetty uusi energianlähde, joka vie akkujen ja kannettavan elektroniikan kehitystä jälleen aimo harppauksen eteenpäin päätyessään sarjatuotantoon asti.”

Tutkijat ovat onnistuneet päällystämään hiilipohjaisen nanoputken polttoaineella ja luomaan lämpöaallolla sähköä mikroskooppisen pienistä osasista. ”Nanoputkiin perustuvat akut ovat myös varsin ympäristöystävällisiä, sillä aikansa palveltuaan ilman raskasmetalleja toimivat biohajoavat akut voidaan hävittää polttamalla.” /14./

2.5.2 Nanosovellus tuulilasiteollisuuteen

Ajoneuvojen tuulilaseista voidaan saada naarmuuntumattomia käyttämällä ”sooli-geelitekniikalla tuotettuja pinnoitteita, jotka sisältävät kovia nanokokoluokan hiukkasia, mutta ovat kuitenkin läpinäkyviä, koska nanohiukkaset ovat niin pieniä, että ne eivät hajota valoa.” Tekniikka on jo toteutettu silmälaseissa, mutta se vaatii vielä kehittämistä. Ajoneuvojen maalipintaan on suunnitteilla lootuslehtirakenne, jonka ansiosta lika yksinkertaisesti valuisi pois maalipinnalta.

Massachusettsin teknillisen yliopiston MIT:n tutkijat kehittävät ainetta, joka varastoi auringon lämpöä ja vapauttaa sen tarvittaessa. ”Saksalainen autotehdas tutkii mahdollisuutta käyttää ainetta tuulilasin sulattamiseen talven keskellä. (Kuva 8.) Aine on tarkoitus laittaa kahden lasipinnan väliin.” Jos keksintö toimii ja yleistyy tuulilaseissa, ihmisten ei tarvitse käyttää talvella aikaa ikkunan raaputtamiseen ennen liikenteeseen lähtöä.



Kuva 8. (Justine Hunt 2005) /15./

”Merkittävä ero syntyy siitä, että nykyinen käytäntö puhalluttaa tuulilasi lämpimäksi kuluttaa paljon energiaa ja sulatus kuluttaa nopeasti sähköautojen akkuja. Koska uusi aine saa energiansa auringosta, se ei vähentäisi akkujen varaustasoa. Jää sulaa laskujen mukaan tuulilasista neljässä sekunnissa.” /15./

2.5.3 Nanosovellus öljyihin

Koneenrakennukseen liittyvä nanotimanttien sovelluskohde ovat moottoriöljyt. Öljyjen lisäaineina ne vähentävät kitkaa, jolloin polttoaineen kulutus laskee huomattavasti ja moottorin käyttöikä pitenee, myös huoltoväli pitenee. ”Nanotimanttien etuna on, että niissä on vain hyvin vähän epäpuhtauksia.”

Kun ajoneuvoissa käytetään nanotimantteja sisältävää moottoriöljyä (Kuva 9.), polttoaineen kulutus putoaa jopa kymmenen prosenttia. Suomessa ei valmisteta eikä edes myydä nanotimantteja sisältäviä moottoriöljyjä. ”Japanissa nanotimantteja taas sekoitetaan jopa tavallisten lyijytäyttekynien grafiittiin, jotta kirjoittaminen sujuu vähemmällä kitkalla.”



Kuva 9. Nanotimantteja sisältäviä moottoriöljyjä. /16./

”Nanotimantit eivät kimalla eikä niistä voi valmistaa koruja, mutta arvokkaita ne silti ovat. Kilohinta vaihtelee 2 500 eurosta 100 000 euroon laatuluokan mukaan.” /16./

2.5.4 Nanosovellus katalysaattoreihin

Koneiden ja laitteiden hyötysuhteen parantaminen on yhä merkittävämmässä asemassa ympäristövaatimusten lisääntyessä. Samalla koneilta vaaditaan myös parempia suoritusarvoja, taloudellisuutta, ympäristöystävällisyyttä sekä käyttövarmuutta.

”Palladium-metalli on yksi autojen katalysaattoreissa käytetyistä reaktiivisista aineista. Katalysaattoreissa on huokoisia kennoja, joiden pinnoilla on suuri määrä reaktiivisia metallipartikkeleita, kooltaan muutamasta nanometristä satoihin nanometreihin. Katalyyttisessä reaktiossa poistetaan esimerkiksi häkää hapettamalla eli liittämällä siihen happiatomi, jolloin muodostuu hiilidioksidi-molekyylä.”

Reaktio käynnistyy vain, mikäli katalysaattori on tarpeeksi lämmin, jotta ilmakehästä katalyytin pintaan tarttuneet happimolekyylit hajoavat. Tästä syystä auton katalysaattori toimii huonosti heti kylmäkäynnistyksen jälkeen. ”Tietokonesimulaatiot ennustavat, että lisäämällä katalysaattoriin äärimmäisen pieniä, alle kymmenen palladium-atomin kokoisia metallihiukkasia, reaktio käynnistyy välittömästi jopa pakkasessa.” /17./

2.5.5 Kuljetuskaluston osien nanopinnoitus

Pinnoittamalla toiminnan kannalta keskeiset komponentit, voidaan sekä hyötysuhdetta, taloudellisuutta, ympäristöystävällisyyttä että luotettavuutta parantaa. (Kuvat 10. ja 11.)

Rakenteiden amorfinen (ei kiteinen) timanttipinnoite on erittäin kova ja kestävä. ”Sen kulumisen kestävyys esimerkiksi karkaistuun teräkseen verrattuna on noin tuhatkertainen.”

Pinnoite antaa hyvän suojan ohuena, vain muutaman mikrometrin paksuisena kerroksena. Valmistus tapahtuu matalassa lämpötilassa ja se soveltuu lähes kaikkien koneenrakennuksessa käytettävien rakennemateriaalien käsittelyyn. ”Amorfisen timanttipinnoitteen kitka terästä vasten on matala – vain alle viidesosa voitelemattoman teräs-teräs –kontaktin kitkasta.”

Pinnoite toimii kuivavoiteluaineena ja se estää tehokkaasti liukupintojen kiinnileikkautumisen rajavoitelu- tai häiriötilanteissa. Pinnoite alentaa kitkaa myös voiteluaineiden kanssa. Pinnoitusmenetelmä soveltuu suurten tuotantojen lisäksi pienille ja yksittäiskappaleille. ”Käyttöönotto on helppoa, koska pinnoite on niin ohut, ettei mitoitusta tarvitse muuttaa, eikä rakennetta vaihtaa matalan käsittelylämpötilan ansiosta.”



