

Timo Nurmi, Mikko Vähätalo & Riikka Saarimaa

MAGNEETTITEKNOLOGIAKLUSTERI 2020

TUTUeJULKAISUJA 9/2011



PRIZZTECH

Timo Nurmi, projektipäällikkö

Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun yliopisto

timo.nurmi@utu.fi

Mikko Vähätalo, projektitutkija

Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun yliopisto

mikko.vahatalo@utu.fi

Riikka Saarimaa, projektipäällikkö

Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun yliopisto

riikka.saarimaa@utu.fi

Copyright © 2011 Kirjoittaja & Tulevaisuuden tutkimuskeskus & Turun yliopisto

Taitto Jenni Elo

ISBN 978-952-249-127-5

ISSN 1797-132

Tulevaisuuden tutkimuskeskus

Turun yliopisto

ElectroCity, Tykistökatu 4 B, 20520 TURKU

Postiosoite 20014 TURUN YLIOPISTO

Korkeavuorenkatu 25 A 2, 00130 HELSINKI

Pinninkatu 47, 33100 TAMPERE

Puh. (02) 333 9530

Faksi (02) 333 8686

ffrc.utu.fi

tutu-info@utu.fi, etunimi.sukunimi@utu.fi



SISÄLLYSLUETTELO

KUVALUETTELO	5
TAULUKKOLUETTELO	5
YHTEENVETO	6
1. TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITTEET SEKÄ TOTEUTUS	9
2. KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELYÄ	11
2.1 Magnetismi ja magneettikentät	11
2.2 Magneettiset materiaalit	13
2.3 Suprajohteet	16
2.4 Harvinaiset maametallit magneettien raaka-aineena	17
2.5 Tiekartat	21
3. MAGNEETTITEKNOLOGIAN KEHITYSSUUNTIA, TRENDJÄ JA KEHITYKSEN AJUREITA	26
3.1 Tulevaisuuden ennakointi ja trendit	26
3.2 Magneettiklusterille merkittävät trendit ja kehityskulut	29
4. MAGNEETTITEKNOLOGIAN SOVELLUSALUEITA	32
4.1 Energia	32
4.1.1 Tuulivoima	33
4.1.2 Aurinkovoima	34
4.1.3 Vesivoima	35
4.1.4 Bio- ja geoenergia	36
4.1.5 Energian varastointi	37
4.2 Liikenne	37
4.3 Terveysteknologia	38
4.4 Sensorit ja järjestelmät	39
4.5 Kunnonvalvonta	41
4.6 Materiaalit ja prosessit	43
4.7 Mallinnus ja simulointi	47
4.8 Asuminen	49
5. KANSALLINEN MAGNEETTITEKNOLOGIAKLUSTERI 2020	50
6. TIEKARTAT	54
LOPUKSI ASKELEET TULEVAISUUTEEN	60

KUVALUETTELO

Kuva 1.	R-Fe-B magneettien viimeaikainen kehitys	13
Kuva 2.	Harvinaisten maametallien suurimmat tuottajamaat	19
Kuva 3.	Tiekarttojen luokittelu	22
Kuva 4.	Tiekartan laadinnan vaiheet	25
Kuva 5.	Energian tuotannon ja varastoinnin tiekartta	55
Kuva 6.	Koneet ja laitteet tiekartta	56
Kuva 7.	Magneettisten materiaalien tiekartta	57
Kuva 8.	Terveysteknologian tiekartta	58
Kuva 9.	Sensorit ja järjestelmät tiekartta	59

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	Magneettiteknologiaklusteri 2020 -asiantuntijatyön päävaiheet:	10
Taulukko 2.	Magneettiteknologia 2020 työkokonaisuuden vaiheet ja aikataulu	10
Taulukko 3.	Kestomagneettisten materiaalien pääsovelluskohteet	14
Taulukko 4.	Suomalaisen teollisuuden mallinnuksen ja simuloinnin tulevaisuuden haasteita	48
Taulukko 5.	Kansallisen magneettiteknologian vahvat toiminta-alueet vuoteen 2020 mennessä	50
Taulukko 6.	Kansallisen magneettiteknologiaklusterin toimijoita 2020	52
Taulukko 7.	Magneettiteknologiaklusterin tehtäviä 2020	53
Taulukko 8.	Magneettiteknologiaklusterin työnjako 2020	53

YHTEENVETO

Magneettiteknologiaklusteri 2020 -tutkimuksessa tehtiin kattava kirjallisuuskatsaus, jonka pohjalta listattiin magneettiteknologiaklusterin kehityksen kannalta merkittävimpiä trendejä ja sovellusalueita. Magneettiteknologia-alan toimijoille järjestettiin Tampereella 31.3.2011 myös tulevaisuusverstaas, jonka tulosten pohjalta katsauksen painopistealueita tarkennettiin ja hiottiin. Verstaan osanottajille ja muille magneettiteknologian asiantuntijoille tehtiin myös kyselytutkimus.