Kuva 10. Esimerkkejä nanopinnoitetuista koneenosista. (DIARC-Technology Oy) /18./



Kuva 11. Esimerkkejä nanopinnoitetuista koneenosista. (Oerlikon Balzers Sandvik Coating) /18./

2.6 Eräitä muita sovelluskohteita nanoteknologialle

Uusia jo markkinoille ehtineitä tai sinne tulossa olevia lopputuotteita on jo runsaasti eri alueille. ”Nanoteknologiaturkimuksen kautta markkinoille on tullut lasereita, kaasu-, bio- ym. antureita, diffraktiivista optiikkaa käyttäviä laitteita, pinnoitteita, titaanidioksidikalvoa

käytettäviä itsepuhdistuvia ikkunoita, höyryntymättömiä pintoja, uudenlaisia katalysaattoreita, kaasujen ja nesteiden puhdistusjärjestelmiä, jne.”

2.6.1 Nanoteknologiaan perustuva edullinen älymaali

”Skottilaisen Strathclyden yliopiston tutkijoiden kehittämää maalia voi käyttää tunnistamaan pienet liikkeet suurissa kappaleissa, joten se voi mullistaa rakenteiden turvallisuusmonitoroinnin.” Nanoteknologiaan perustuva maali-innovaatio löytää mikroskooppisen pienet hiushalkeamat teräskappaleista kuten tuuliturbiinista tai siltapalkista.

”Perinteiset turvallisuusmonitoroinnin menetelmät ovat monimutkaisia ja kalliita, sillä niiden ytimenä on kallis instrumentointi.” (Kuva 12.)



Kuva 12. Instrumentointi [Kuva: University of Strathclyde] /19./

”Nanomaali on halpaa ja ympäristöystävällistä. Sen voi levittää pinnalle vaikka spreijaamalla. Alustan pinnan laadulla ei tutkijoiden mukaan ole väliä. Maalin ainesosina ovat voimaläjätteen lentotuhka ja tarkkaan suunnatut hiilinanoputket. Yhdessä niistä muodostuu betoninkova aine, joka sopii hyvinkin ankariin olosuhteisiin.” /19./

2.6.2 Nanosovellus matkapuhelinkonseptiin

”Morph on Nokian matkapuhelinkonsepti. Tämä konsepti julkaistiin 25. helmikuuta 2008 The Museum of Modern Artissa New Yorkissa. Tämä konsepti oli näytetty museon "Design and The Elastic Mind" -näyttelyn osiossa.” (Kuva 13.)



Kuva 13. Nokia Morph /20./

Tämän innovatiivisen keksinnön tarkoitus on luoda käsitys uusista nanotekniikan mahdollisuuksista kulutuselektronikan alalta. ”Puhelimen toivottuihin ominaisuuksiin kuuluu kyky vääntyä erilaisiin muotoihin. Sitä voisi pitää vaikka ranteen ympärillä.” Se sisältäisi läpinäkyvää elektroniikkaa, joka sallisi koneen olla läpinäkyvä, mutta silti täysin toimiva. Siinä olisi myös itsepuhdistuva pinta, joka aurinkoenergialla voisi ladata puhelimen akun. ”Morphissa olisi myös laaja sarja täysin integroituja sensoreita. Nokia uskoo että osa konseptin kuvitelluista ominaisuuksista saattaa tulla esiin huippupuhelimita vuoteen 2015 mennessä.” /20./

2.6.3 Nanosuodatus

Tyypillisiä käyttökohteita ovat: Suolanpoisto lievästi suolaisista vesistä, juomaveden valmistus (Kuva 14.), humuksen poisto ja veden pehmenys. Nanosuodatustekniikka on vielä uusi ja nopeasti kehittyvä kalvoerotustekniikka. Nanosuodatusta on tutkittu ja käytetty 1980-luvulta asti. Nanosuodatus on kehitetty käänteisosmoosista ja sen sanotaankin olevan ns. löysä käänteisosmoosi. Nanosuodatuksessa kalvon rakenne on löysempi verrattuna käänteisosmoosiin. Nanosuodatus ja käänteisosmoosi ovat tekniikaltaan hyvin lähellä toisiaan.

Nanosuodatusta käytetään useissa eri teollisuuden sovelluksissa. Yleisimmin sitä käytetään vesijohtoveden puhdistuksessa tai ultra puhtaan veden valmistuksessa sairaaloiden ja

teollisuuden tarpeisiin. ”Nanosuodatus perustuu veden pakottamiseen molekyylirakenteisen kalvon läpi, jolloin epäpuhtaudet ja suolat kiinnittyvät kalvoon. Kalvoon kiinnittyvät epäpuhtaudet nostavat konsentraatio-polarisaation syntyä edesauttavaa osmoottista painetta. Konsentraatio-polarisaatio on fouling-ilmion esiaste. Foulingin hallitseminen on erittäin tärkeää nanosuodatusta käytettäessä.”

”Fouling-ilmion ensimmäisessä vaiheessa veteen liuenneita suoloja kerrostuu lämmönvaihtimien ja putkien sisäpinnoille. Seuraavassa vaiheessa bakteerit, sienet ja alkueläimet aiheuttavat limoittumista, eli ns. microfoulingia. Vähäinen limoittuminen ei haittaa kuitenkaan vielä järjestelmän toimintaa, mutta se edistää usein muiden lajien kiinnittymistä pinnoille.”



Kuva 14. Nanosuodatusprosessi vedenpuhdistamolla Ranskassa. /21./

Nanosuodatuskalvoja käytetään yleensä pehmentämään, puhdistamaan ja poistamaan orgaanista ainesta, metalleja ja kahden arvoisia ioneja.

”Nanosuodatuskalvon kalvot ovat rakenteeltaan epäsymmetrisiä, jotta se eivät tukkeutuisi. Näissä kalvoissa on tiukka päällyskerros ja huokoinen alakerros. Päällyskerroksen päällä on ulkokerros, jossa varsinainen suodatus tapahtuu. Suodatuskerroksen paksuus on pieni suhteessa koko kalvon paksuuteen. Epäsymmetrisiä kalvoja on kahden tyyppisiä: epäsymmetrisiä ja komposiittikalvoja.”

”Näissä kalvoissa päällyskerros että alin kerros ovat samaa materiaalia. Komposiittikalvot muodostuvat kahdesta eri polymeeristä.” Nykyisin käytetään pääasiassa komposiittikalvoja laajempien käyttöominaisuuksien ja kalvovaihtoehtojen vuoksi.

”Nanosuodatuksen tehokkuus ja taloudellisuus riippuvat myös käytettävän kalvon geometriasta. Tehokkuuden ja taloudellisuuden parantamiseksi suuret määrät kalvoa pakataan pieneen tilaan tietyn muotoiseksi paketiksi, jota kutsutaan kalvomoduuliksi. Nanosuodatuksessa käytössä useita erilaisia moduulityyppejä. Spiraalimoduuli on yleisessä käytössä oleva moduulityyppi nanosuodatuksessa.” /21./

2.6.4 Henkilökohtaiset kannettavat veden suodattimet

”LifeSaver puhdistaa vedestä bakteerit, virukset (myös H1N1), parasiitit, sieneliöt ja muut vedessä elävät mikrobiologiset patogeenit (Kuva 15.). Puhdistus perustuu 15 nanometrin kokoluokkaa oleviin reikiin, jotka suodattavat kaikki edellä mainitut haitalliset eliöt. Pullo puhdistaa 4000 litraa – 6000 litraa makeaa vettä (750 ml/min).”



Kuva 15. © 2007 - 2013 LIFESAVER /22./

”LifeSaver on kehitetty alkujaan sotilaskäyttöön, sitä on käytetty juomaveden sekä haavojen puhdistukseen.” Siviilikäytössä laite sopii retkeilijöille sekä kehitysmaissa juomaveden puhdistukseen. /22./

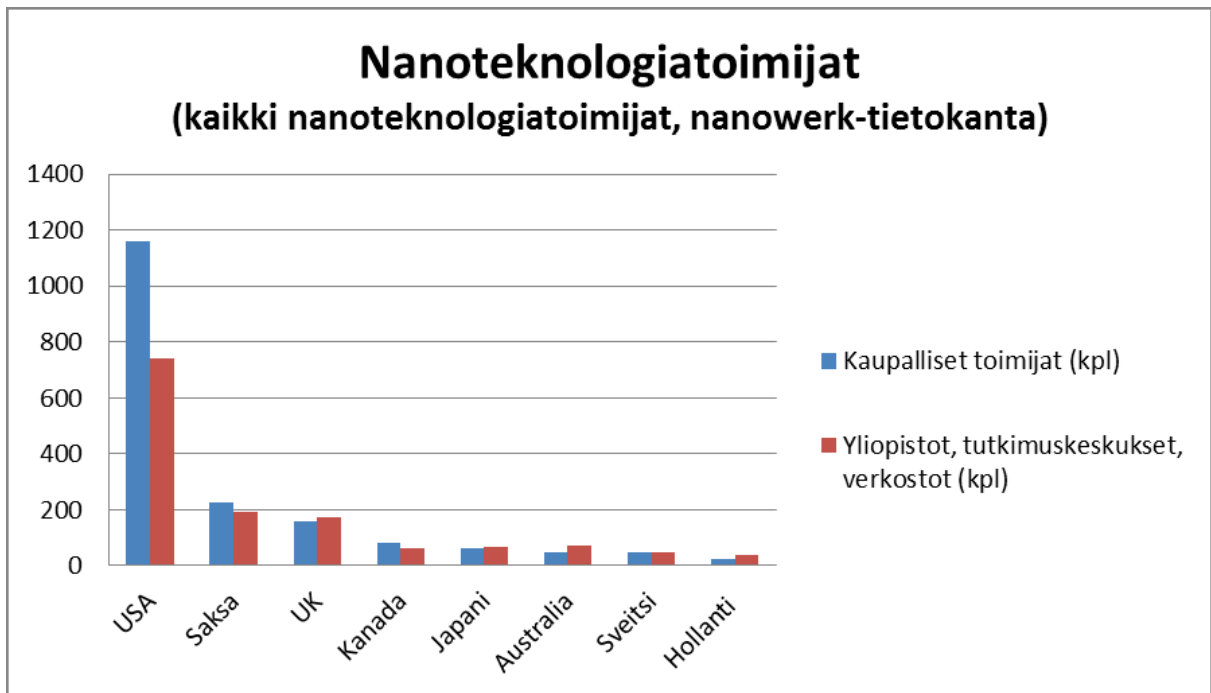
3 NANOTEKNOLOGIAN MAHDOLLISUUDET KONETEKNIKKASSA

Nanoteknologia on myös jo lähes jokaisen suomalaisen elämää. Kaikki nykyaikainen kulutuselektronikka esimerkiksi tietokoneissa tai kännyköissä on nanoteknologian mahdollistamaa. ”Elektroniikkateollisuudessa on operoitu laajamittaisesti alle 100 nm kokoluokassa jo vuodesta 2002 alkaen. LED-valaisimiakaan ei olisi ilman nanoskaalan hallintaa. LED-valaisimen lampun 147/155 avainteknologiasta perustuu nanoskaalan hallintaan.” Monella saattaa olla jo kaapissaan likaa hylkivä nanopinnoitettu puku tai hitaammin tummuva hopeakoru. Ravintolan pöydässä puhtaana pysyvä nanopinnoitettu pöytäliina ja laduilla käytettävät sukset hyödyntävät myös nanoteknologiaa. /23./

”Nanoala kasvaa nopeasti. Globaalisti markkinoilla on jo nyt yli 1200 nanotuotetta. Lisää on luvassa, sillä erilaisia nanomateriaaleja on yli 200 000. BCC Research:n mukaan nanomateriaalien globaalit markkinat olivat vuonna 2009 seitsemän miljardia euroa, mutta vuonna 2015 ne tulevat olemaan jo yli 15 miljardia euroa (Kuva 16.). Vuosittainen kasvu on lähes 15 prosenttia. Suomessa oli jo yli 200 yritystä, joilla oli kaupallinen nanoteknologiaa hyödyntävä tuote. Vastaava luku oli vielä vuonna 2004 vain kolmisenkymmentä.” /24./

Nanomateriaaleja ja -pinnoitteita käytettäviä nanokomponentteja ovat muun muassa hiilimusta, fullereenit, nanoselluloosa, nanosavi, nanotimatti, hiilinanoputket ja nanopolymeerit.

”Suomen standardisoimisliitto SFS on julkaissut nanoteknologiaa käsittelevän kansainvälisen julkaisun CEN ISO/TS 27687 nyt suomeksi. Julkaisu sisältää termit ja määritelmät nanomittakaavan partikkeleista. Julkaisun tarkoituksena on selkeyttää nanoteknologiaan liittyvää viestintää. Julkaisun on kääntänyt Metalliteollisuuden Standardisointiyhdistys, ja se sisältää suomennoksen lisäksi alkuperäisen englanninkielisen tekstin. Julkaisun voi ostaa esimerkiksi SFS:n verkkokaupasta: <http://sales.sfs.fi>” /25./



Kuva 16. Nanoteknologian kärkimaat yritys- ja tutkimustoiminnassa Nanowerk-tietokannan mukaan. (8.10.2011) /26./

3.1 SWOT-analyysi

Nelikenttäänalyysi (SWOT) on yksinkertainen ja yleisesti käytetty yritystoiminnan analysointimenetelmä. Analyysin avulla voidaan selvittää yrityksen vahvuudet ja heikkoudet sekä tulevaisuuden mahdollisuudet ja uhat. Nelikenttärudukon avulla yritys pystyy vaivattomasti arvioimaan omaa toimintaansa. Nelikenttäänalyysi sopii käytettäväksi kaikenlaisissa yrityksissä ja organisaatioissa. Tarkastelu voi koskea joko koko yritystä tai yksityiskohtaisemmin jotakin yritystoiminnan osaa. Yksityiskohtainen tarkastelu on rajatumpi, eli kohteena voivat olla esimerkiksi markkinat, tuotteet tai henkilöstö.