Alan asiantuntijoille suunnatulla sähköisellä kyselyllä kartoitettiin kansallisen magneettiteknologian klusterin rakennetta sekä tehtäviä vuoden 2020 aikajänteellä. Kyselyn mukaan magneettiteknologiaklusterin toimijoiden joukko voisi koostua yrityksistä, jotka valmistavat magneetteja tai muita magneettisia materiaaleja, tai käyttävät tuotteissaan näitä. Mukana pitäisi myös olla alan perustutkimusta, mallintamista ja magneettiteknologian soveltavaa tutkimusta tekeviä yliopistoja, korkeakouluja sekä muita tutkimuslaitoksia. Lisäksi klusteriin pitäisi kuulua suunnittelutoimistoja, alan konsultteja, kuntien ja valtion edustajia, riskirahoittajia, muotoilijoita, arkkitehtuurin edustajia sekä markkinoinnin ja viestinnän osaajia. Kyselyn mukaan klusterin tehtäviä olisi tiedotus- ja edunvalvonta, verkottuminen ja yhteistyön rakentaminen, alan tutkimus ja koulutus, yritystoiminnan tukeminen sekä mallinnus-, suunnittelu- ja erikoispalveluiden tarjoaminen klusterin jäsenille.

Tulevaisuusverstaassa pohdittiin kansallisen magneettiteknologian tulevaisuuden vahvoja toiminnan sekä myös kehitettäviä alueita vuoden 2020 aikajänteellä. Esille nousivat magneettiteknologian valmistusketjut ja brändit, energiantuotannon ja varastoinnin sovellukset, pyrkimys täyssähköiseen yhteiskuntaan, uusien magneettisten materiaalien kehittäminen sekä magneettinen puhdistus ja erotus.

Verstaassa nousi esille myös, että alan toimijoiden mielenkiinto ja osaaminen keskittyvät ennen kaikkea B2B-liiketoimintaan. Tässä raportissa näkökulma siirtyy usein myös yksittäisen kuluttajan tasolle ja magneettiteknologian liiketoimintapotentiaalia luodetaan tästäkin lähtökohdasta. Kulutukseen ja kuluttajakäyttäytymiseen vaikuttavat suuret trendit vaikuttavat merkittävästi moniin teknologioihin. Esimerkiksi resurssien niukentuminen ja ympäristötietoisuuden lisääntyminen luovat vähitellen kaupallisesti otolliset olosuhteet sähköautoteknologian laajamittaiselle kehitykselle, jolla puolestaan on mittava vaikutus magneettiteknologiaklusterinkin investointeihin.

Resurssien niukentumista on tässä raportissa käsitelty laajemminkin ja esimerkiksi magneettiteknologialle tärkeiden harvinaisten maametallien strategista merkitystä pohditaan syvemmin. Niiden merkitys vaikuttaa eräissä viimeaikaisissa tapahtumissa korostuvan. Korkeasta teknologiasta erityisen riippuvaiset läntiset talousmahdit (+ Japani) ovatkin luomassa uusia alliansseja turvataksaan Kiinasta riippumattoman harvinaisten maametallien toimitusketjun. Harvinaisten maametallien hintakehitys viittaa siihen, että kotimaisenkin magneettiklusterin on syytä pohtia suhdettaan tähän tärkeään resurssiin ja varautua turvaamaan sen kitkaton saanti.

Suprajohteet ovat mielenkiintoinen kehittämisen alue magneettiteknologiassa sillä suprajohteet tarjoavat parempia tehoja, pienempää sähkönkulutusta ja -hävikkiä sekä laitteiden kokoa verrattuna

perinteisillä magneeteilla toimiviin koneisiin ja laitteisiin. Suprajohteiden käyttö tulee kasvamaan erityisesti energiantuotannossa ja varastoinnissa, generaattoreissa, moottoreissa sekä lääketieteen sovelluksissa. Huoneenlämmössä toimivan suprajohteen kehittäminen on haastava tavoite alan kehittäjille ja tutkijoille.

Sähkönkulutus kasvaa maailmassa koko ajan, eikä hiilidioksidipäästöjä tuottavien fossiilisten polttoaineiden käyttöä voida enää lisätä. Tarvitaan lisää vaihtoehtoisia energian tuottamisen, siirron ja varastoinnin muotoja ja sovelluksia. Energiasektori tarjoaa magneettiteknologialle runsaasti liiketoimintamahdollisuuksia erityisesti tuulivoiman, vesivoiman, aurinkoenergian sekä bioenergian generaattoreiden, turbiinien sekä muiden koneiden ja laitteiden kehittämisessä. Niin ikään energian siirto (esim. sähköverkkojen älykkyys sekä suprajohteet) ja varastointi (esim. SMES) ovat hyviä kehittämisalueita alan kansallisille osaajille.

Liikenteessä kasvihuonekaasujen sekä energian kulutuksen vähentämistavoite tulee lisäämään sähkökäyttöisten autojen, laivojen, junien ja muiden sähkökäyttöisten laitteiden kehitystä.

Terveysteknologiassa ja lääketieteessä magneettiteknologialla on huimat mahdollisuudet. Uuden sukupolven kuvantamislaitteet, nanoteknologian hyödyntäminen, suprajohteiden käyttö, leikkausrobottien sekä ihmisten varaosien kehittäminen ovat alueita, joilla magneettiteknologialla on paljon annettavaa.