”SWOT-analyysi on kahden ulottuvuuden kuvaama nelikenttä. Kaavion vasempaan puoliskoon kuvataan myönteiset ja oikeaan puoliskoon negatiiviset asiat.” (Taulukko 1.)

”SWOT-analyysissä kirjataan ylös analysoidun asian:

- sisäiset vahvuudet
- sisäiset heikkoudet

- ulkoiset mahdollisuudet
- ulkoiset uhat”

Taulukko 1. SWOT-mallia on tarkoitus käyttää ideointiin ja jatkokehittelyyn.

<p>Vahvuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vahva yhteistyö • Tavoitteellinen tutkimus • Uudistumisen mahdollistaja • Osaamisklusteri • Kansainvälinen tutkimus • Tuotteiden kaupallistaminen • Saadut patentit 	<p>Heikkoudet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Tutkimusvälineiden kalleus • Opetus, tutkimus ja koordinointi • Tutkimuksen priorisointi • Resurssien riittävyys • Kapeat osaamisalueet • Lainsäädännön puutteet • Rahoituksen saanti projekteihin
<p>Mahdollisuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kehittämisestä kaupallistamiseen • Tieteellinen taso ja innovaatiokyky • Yrittäjyyttä tukevia malleja • Merkittävä työllistäjä • Yliopistojen panostukset opetukseen ja tutkimukseen • Tutkimuksen strategia, kehitys • Materiaali / raaka-ainetekniikka 	<p>Uhat</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mahdolliset oikeustoimet • Terveydelliset haitat • Terveydelliset korvausvaateet • Vakuutusyhtiöiden suhtautuminen • Mahdolliset ympäristöhaitat • Perässä laahaava lainsäädäntö • Patentointi

3.2 Ongelmia nanosta

Ongelman laajuutta on kuitenkin vaikea arvioida, sillä nanomateriaalien terveysvaikutukset tunnetaan huonosti. ”Nykytietämykseen perustuen voi todeta, että hyvin suuri osa nanomateriaaleista on vähän haitallisia tai haitattomia, mutta on myös joukko selkeästi haitallisia nanomateriaaleja.” Haaste on, kuinka haitalliset voidaan erottaa haitattomista tai vähemmän haitallisista. ”Ihminen voi altistua nanohiukkasille hengityselimien, ihon ja ruoansulatuskanavan kautta. Nanohiukkaset ovat niin äärimmäisen pieniä, että ne pääsevät

kulkemaan helposti elimistössä ja hyödyntämään eksoottisiakin kulkureittejä. Tutkimuksissa on esimerkiksi todettu, että titaani- ja mangaanioksidinanohiukkaset pääsevät kulkeutumaan aivoihin asti nenän hajuhermosäikeiden kautta.”

”Toisaalta tiedetään, että metallioksidinanohiukkaset voivat häiritä veren hyytymistä ja hiusverenkiertoa sekä aiheuttaa verisuonten seinämän paksuuntumista. Sitä kautta vaikutus voi kohdistua moniin elimiin. Hengityselimissä nanohiukkaset voivat aiheuttaa tulehdusreaktioita, astman- ja allergian kaltaisia tiloja sekä kasvaimia. Iholla nanohiukkaset voivat aiheuttaa paikallisia ärsytysreaktioita. Joissain tutkimuksissa on todettu, että ne kykenevät myös läpäisemään ihon. Esimerkiksi tietyissä aurinkovoiteissa käytettäviä sinkkioksidinanohiukkasia on löydetty ihmisen iholle sivelyn jälkeen myös verestä ja virtsasta.”

Sinänsä nanohiukkasia on ollut ilmassa jo miljardeja vuosia, tulivuorenpurkauksista, hiilen palamisesta ja liikenteestä johtuen, mutta ”uudenlaisia ihmisen luomia synteettisiä nanohiukkasia on ollut ilmassa vasta noin 15 vuoden ajan.” /27./

3.2.1 Nanomateriaalien käyttö työpaikoilla

”Nanomateriaalien käyttö yleistyy räjähdysmäisesti teollisuudessa, Suomessa toimii jo noin 300 nanoteknologiaa hyödyntävää yritystä. Markkinoille tulee lisää näitä tuotteita sekä kotimaasta että ulkomailta. Valitettavasti nanotuotteiden kehittäessä raha ja taloudellinen hyöty ovat etusijalla ja työturvallisuusajattelu sekä lainsäädäntö laahaavat perässä.”

”Toimi järjestelmällisesti:

- tunnista altistumisen mahdollisuudet
- hanki ja ylläpidä käytettävään materiaaliin liittyvät terveys- ja turvallisuustiedot
- arvioi riskit ennen työn aloittamista, tee uudelleenarviointi tarvittaessa
- laadi ja toteuta riskienhallintasuunnitelma (ks. riskinhallinnan keinot alla)
- kouluta ja ohjeista työntekijät nanomateriaalien käsittelyyn
- seuraa työoloja jatkuvasti
- hanki asiantuntija-apua tarvittaessa

Tunnista työvaiheet, joissa voi altistua nanohiukkasille:

- nanohiukkasien valmistus
- nanohiukkasien käsittely jauheena ei-suljetussa systeemissä (esim. punnitus ja pakkaus)
- puhdistus- ja jätteenkäsittelyvaiheet
- prosessilaitteiden ja ilmansuodattimien puhdistus ja huolto
- materiaalien murskaus, poraus, puhallus yms. vaiheet, joissa nanohiukkasia vapautuu” /28./

3.2.2 Riskien hallinnan keinot

”Suomessa v. 2008 noin 2900 henkilöä oli nanoteknologian parissa ja ennuste vuodelle 2013 on 11 000 - 13 000 henkilöä. Yhdysvalloissa nanohiukkasille altistuu yli 2 miljoonaa työntekijää ja määrä kasvaa. Nanoteknologiaa soveltavaan teollisuuteen tarvitaan maailmanlaajuisesti miljoonia työntekijöitä vuoteen 2020 mennessä. Altistuvien työntekijöiden että kuluttajien määrä kasvaa nopeasti, joten riskien hallinta on välttämätöntä.”