Viime aikoina sensoriteknologiasta on tullut kasvava tutkimuksen alue ja sensorisovelluksia ja sensoriteknologiaan perustuvia tuotteita tuodaan markkinoille kaiken aikaa. Sensorien lukumäärä nykyisissä järjestelmissä sekä uusissa sovelluksissa kasvavat merkittävästi tulevina vuosina. Langattomat sensorijärjestelmät kasvavat vielä nopeammin kuin langalliset järjestelmät. Vuoteen 2015 mennessä RFID -tekniikka on laajalti käytössä integroiduissa sensoriverkoissa ja verkot ovat lisäksi käyttäjälle näkymättömiä. Sensoreita liitetään tai "upotetaan" erilaisiin materiaaleihin kuten esimerkiksi vaatteisiin ja rakennuksien rakenteisiin.

Kunnonvalvonnasta on tullut tärkeä magneettiteknologian kiinnostuksen alue. Teollisuudessa tuotantolinjojen, koneiden ja laitteiden korkea käyttövarmuus on merkittävä kilpailutekijä sekä tuotantolaitokselle että kone- ja järjestelmätoimittajallekin. Korkea käyttövarmuus merkitsee turvallista ja häiriötöntä tuotantoa, alhaisia korjaus- ja kunnossapidonkustannuksia sekä hyvää toimitusvarmuutta. Lisäksi koneet ovat kalliita ja pääoman tuottovaatimukset korkeita, joka tukee myös tavoitetta koneiden hyvästä toimintavarmuudesta. Tärkeitä kehittämisen kohteita kunnonvalvonnassa ovat älykkäiden antureiden, langattomien tiedonsiirtoverkkojen sekä etävalvontajärjestelmien ja -luennan sovellusten kehittäminen. Kunnonvalvonnassa esimerkiksi voimalaitosten ikääntyvät koneet tai hankalassa tai vaarallisessa paikassa olevat koneet kuten tuulivoimalat tarjoavat hyviä liiketoiminnan mahdollisuuksia tulevaisuudessa.

Tulevaisuudessa magneettiteknologiaa ja magneettisuutta hyödynnetään enenevässä määrin uusissa materiaaleissa, joita valmistetaan mm. ohuista muovi- ja paperi ym. kalvoista painamalla. Painamalla voidaan valmistaa esim. aurinkokennoja, näyttöjä, televisioruutuja, virtalähteitä ja akkuja. Lisäksi nanotekniikalla voidaan valmistaa esimerkiksi ympäristötekнологisia sovelluksia jätevesien tai saastuneiden maamassojen puhdistukseen. Magneettisia muistimetalleja kehitetään mm. lääketieteen sekä autoteollisuuden tarpeisiin ja hiilinanomateriaaleista valmistetaan joustavaa elektroniikkaa.

Suomalainen materiaalitekniikka ulottuu myös biomateriaaleihin, jonka puitteissa on kehitetty taipuisa ja huokoinen magneettinen nanopaperi yhdistämällä selluloosa ja magneettiset nanohiukkaset.

Mallinnusta ja simulointia käytetään paljon erityisesti Suomen metsä-, energia- ja metallurgisessa teollisuudessa sekä myös työkoneiden ja mobiililaitteiden valmistuksessa. Mallinnuksen ja simuloinnin tulevaisuushaasteita ja samalla kehittämisen kohteita ovat ohjelmistojen saumaton käyttömahdollisuus eri kehittämisen ja suunnittelun vaiheissa ja tasoilla, järjestelmien hajautettavuus, soveltuvuus moninaiseen käyttöön, visualisointi, luotettavuus sekä ohjelmistojen soveltuvuus moninaisiin laitteisiin.

Asumisessa voidaan hyödyntää magneettiteknologiaa monipuolisesti sekä rakennus- että kotiautomaation puolella. Kehitettäviä sovellusalueita ovat mm. uudet seinä-, rakenne- ym. materiaalit, uudet mittaus- ja anturitekniikat kuten MEMS, aurinkoenergian ja jätelämmön hyödyntäminen, uudenlaisten energian varastointijärjestelmien kehittäminen, biometriset tunnistustekniikat sekä RFID -anturien sovellukset.

Tässä tutkimuksessa laadittiin myös Magneettiteknologiaklusteri 2020 tiekartta kirjallisuusselvityksen, tulevaisuusverstaan sekä asiantuntijakyselyn pohjalta. Magneettiteknologia 2020 tiekartta koostuu viidestä osasta, joita ovat energiantuotanto ja varastointi, koneet ja laitteet, terveystekniologia, sensorit ja mittausjärjestelmät sekä magneettiset materiaalit ja prosessit.

1. TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TAVOITTEET SEKÄ TOTEUTUS

Magneettiteknologiaklusteri 2020-raportti kokoaa yhteen työkokonaisuuden, jonka Prizztech Oy tilasi asiantuntijatyönä Turun yliopiston Tulevaisuuden tutkimuskeskukselta. Kokonaisuuden tavoitteena oli toteuttaa Prizztechin Magneettiteknologian tulevaisuuden visiot -hankkeen tarpeisiin asiantuntijapalvelu, joka koostuu kirjallisuusselvityksestä, tulevaisuusverstaasta (workshop) sekä alan asiantuntijakyselystä. Käsillä oleva raportti on selvitys suomalaisesta magneettiteknologiaa hyödyntävän teollisuuden klusterista vuonna 2020.

Magneettiteknologiaklusteri 2020-raportin tarkoituksena on luoda kokonaiskuva magneettiteknologiasta ja sen tulevaisuuden kehityksestä, kehitykseen vaikuttavista trendeistä ym. muutoksen merkeistä. Lisäksi raportissa esitetään käytetyn kirjallisen materiaalin, verstastyön sekä kirjallisen kyselyn pohjalta laadittu tiekartta havainnollistamaan alan tulevaisuuden kehityskulkuja vuoteen 2020 - 2030.

Tilatun työn toteuttivat Tulevaisuuden tutkimuskeskuksen asiantuntijoista koostuva tiimi, johon kuuluivat projektipäällikkö Timo Nurmi, projektipäällikkö Riikka Saarimaa sekä tutkija Mikko Vähätalo. Seuraavassa taulukossa 1 kuvataan asiantuntijapalvelun päävaiheet tarkemmin:

Taulukko 1. Magneettiteknologiaklusteri 2020 -asiantuntijatyön päävaiheet:

<p>1. Kirjallisuusselvitys: Asiantuntijapalvelukokonaisuuden työstäminen aloitettiin kirjallisen sekä muun materiaalin keräämisellä ja tarkastelulla, jonka avulla luotiin kuva magneettiteknologian kehityksestä.</p>
<p>2. Suunnittelutapaamiset: Työhön sisältyi suunnittelutapaamisia, joissa tarkennettiin projektin tavoitteita ja toteutusta yhdessä ohjausryhmän kanssa.</p>
<p>3. Tulevaisuusverstaas: Eri alan osallistujista koostuvassa tulevaisuusverstaassa selvitettiin magneettiteknologiaklusterin rakennetta ja sitä, mitä se haluaa olla vuonna 2020. Verstaan valmistelussa hyödynnettiin vaiheessa 1 kerättyä taustamateriaalia ja Tulevaisuuden tutkimuskeskuksessa tehtyjä eri toimialojen toimintaympäristön muutoksista tehtyjä selvityksiä. Verstaassa hyödynnettiin ennakointimenetelmiä, kuten tulevaisuuspyörää ja -taulukkoa. Verstaan tuloksista laadittiin erillinen yhteenvetoraportti.</p>
<p>4. Asiantuntijakysely: Aiemmin kerättyyn ja tutkittuun materiaaliin sekä tulevaisuusverstaan tuloksiin pohjautuen toteutettiin sähköinen asiantuntijakysely, jonka tarkoituksena oli täsmentää magneettiteknologian tulevaisuuden kehityssuuntia sekä rakennetta asiantuntijoiden näkemyksillä.</p>
<p>5. Loppuraportti: Lopuksi koottiin aiempien vaiheiden töiden tuotokset yhteen laatimalla magneettiteknologiaklusterin kehitystä kuvaava kirjallinen loppuraportti, Magneettiteknologiaklusteri 2020 (sähköinen versio, joka on tulostettavissa ja painettavissa). Raportti on selvitys suomalaisesta magneettiteknologiaa hyödyntävän teollisuuden klusterista vuonna 2020 sekä alan kehitykseen vaikuttavista asioista.</p>

Aikataulullisesti työ eteni taulukon 2 mukaisesti:

Taulukko 2. Magneettiteknologia 2020 työkokonaisuuden vaiheet ja aikataulu

Vaiheet	Joulukuu 2010	Tammikuu 2011	Helmikuu 2011	Maaliskuu 2011	Huhtikuu 2011	Toukokuu 2011	Kesäkuu 2011
1. vaihe: Kirjallisuusselvitys	X	X	X	X			
2. vaihe: Suunnittelu- tapaamiset		19.1.		3.3.	X		
3. vaihe: Tulevaisuus- verstaas				31.3.			
4. vaihe: Asiantuntija- kysely						X	
5. vaihe: Loppura- portti					X	X	X

2. KÄSITTEIDEN MÄÄRITTELYÄ

2.1 Magnetismi ja magneettikentät

Magneettiset kivet (lodestone) on tunnettu jo noin 800 luvulta eKr., mutta nykyään magneettinen kivi tunnetaan magnetiittina, joka koostuu rautaoksidimineraaleista. Maaperän magnetiitti on todennäköisesti salaman aiheuttaman magneettikentän magnetoimaa. Ensimmäinen magneettinen laite oli kompassi, jonka ensiversion kiinalaiset osasivat valmistaa jo 200-luvulla. Eurooppalaiset oppivat kompassin valmistustaidon vasta 1200-luvulla. (Haavisto 2007) Maan magneettikentän kuvasi ensimmäisenä filosofi ja fyysikko René Descartes 1600-luvulla (Forsell 2010).