”Päästön vähentäminen:

- nanohiukkasiin kohdistuvat hallintakeinot (esim. käytetään liuoksia tai pastoja, annostelijaa, kertakäyttöpakkauksia)”

”Leviämisen estäminen:

- suljetut laitteistot
 - työtilojen alipaineistus
 - vetokaappityöskentely
 - kohdepoiston käyttö
 - kauko-ohjaukset ja automaatio
 - tehokkaat poistoilmansuodatussystemit (esim. HEPA suodattimet H14) Työn tekemiseen ja työntekijään kohdistuvat keinot: Vähennetään altistuvien työntekijöiden määrää ja/tai työaikaa altistavassa prosessissa - noudatetaan hyvää siisteyttä ja järjestystä työpaikalla - koulutetaan työntekijöitä, opastetaan hyvät työtavat (esim. ei sallita kuivaharjausta, käsien pesu poistuttaessa työpaikalta, työvaatteiden vaihto) - käytetään työssä henkilökohtaisia suojaimia.” /29./

4 JOHTOPÄÄTÖKSET

Yleensä nanotekniikkaan liittyvää aineistoa löytyi runsaasti työn aikana, mutta aineisto liittyi pääasiassa kemiantekniikkaan. Konetekniikkaan liittyviä valmiita sovelluksia oli vielä melko harvassa ja niistä näkyi tarve pitää asiat omana tietona. Tuotekehittely on kallista.

Tutkimuksessa löytyi lähes kaikilta aloilta nanosovellusmahdollisuuksia, joita ainakin tutkitaan mahdollisia kaupallisia sovelluksia silmällä pitäen. Tällä hetkellä nanoteknologian terävimpään kärkeen ovat nousseet nanohiilet ja hiilinanoputket. Yksi nanohiilistä on nanotimantti. ”Muita ovat hiilimusta, fullereenit eli pallomolekyylit, nanoputket, grafeeni ja hiilen yhdistelmäaeriat kuten Suomessa keksitty nanonuppu, joka yhdistää fulleenin ja nanoputket.”

Suoraa vastausta kysymykseen - onko nanoteknologia turvalista? - ei ole. ”Nanoteknologian kehittämisen jarruna on nanopartikkeleiden arvaamaton käyttäytyminen, nanohiukkasten biologiset vaikutukset ovat monimutkaiset.”

Myös tutkimusmenetelmiä vaikutusmekanismien tutkimiseen joudutaan kehittämään, koska kemikaalitestauksessa käytettäviä standardoituja testimenetelmiä voidaan vain osittain hyödyntää nanomateriaalien erilaisten ominaisuuksien vuoksi. Näin ollen haitallisuuden toteaminen nopeasti ja helposti ei nykytietämyksellä vielä onnistu.

Nanotekniikoiden turvallinen käyttö edellyttää, että altistumisen vaikutuksia arvioidaan ihmisiin ja ympäristöön. Tutkimus on hidasta kallista ja sitä tehdään kiivaasti ympäri maailmaa erilaisissa tutkimuslaitoksissa sekä myös yliopistoissa.

”Nanomateriaalien erikokoiset hiukkaset voivat tuottaa positiivisten vaikutusten ohella myös negatiivisia.” Keski-Euroopassa nanoturvallisuuden tutkimus on viime vuosina saanut enemmän rahoitusta ja painoarvoa, joten tutkimusta on voitu lisätä.

”On varauduttava siihen, että nanohiukkaset voivat aiheuttaa ennalta arvaamattomia reaktioita ihmisen kehossa. Vain kourallisesta aineista on systemaattista turvallisuustietoa.

Nanoturvallisuuden tutkimus, myös biokestävyyden osalta on yhä lapsenkengissä – parhaillaan kehitetään mittareita, joilla pystyttäisiin esimerkiksi ylipäättään arvioimaan altistumista synteettisille nanohiukkasille.”

Nanoteknologian tulevaisuuden näkymät konetekniikassa ovat valoisat.

Teollisesti valmistetut synteettiset nanohiukkaset tarjoavat valtavia mahdollisuuksia useilla teknologian alueilla. Nanoteknologia on kiehtova, uusia ulottuvuuksia avaava tieteenhaara, jonka soveltamiselle ei tunnu löytyvän rajoja.

Jo nyt nanoteknologiaa käytetään esimerkiksi teknologia- ja energiateollisuudessa, sekä arkea helpottavissa ratkaisuissa hyvin monipuolisesti. Sen onkin ennustettu aiheuttavan tieteellisen vallankumouksen monilla aloilla. ”Metallinanohiukkasia on jo kauan hyödynnetty katalyytteinä: kemian teollisuuden katalyyttiset tuotantoprosessit, ajoneuvojen pakokaasuja puhdistavat katalyytit, muovien sähkönjohtavuuden ja optisten ominaisuuksien muokkaaminen, koneenosien pinnoittaminen kulutusta kestävämmäksi.” Nanotimantit moottoriöljyissä vähentävät kitkaa, pienentävät polttoaineen kulutusta ja parantavat hyötysuhdetta.

”Hiilimusta on tällä hetkellä määrällisesti selvästi eniten käytetty nanohiili.” Sitä käytetään useissa sovelluksissa kuten ajoneuvojen renkaat, väriaineet ja muovien sähkönjohtavuuden parantaminen.

Nykyiset nanotuotteita koskevat lait ja asetukset ovat vasta suunnitteluvaiheessa, koska tutkimustietoa on vielä vähän. Sääntely kehittyy koko ajan ja REACH-asetusta uudistetaan. Tällä hetkellä tilanne EU:ssa on silti jokseenkin sekava. Jotkin vakuutusyhtiöt ovat luokitelleet nanoteknologian riskiksi. Myöskään yritysten vastuut nanotekniikassa eivät ole riittävästi selvillä. On mahdollista, että vahinkotapauksissa rajoja haetaan oikeuden päätöksillä.

”Tavoitteena on tilanne, jossa valmistajia voitaisiin pyytää toimittamaan tarvittavat biologiset tiedot uudesta nanomateriaalista ja tietojen perusteella materiaalin haitallisuus voitaisiin arvioida luotettavasti.” Esimerkiksi vaikkapa kännykässä käytetyt nanomateriaalit voivat olla kuluttajan kannalta turvallisia, mutta mihin ne joutuvat kun kännykästä tulee romua? /30./

SWOT-yhteenvetoa:

Nanotuotteiden patentointi ja kaupallistaminen on suuri haaste teollisuudelle, koska nanotuotteita koskevat lait ja asetukset ovat puutteellisia, tai niitä ei ole lainkaan. Tällä hetkellä Yhdysvaltojen ympäristönsuojeluvirasto säätelee hiilinanokuitujen valmistusta myrkyllisten aineiden säädöksillä. Myös elintarvikevirasto säätelee nanohiukkasten käyttämistä ruoissa. Se tiedetään, että kemikaalien perinteiset mittausmenetelmät eivät toimi. Eurooppalaista kemikaalilainsäädäntöä tullaankin täydentämään nanomateriaalien riskinarvioinnin osalta.