1820 oivallettiin sähkön ja magnetismin yhteys, kun tanskalainen Hans Christian Oersted havaitsi sähkövirran muuttavan kompassineulan suuntaa (Wikipedia). Huolimatta 1800-luvun huimasta kehityksestä magnetismin saralla ymmärrys magnetismin alkuperästä oli 1900-luvun alussa vielä hämärän peitossa. Bohrin atomimallin, Blanckin sekä Einsteinin kvanttimekaniikan ja -fysiikan kehityksen sekä suhteellisuusteorian myötä tultaessa 1930-luvulle alkoi magnetismin periaatteellinen teoria muotoutua. (Haavisto 2007)

Nykyään hyödynnetään monia magnetismiin liittyviä ilmiöitä kuten sähkömagneettista induktiota, magneettivuon säätämistä sähkövirran avulla, ferromagneettista vetovoimaa, magneettista levitaatiota, hall-ilmiötä sekä materiaalien erilaisia reaktioita magneettikentässä (Haavisto 2007). Sähkömagneettisessa induktiossa muuttuva magneettikenttä indusoi eli synnyttää johtimeen (=käämiin) jännitteen, josta seuraa sähkövirta. Sähkömagneettisen induktion sovelluksia ovat mm. generaattorit, muuntajat sekä magneettijarrut. Magneettivuon säätämisen kohteina ovat erilaiset sähkökoneet, kodinkoneet, äänentoisto sekä induktiokuumennus. Ferromagneettista vetovoimaa käytetään hyväksi kiinnityksessä ja erottelussa esim. levynostureissa sekä mineraalien ja malmien erottelussa. (Haavisto 2007)

Magneettisella levitaatiolla tarkoitetaan niin sanottua Meissnerin-Ochsenfeldin ilmiötä, joka tarkoittaa suprajohtavan kappaleen leijumista magneetin yläpuolella¹. Magneettista levitaatiota hyödynnetään laakereissa, levitaatiojunissa sekä leluissa. Hall-ilmiötä² hyödynnetään mm. massaspektrometreissa, elektronimikroskopiassa, hiukkaskiihdyttimissä, hall-antureissa sekä fuusiovoimaloissa. Materiaalien reagoitua magneettikentässä edustavat mm. magneettikuvauslaitteet (MRI sekä NMR) sekä erilaiset anturit ja säätimet kuten esimerkiksi magneto-optiset sekä -kaloriset anturit ja magneettinen muistimetalli. Muita kohteita, joissa magnetismia hyödynnetään, ovat mm. magneettinen vedenkäsittely, polttoaineen käsittely sekä terveystermiset. (Haavisto 2007)

¹ Meissnerin ilmiössä suprajohteet sulkevat magneettikentän ulkopuolelleen. Suprajohteella on vastakkaisuuntainen magneettikenttä kuin ulkoisella magneettikentällä.

² Hall-ilmiöstä tietoa mm. Kuopion yliopiston Fysiikan laitoksen oppimateriaalista http://venda.uku.fi/studies/courses/FLT2/tyoohjeet/hysteresis_ja_hall.pdf.

Liikkuvan varauksen synnyttämä magneettikenttä voidaan aikaansaada kolmella tavalla (Jokinen & Arkkio 2004):

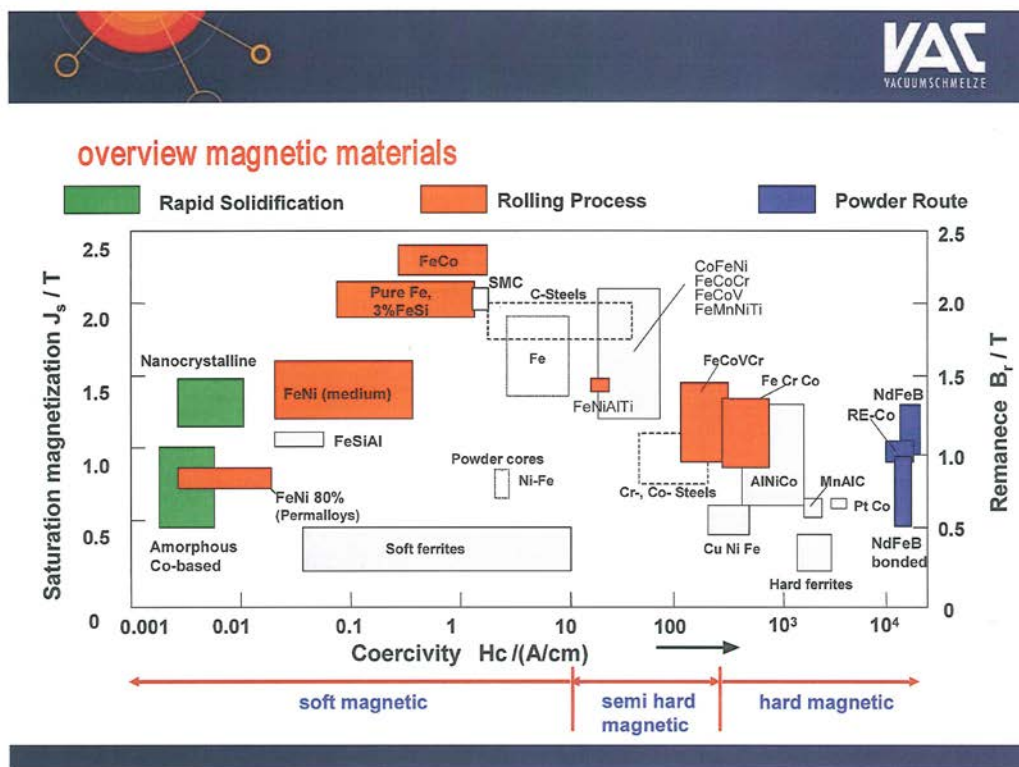
1. Sähkömagneetilla eli virallisella käämillä
2. Kestomagneetilla sekä
3. Suprajohtavalla magneetilla

Jokisen ja Arkkion mukaan magneettikentällä on seuraavia ominaisuuksia (Jokinen & Arkkio 2004):