Myös työpaikoilla henkilöstön työturvallisuuden järjestäminen tuottaa hankaluuksia, koska työntekijöiden suojaaminen on tutkimustiedon puutteiden vuoksi hankala järjestää. Nanotuotteiden kierrätys ja uudelleenkäyttö tuottavat päänvaivaa nanopartikkeleiden arvaamattoman käyttäytymisen vuoksi. Kaatopaikoilta tai teollisuuden jätekonteista ei saa päästä nanopartikkeleita hallitsemattomasti ympäristöön. Ympäristövaikutuksia ei kaikissa tapauksissa pystytä arvioimaan. Tutkijoiden kanta on, että nanokokoisten hiukkasten hallitsematon pääsy ihmiselimistöön tai ympäristöön voi olla haitallista.

Yrityksillä on myös riski joutua käräjille, mikäli merkittäviä haittoja syntyy. Seurauksena saattaa olla tuotteiden takaisin vetoja, viranomaisten asettamia uhkasakkoja tai myyntikieltoja. Näistä saattaa seurata jopa yritysten konkurssseja sekä työpaikkojen menetyksiä, myös yritysten maine asiakaskunnan keskuudessa saattaa kärsiä, vaikka konkurssi vältettäisiin. /30./

”Nanotekniikkaan liittyvä yritystoiminta kasvaa joidenkin arvioiden mukaan yli kahteen biljoonaan euroon vuoteen 2015 mennessä. Samaa vauhtia saattavat kasvaa myös terveysongelmat, ympäristövahingot ja korvausvaatimukset. Jotkin vakuutusyhtiöt ovatkin luokitelleet nanoteknologian riskiksi.”

On myös mahdollista, että tuotteiden kaupallistamiseen ja brandäämiseen käytetyt rahat menevät hukkaan. Brandillä voidaan tarkoittaa esimerkiksi tuotetta, palvelua, henkilöä, yritystä tai imagoa. Oikeastaan mitä tahansa, mikä on saavuttanut tunnettavuuden tietyssä kohderyhmässä. Brandi on ennen kaikkea lupaus; vakuus jostakin suuremmasta. Brandin tunnistaminen tulisi olla aina yksiselitteistä, olipa brandi sitten esillä nimenä, logona, tuoksuna tai pakkauksena. Lisäksi brandiin tulisi aina liittyä tunne-elämys. Tuo tunne-elämys on brandin kantava voima. /31./

Asioiden korjaaminen tutkimuksen kautta on hidasta ja kallista. Tarvitaan yhteiskunnan taholta rahoitettuja tutkimushankkeita ja rahoitusta. Myös alan koulutusta ja tutkimusta tulee edelleen kehittää niin tutkimuslaitoksissa kuin yliopistoissakin.

”Ihmiset altistuvat nanomateriaaleille erityisesti tuotantolinjoilla, joilla nanoteknologiaa hyödyntäviä tuotteita valmistetaan, altistumisen terveysvaikutusten selvittämiseen menee vuosia.” Jotta riskejä voidaan välttää jo nyt, yritysten on rajoitettava nanomateriaalien kulkeutumista valmistusvaiheessa väärin paikkoihin. ”Lisäksi yritykset saattavat asettaa tuotteilleen käyttöehtoja, joissa vastuu mahdollisista terveysvaikutuksista lankeaa käyttäjälle itselleen ja yritys vapautuu vastuustaan.” Nanomateriaalien turvallisuus on alan menestyksen edellytys.

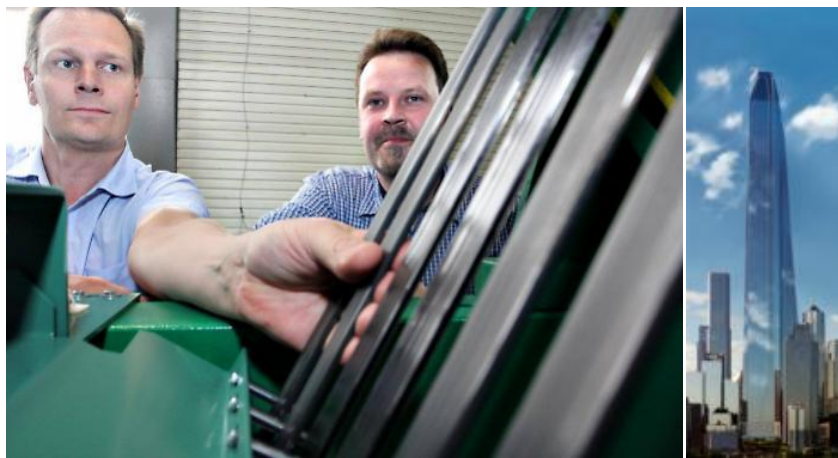
4.1 Esimerkki onnistuneesta tuotekehittelystä (2013)

Kone OY:n tuotekehittäjät ovat jo aiemmin kehittäneet uudenlaista hissiköyttä, mutta siinä ei ole onnistuttu, hissiköyden muoto ja koostumus ovat olleet epäonnistuneita. ”Tuotekehittäjät suunnittelivat hiilikuidusta kevyttä vaihtoehtoa painaville hissien teräsköysille. Ongelma saatiin ratkaistua: Köyden pitää olla litteä. Muutaman vuoden testausvaihe ja kesäkuussa 2013 Kone OY julkisti kolmannen sukupolven hissiköyden. Uusi hissiköysi on 70 prosenttia teräsköysiä kevyempi, köyden on ydin on hiilikuituinen sydänosa.”

”Uudet hiilikuituiset köydet kehitettiin Koneen tuotekehityksikössä (Kuva 17.). Teknologia perustuu Kone UltraRope -nimiseen hiilikuidusta valmistettuun, kevyeen mutta lujaan hissiköyteen.”

”Hiilikuituinen hissiköysi on jonkin verran kalliimpi kuin teräksinen. Etua syntyy kuitenkin siitä, että sähköä kuluu vähemmän, kun nostettava massa on pienempi. Hiilikuituisia hissiköysiä ei tarvitse myöskään rasvata, mikä säästää työtä ja voiteluaineita. Voitelun tarpeettomuus tarkoittaa myös huoltojen vähenemistä ja sitä kautta kustannussäästöjä.”

”Hiilikuituiset hissiköydet kestävät vähintään kaksi kertaa niin pitkään kuin perinteiset teräsköydet, joiden vaihtokä on tyypillisesti 7–10 vuotta. Tulevaisuudessa hisseissä korvataan teräsosia kevyemmällä komposiitti- ja hybridimateriaaleilla yhä enemmän.”



Kuva 17. (Kone media kirjasto) /32./

”Petteri Valjus (vas.) ja hänen tuorein innovaationsa, hiilikuituköysi. Vieressä projektipäällikkö Hannu Lehtinen. Koneen kehittämä hiilikuidusta valmistettu hissiköysi mahdollistaa hissien rakentamisen aiempaa korkeampiin rakennuksiin.” /32./

Yksi tapa ennakoida nanotekniikan ja erityisesti hiilinanoputkien merkitystä on tarkastella patentoinnin kehitystä. Patenttien perusteella nanohiilistä lupaavimpia näkymiä tarjoaa tällä hetkellä hiilinanoputket.

”Yksi nanotekniikan innovaatioita aktiivisimmin seuraavia nettisivustoja maailmassa on www.nanopatentsandinnovations.blogspot.com. Nanohiilet ja hiilinanoputket ovat tulevaisuuden teknologisen kehityksen kärkenä.”

5 YHTEENVETO

Nanoteknologian piiriin luetaan useita tieteiden ja teknologioiden alueita, joten uusiin nanoteknologian sovelluksiin tähtäävää tutkimustoimintaa on hyvin runsaasti meneillään. Jatkossa erilaisten puhtaana pysyvien ja hygieenisten pinnoitteiden tarve kasvaa voimakkaasti. Kuitenkin, matka nanoteknologian tieteellisestä tutkimuksesta, soveltavaan tutkimukseen ja edelleen sitä hyödyntäviä tuotteita valmistavaksi liiketoiminnaksi on usein pitkä. Laboratorio-olosuhteissa lupaavasti toimivat tuotteet eivät aina toimi reaaliympäristön olosuhteissa toivotulla tavalla.

Katalyyysi on toiminnallista nanoteknologiaa jota prosessiteollisuus käyttää laajasti. Nanokoon partikkeleiden läsnäolo aikaansaa kemiallisia reaktioita. ”Katalysaattoreilla raaka-aineista luodaan uusia aineita monessa eri vaiheissa. Öljynjalostuksessa polttoaineiksi ja muovituotteiksi, sekä kemikaalien ja lääkeaineiden tuotannossa katalyyysi on ollut tärkein perusmenetelmä vuosikymmenet. Katalyyttisiä prosesseja käytetään teollisuudessa erittäin paljon myös Suomessa.” Teknologiaa kehittämällä ja parantamalla voidaan tuottaa entistä puhtaampia tuotteita edullisemmin.

Nanoteknologian kehitys on parantanut prosessien selektiivisyyttä (erottelukykyä), jolloin syntyvien haitallisten sivutuotteiden määrä vähenee. Ala pohjaa vuosikymmeniä käytettyyn teknologiaan, mutta viime vuosina on tehty useita merkittäviä läpimurtoja katalyyttien kehityksessä. ”Yksi esimerkki on typen oksidien poistaminen ajoneuvojen pakokaasuista, jolla ympäristön saastumista on voitu merkittävästi vähentää.”

”Kun tulevaisuudessa fossiiliset polttoaineet joskus loppuvat, on raaka-aineita haettava uusiutuvista luonnonvaroista. Tällöin meillä Suomessa on käytössä esimerkiksi öljykasvit sekä metsistä saatava puu ja turve. Turvekin on uusiutuva luonnonvara, vaikka sen uusiutuminen kestää satoja vuosia. Jälleen tarvitaan aivan uudenlaisia prosesseja ja katalyysejä.” /33./

6 LÄHDELUETTELO

1. Tammelin Tekla, Peresin Soledad, Tenhunen Tiia-Maria et al. Nanofibrilliselluloosa- eli NFC-kalvo voidaan räätälöidä vettä hylkiväksi. (viitattu 6.5.2013)

Saatavissa:

<http://www.nanobusiness.fi/home/nano-articles/selluloosan-nanomuodoista-uutta-potkua-kansantalouteen/>

2. Aromaa, T. ja Mäkinen, M., 2007. Nanoteknologian soveltaminen paperiteollisuudessa, esiselvitys. Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

(viitattu 6.5.2013)

Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-214-367-9>

3. Tammelin, Tenhunen Tiia-Maria et al. Uusia materiaaleja nanoselluloosasta 14–15, 2012.

Raportti Nro VTT-S-01 140-09 1(1)

(viitattu 7.5.2013)

Saatavissa:

http://www.nanobusiness.fi/uploads/tulevaisuuden_teknologiat_koneenrakentajille.pdf

4. Anna Karvo, Heidi Kanala-Salminen, Hanna-Kaisa Koponen, 36-52/2009.

Forest Industry Future-osaamiskeskusohjelma;

Nanomateriaalien hyödyntämismahdollisuudet pakkausteollisuudessa; Pieni suuri nano Tekes.

(viitattu 24.5.2013)

Saatavissa:

http://www.bionova.fi/files/nanoteknologia_elintarvikealan_koneenrakennuksessa.pdf

5. Anna Karvo, Heidi Kanala-Salminen, Hanna-Kaisa Koponen. Konetekniikkaa

elintarviketeollisuuden sovelluksiin. (Viitattu 27.5.2013)

Saatavissa: http://oske.ketek.fi/Oske_NanoPakkaus_raportti.pdf

6. Viinikka E., Raija-Leena Ahtola-Marks, Culminatum Innovation Oy Ltd. Yle uutiset. Nanosovellus tuulivoimaan (viitattu 27.5.2013)

Saatavissa:

http://www.nanobusiness.fi/uploads/nano_asuminen_web.pdf

7. Tekes.fi, Savo-solar.fi, CO2-raportti. Uudet nanopinnoitteet parantavat aurinkokennojen tehoa. (viitattu 18.5.2013)

Saatavissa: www.goodnewsfinland.fi/.../savo-solar-kehitti-mullistavan-aurinkokerai

8. Luotola J., Maailman ensimmäinen täyshiilinen aurinkokenno

(Viitattu 18.5.2013)

Saatavissa:

<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/tutkijat+valmistivat+maailman+ensimmaisen+tayshiilisen+aurinkokennon/a852456>

9. Peltonen K., www.solarimpulse.com / [Bertrand Piccard](#)

(viitattu 13.6.2013)

Saatavissa:

<http://www.tekniikkatalous.fi/energia/siipivali+kuin+jumbolla+paino+kuin+autolla+++aurinkovoimalla+toimivalla+lentokoneella>

10. Raili L., 6.6.2009 Nanotekniikka.

(viitattu 24.5.2013)

Saatavissa:

<http://www.tekniikkatalous.fi/innovaatiot/nanotekniikka/suomalainen+nanopinnoite+tappaa+sairaalabakteerit/a295631>

11. Raunio H., Nanosovellus lääketieteeseen

(Viitattu 25.5.2013)

Saatavissa:

<http://www.tekniikkatalous.fi/innovaatiot/nanotekniikka/nanotekniikka+avuksi+alzheimerein+hoitoon/a122384>

12. Suomen Akatemia, Vähäkylä L., Nanosovellus lääkkeiden annostukseen

(Viitattu 31.5.2013)

Saatavissa:

<http://www.aka.fi/fi/A/Suomen-Akatemia/Mediapalvelut/Tiedotteet/Akatemian-tiedotteet2/Nanoteknologiasta-apua-myo-laihdutukseen/>

13. Järvinen K., Lehto V-P., Joutsensaari J., Salonen J., Herzing K-H. Materiaali soveltuu lääkeaineen hitaaseen vapauttamiseen elimistöön.