- Magneettikenttää voidaan käyttää energian varastointiin ja muuttamalla vuontiheyttä varaston energian määrä lisääntyy ja vähenee.
- Sähkövirta on liikkuvien varausten liikettä, jolloin magneettikentän ja virallisen johtimen välille syntyy voima. Tätä voimaa voidaan käyttää mekaanisen energian muuttamiseen sähköenergiaksi kuten generaattoreissa ja päinvastoin sähköenergian muuttamiseen mekaaniseksi energiaksi kuten sähkömoottoreissa.
- Muuttuvalla magneettikentällä voidaan magneettikentän välityksellä muuttaa sähköenergiaa lämpöenergiaksi kuten esimerkiksi pyörrevirtakuumentimissa.
- Jos sähkövaraus liikkuu vapaasti, voidaan magneettikentällä muuttaa varauksen liikkeen suuntaa kuten vanhojen televisioiden kuvaputkessa.
- Magneettikentällä voidaan siirtää sähköenergiaa langattomasti sähköpiiristä toiseen, kuten tapahtuu esimerkiksi muuntajassa. Magneettikentän siirtämän energian avulla voidaan kosketuksettomasti myös lukea esimerkiksi busseissa matkakortteja tai talon rakenteisiin upotettuja kosteusantureita.

2.2 Magneettiset materiaalit

Magneettisia materiaaleja voidaan havainnollistaa seuraavalla kuvalla 1.



Kuva 1. R-Fe-B magneettien viimeaikainen kehitys, (Dr. Rolf Blank, Vacuumschmelze GmbH, 2009)

Magneettisia materiaaleja (vrt. kuva 1) on olemassa periaatteessa kahta eri luokkaa a) magneettisesti kovia, eli kestopagneetteja, jotka säilyttävät valtaosan magneettisuudestaan, vaikka ulkoinen magneettikenttä poistetaankin sekä b) magneettisesti pehmeitä materiaaleja, jotka magnetoituvat voimakkaasti ulkoisen magneettikentän vaikutuksesta, mutta menettävät valtaosan magneettisuudestaan, kun tämä ulkoinen magneettikenttä poistetaan. Hyvä esimerkki magneettisista materiaaleista on jääkaappi. Jääkaapin ovesta muistilappuja kiinni pitävä tanko – tai muun mallinen magneetti on esimerkki kestopagneetista/kovasta magneetista, koska tällainen magneetti säilyttää magneettisuutensa erillään magneettikentästä ja myös muiden magneettien kanssa. Sen sijaan jääkaapin ovi on esimerkki pehmeästä magneetista sillä ovi vastaa voimakkaasti esimerkiksi tankomagneettiin, mutta ei säilytä magneettisia ominaisuuksiaan, kun magneetti otetaan ovesta pois. Tavallinen rautanaula sekä paperiliitin ovat myös esimerkkejä pehmeästä magneetista. (Saslow 2002)

Kuvassa 1 kestopagneettisia materiaaleja (Permanent/Hard Magnetic Materials) ovat mm. valelut sekä sintratut Alnico magneetit (Cast Alnico Magnets, Sintered Alnico Magnets), kovat ferriitit (Hard Ferrite), samarium-koboltti magneetit (Sm-Co, Samarium Cobalt Magnets) sekä neodyymi-

rauta-boori magneetit (Neodymium-Iron-Boron Magnets, NdFeB). Magneettien pääsovelluskohteita on listattu alla olevaan taulukkoon (Arnold Magnetics/ Constantinides 1995 sekä 2003).

Taulukko 3. Kestomagneettisten materiaalien pääsovelluskohteet

	Alnico- magneetit	Ferriitit	Samarium- kobolttimagneetit	Neodyymi-rauta- boorimagneetit
Tutkat	X			
Erottimet	X	X		X
Kytkimet		X		X
Laakerit				
Moottorit		X	X	X
Generaattorit		X		X
Mikrofonit				X
Sensorit	X	X	X	X
Kaiuttimet	X	X		X
Autoteollisuus	X	X	X	X
Magneettikuvauslaitteet				X
Tietokoneiden levy- & verkkoasemat			X	X
Satelliitit			X	
Ohjaimet			X	X

Pehmeitä magneettisia materiaaleja ovat muun muassa rauta-pii (FeSi), rauta-nikkeli (FeNiPermalloy), rauta-koboltti (FeCo), amorfiset materiaalit, nanokiteiset materiaalit, pehmeät ferriitit sekä pulverit. Amorfiset materiaalit, metalliseokset valmistetaan jäädyttämällä sula aine riittävän nopeasti. Tyypillisesti amorfiset materiaalit sisältävät noin 80 % rautaa, kobolttia tai nikkeliä seostettuina boorilla, hiilellä, piillä, fosforilla tai alumiinilla. Nanokiteisiä materiaaleja voidaan tuottaa hehkuttamalla amorfisia materiaaleja. Pehmeät magneettiset ferriitit (Manganes-Zinc Ferrites, Nickel-Zinc Ferrites) ovat keraamisia eristeitä. Pehmeitä magneettisia pulvereita voidaan käyttää esimerkiksi muovin sidottuna, jolloin tosin niiden magneettiset ominaisuudet heikkenevät, mutta ne tarjoavat muita etuja muun muassa tuotannossa tuotteen kokoonpanossa. Pehmeitä magneetteja käytetään esimerkiksi muuntajissa, toimilaitteissa, joilta vaaditaan suurta vuontiheyttä, lentokoneissa, joissa laitteen painolla on suuri merkitys sekä eristeissä. (Santa-Nokki 2007)