(viitattu 31.5.2013)

Saatavissa:

<http://www.physics.utu.fi/projects/kurssit/UFYS2100/muuta/duodecim%2096970.pdf>

14. Massachusetts Institute. Tulevaisuuden nanoakut 10 kertaa nykyisiä pienempiä.

(viitattu 27.5.2013)

Saatavissa: www.v2.fi/.../Tulevaisuuden-nanoakut-10-kertaa-nykyisia-pienempia/

15. Luotola J.,Massachusettsin teknillisen yliopiston tutkijat kehittävät ainetta, joka varastoi auringon lämpöä ja vapauttaa sen tarvittaessa. (viitattu 31.5.2013)

Saatavissa: www.tekniikkatalous.fi/autot/olisipa+tama+totta+jo.../a905481

16. Traduct, Aalto-yliopisto, Nanobusiness.fi, Työterveyslaitos, Vadym N., Mochalin, Olga Shenderova, Dean Ho & Yury Gogotsi. Räjähdyksellä valmistettava nanotimantti.

(viitattu 17.5.2013 ja 18.5.2013)

Saatavissa: <http://www.traduct.fi/2013/05/rajaytyksella-valmistettava-nanotimantti/>

17. Heikkilä M. Nanosovellus katalysaattoreihin

(Viitattu 28.5.2013)

Saatavissa:

<http://www.tekniikkatalous.fi/autot/uusi+katalysaattori+vahentaa+dieselautojen+paastoja+jopa+45+prosenttia/a830447>

18. Kuljetuskaluston nanopinnoitus

Harriet Öster, Tekniikka & Talous 20.8.2000. Olarinluoma 15, 02200 ESPOO diarc@diarc.fi)

(viitattu 17.5.2013)

Saatavissa: www.tekniikkatalous.fi/uutiset/diarc+tekee+timantinkovaa.../a24507/

19. Leino R.,13. 1.2.2012 - Halpa älymaali (viitattu 28.5.2013)

(viitattu 27.5.2013)

Saatavissa: www.tekniikkatalous.fi/innovaatiot/.../halpa+alymaali.../a767652

20. Kokkonen J., Daniel Cooper - 459 Google+ -piirissä. 29.3.2012

[Daniel Cooper](#) posted Mar 29th, 2012 at 10:11 AM (viitattu 27.5.2013)

Saatavissa: <http://taskumuro.com/nokian-villi-morph-konseptipuhelin-rikkoo-rajoja>

21. Raunio H. Nanosuodatusta käytetään useissa eri teollisuuden sovelluksissa.

(Viitattu 13.6.2013)

<http://www.tekniikkatalous.fi/innovaatiot/erotustekniikka+parantaa+teollisuuden+prosesseja/a37909>

22. Salo O. Kannettavat veden puhdistajat

(Viitattu 28.9.2013)

Saatavissa: http://www.finnrappel.fi/life_saver.htm

23. Viinikka E. Nanoteknologian mahdollisuudet konetekniikassa

(Viitattu 17.6.2013)

Saatavissa:

<http://www.nanobusiness.fi/news/136/121/Nanoteknologiaa-hyoedyntaevae-liiketoiminta-kasvaa-Suomessa-voimakkaasti/>

24. Kasvava ala. Hanna-Kaisa Koponen, KETEK ja BCC Research.

(viitattu 13.6.2013)

Saatavissa:

<http://www.nanobusiness.fi/home/success-stories/ei-kasvua-ilman-kansainvaelistymista/>

25. Tommila T. CEN ISO/TS 27687 nyt suomeksi.

(Viitattu 28.9.2013)

<http://www.nanobusiness.fi/news/29/121/Nanoteknologian-termistoeae-kaesittelevae-kansainvaelinen-standardi-nyt-suomeksi/>

26. Mäntymäki P. Nanoteknologian kärkimaat yritys- ja tutkimustoiminnassa

(Viitattu 28.9.2013)

Saatavissa:

http://www.bionova.fi/files/nanoteknologia_elintarvikealan_koneenrakennuksessa.pdf

27. Vierula H., Savolainen K. Nanohiukkasten terveysriskit ovat suurelta osin vielä arvoitus.

(viitattu 13.6.2013)

Saatavissa:

http://www.laakarilehti.fi/uutinen.html?type=1/news_id=12274/NanoHiukkanen+on+yh%E4+arvoitus

28. Pylkkänen L., Stockmann-Juvala H., Väänänen V., Tomi Kanerva T. Nanomateriaalisen käyttö työpaikoilla. Tiedote 68/2012 29.10.2012, Helsinki. (viitattu 13.6.2013)

Saatavissa:

http://www.ttl.fi/fi/malliratkaisut/riskienhallinnan_malliratkaisut/nanoteknologia/Documents/Malliratkaisuja_nanomateriaalien_kasittelyyn.pdf

29. Väänänen V. Riskien hallinnan keinot

(Viitattu 28.9.2013)

http://www.ttl.fi/partner/nanoturvallisuuskeskus/tapahtumat/seminaari/Documents/Riskinhallinta_nano_25092012_Virpi%20V%C3%A4n%C3%A4n%C3%A4nen.pdf

30. Itävaara M., Linder M., Kauppinen E. Eduskunnan tulevaisuusvaliokunta.

(Viitattu 28.9.2013)

Saatavissa: <http://www.nanobusiness.fi/uploads/nano-esiselvitys.pdf>

31. Brandscape. SWOT-yhteenvetoa

(Viitattu 29.9.2013)

Saatavissa: http://www.brandscape.fi/brand_fi.pdf

32. KONE Oyj, lehdistötiedote, 10.6.2013. KONE OY

(viitattu 24.7.2013)

Saatavissa:

<http://www.kone.com/corporate/fi/Lehdisto/lehdistotiedotteet/Pages/KONE-UltraRope%28TM%29---teknologinen-l%C3%A4pimurto-korkeiden-rakennusten-hisseihin-2013-06-10.aspx>

33. Markku M., Nanotieteen kehittämistyöryhmä. Dnro 34/040/2005. Yhteenveto

(Viitattu 28.9.2013)

Saatavissa:

http://www.minedu.fi/export/sites/default/OPM/Julkaisut/2005/liitteet/opm_266_tr39.pdf?lang=fi

Liite 1. Esimerkki liitteestä