Pehmeiden ja kovien magneettisten materiaalien lisäksi on olemassa suuri joukko materiaaleja, joilla ei ole selvästi havaittavia magneettisia ominaisuuksia. Tällaisia ovat para- ja diamagneettiset materiaalit. Paramagneettisia materiaaleja ovat mm. alumiini, magnesium, natrium sekä platina. Paramagneettiset materiaalit vahvistavat tai vetävät puoleensa heikosti ulkoista magneettikenttää. Dia-

magneettisia materiaaleja ovat mm. vesi, elohopea, kulta sekä vismutti. Diamagneettiset materiaalit heikentävät tai hylkivät ulkoista magneettikenttää. (Saslow 2002, Kankaanpää 2007)

Maailman magneettiteollisuus on kasvanut tasaisesti viimeisen 20 vuoden aikana. Myös kestopagneettimarkkinat ovat kasvussa, eikä näköpiirissä ole nousevia teknologioita, jotka uhkaisivat kestopagneettiteollisuutta. Maailman kestopagneettimarkkinat kasvavat mm. seuraavista tekijöistä johtuen: 1) kuluttajien määrä kasvaa, kun maapallon väestön määrä kasvaa, 2) kestopagneettimateriaalien hinta nousee ja 3) kehitetään lisää kestopagneetteja käyttäviä sovelluksia. Esimerkiksi vuonna 2006 ostettavassa keskihintaisessa autossa on 24 magneettia ja vuonna 2010 ostettavassa autossa on jo 64 magneettia. Magneettien tarvetta autoissa lisäävät polttoaine- ja energiatehokkuuden vaatimukset sekä ”luksusvarusteet” (mm. lämmitettävät ikkunat, peilit, sähköiset ohjaus- ja käsittelylaitteet) (Clagett 2007)

Rahassa mitattuna kestopagneeteista AlNiCo:n sekä näiden magneettien sovellusten markkinat ovat olleet hienoisessa laskussa. Suurinta kasvua on tapahtunut NdFeB-magneettien osalta sekä merkittävästi pienempää kasvua ferriittien ja SmCo-magneettien osalta. Määriä verrattaessa eniten käytetty kestopagneetti on ylivoimaisesti Ferriitti. Ferriitin suuri kasvu tonneissa edustaa kuitenkin pientä kasvua arvossa, koska sen kilohinta verrattuna esimerkiksi NdFeB-magneetteihin on moninkertaisesti pienempi. Toisaalta NdFeB-magneettien voimakas kasvu myös määrissä merkitsee huimaa kasvua kestopagneettien maailmanmarkkinoiden arvossa. (Clagett 2007)

Vuosikymmeniä kestopagneettiteknologiaa käytettiin pienen mittakaavan sovelluksissa kuten tietokoneiden kovalevyissä sekä rankekelloissa, joissa kestopagneettien paino-suorituskyky suhde oli merkittävä etu. Kestopagneettien käyttö suuremmissa laitteissa ei tuolloin ollut yleistä niiden korkean hinnan ja valmistuskustannusten vuoksi. Tilanne on kuitenkin muuttunut ja kestopagneetteja käytetään yhä enemmän erilaisissa koneissa kuten tuulivoimaloiden generaattoreissa ja paperi- ja meriteollisuuden sähkömoottoreissa. (Ikäheimo 2004)

Kestopagneettikoneita on aloitettu valmistaa Suomessa 1990-luvulla. Keskisuuret ja suuret kestopagneettikoneet ovat hinnaltaan kalliimpia kuin tavanomaiset magnetoimiskäämityksellä tehdyt koneet. Näillä kestopagneettikoneilla on kuitenkin merkittäviä etuja, jonka vuoksi ne ovat hyvin kilpailukykyisiä. Isompien kestopagneettikoneiden:

- hyötysuhde on hyvä,
- koneet voidaan rakentaa vaihteettomiksi, jolloin vaihteen häviöt jäävät pois,
- koneiden jäähdytys on yksinkertaista ja
- koneilla on tiettyjä järjestelmäetuja kuten esimerkiksi hissijärjestelmässä voidaan konehuone jättää pois
- sekä keskisuurten ja pienten kestopagneettikoneiden koko on selvästi pienempi kuin tavanomaiset koneet. (Jokinen & Arkkio 2004)

Voidaan sanoa, että kestopagneettimoottorit pyörittävät nykyisin maailmaa, sillä ne toimivat voimanlähteinä esimerkiksi kulkuneuvoissa, teollisuuden prosesseissa, jätteiden ja malmien erottimisessa, viihde-elektronikassa ja jopa kelloissa. (Prizz Uutiset 2008a) Kestopagneetilla synnytettyä magneettikenttää ja magneettista resonanssi-ilmiötä hyödyntävää laitetta voidaan myös käyttää hyväksi esimerkiksi terveydenhuollon kuvantamislaitteissa, puututkimuksessa sekä elintarviketeollisuudessa

ruoan kypsymisen seurannassa. Edelleen laitteella voitaisiin automaattisesti seuloa pois pilaantuneet hedelmät tai laitetta voitaisiin käyttää muussakin laadunvalvonnassa kuten liimasaumojen kovettumisen tarkistamisessa. (Jokinen & Arkkio 2004)

2.3 Suprajohteet

Suprajohteet ovat olennaisesti energia- ja magneettiteknologiaan liittyviä materiaaleja, jotka menettävät sähkönvastuksensa kokonaan tietyn lämpötilan alapuolella. Muutos on äkillinen ja useimmilla aineilla tämä muutoksen kriittinen lämpötila on muutaman asteen absoluuttisen nollapisteen yläpuolella. (Jokinen & Arkkio 2004) Suprajohteista voidaan rakentaa tehokkaita moottoreita ja magneetteja, mutta myös luontoa säästäviä kaapeleita. Suprajohteiden käyttö esimerkiksi sähkökaapeleissa on ekoteko, sillä nykyisten sähköverkkojen sähkön siirron hävikki on noin kymmenen prosenttia. Ensimmäinen suprajohdekaapeli kytkettiin sähköverkkoon Tanskassa vuonna 2001. Yleistyminen on kuitenkin ollut hidasta sillä suprajohtavat sähköjohdot ovat kalliita käyttää niiden jäähtymisen vuoksi. Suprajohtojen etuina on kuitenkin hävikin poistuminen sekä tehon huima parannus. Positiivista suprajohdekaapeleiden käytön yleistymiselle on, että niiden hinta on laskussa ja kaapeleiden teknologia paranee kaiken aikaa. (Tähtinen 2007)

Suprajohteet jaetaan kahteen ryhmään, matalan lämpötilan suprajohteiksi (LTS Low Temperature Superconductors) sekä korkean lämpötilan suprajohteiksi (HTS High Temperature Superconductor) (Jokinen & Arkkio 2004). Vuonna 1986 tutkijat havaitsivat suprajohtavuusilmion kuparioksidipohjaisessa materiaalissa, joka muuttui suprajohtavaksi 36 Kelvinin lämpötilassa. Seuraavan kymmenen vuoden aikana löydettiin satoja oksidipohjaisia suprajohteita. Näitä johteita alettiin kutsua korkean lämpötilan suprajohteiksi. (Jokinen & Arkkio 2004)

Korkean lämpötilan suprajohtavuudella tarkoitetaan sitä, että aine säilyttää suprajohtavuutensa yli 30 kelvinin eli -243 celsiusen lämpötilassa. Käytännössä rajalämpötila 77 kelviniä eli -196 celsiusastetta on merkittävämpi sillä tämä on tyypin kiehumispiste normaalissa ilmanpaineessa. Materiaalien jäähtyminen nestetyypen avulla on halvempaa kuin nestemäisellä heliumilla. Useimpien sovellusten kuten suprajohtavien sähkölinjojen kannalta nykyiset lämpötilat ovat liian matalia tai ainakin epäkäytännöllisiä sillä niiden ylläpito on riskialtista ja hankalaa. Tämän vuoksi yksi ihmiskunnan suurimmista teknisistä keksinnöistä olisi huoneenlämmössä ja normaalipaineessa suprajohtava materiaali, joka olisi edullinen ja mullistaisi energianjakelun, sähkötekniikan ja elektroniikan valmistuksen kokonaan. (Kangasniemi 2008)

Tokion yliopiston tutkijat löysivät vuonna 2008 uuden materiaaliluokan, josta saa muokattua korkean lämpötilan suprajohteita. Uusi materiaaliluokka on siitä poikkeuksellinen, että aiemmin korkean lämpötilan suprajohteet ovat olleet kuparioksidin johdannaisia lukuun ottamatta magnesiumdiboridia (MgB_2). Uuden materiaaliluokan, rauta-arsenidien suprajohtavuus oli kemisteille ja fyysikoille yllätys, sillä ennen tätä ei kukaan odottanut, että rautayhdisteet voisivat olla suprajohtavia sillä rauta on magneettista ja magnetismi häiritsee suprajohtavuutta. Lisäksi rauta-arsenidien magneettiset ominaisuudet ovat muihin korkean lämpötilan suprajohteisiin verrattuna erikoiset sillä tämä suprajohde pystyy hylkimään magneettikenttää paremmin kuin yksikään tunnettu muu suprajohde. (Kangasniemi 2008)

Matalan lämpötilan suprajohteet soveltuvat vuon- ja virrantiheyksien osalta hyvin erilaisiin sähkökoneisiin, mutta niiden ongelmana ovat nesteheliumilla aikaansaatavan hyvin matalan lämpötilan tehohäviöt. Korkean lämpötilan suprajohteissa on parempi jäähdytysyhteyssuhde, jolloin näitä käyttävät sähkökoneet ovat taloudellisesti kannattavampia. Suomen suprajohteteollisuuden kannalta kiinnostavimmat kehittämisalueet ja sovellukset voisivat olla moottorit, erityisesti laivojen potkurikäytöt sekä energiavarastot, virranrajoittimet, kaapelit ja muuntajat. (Jokinen & Arkkio 2004)

Suprajohteet voivat olla puhtaita alkuaineita, kuten elohopeaa, tinaa tai lyijyä ja jopa happea, joka muuttuu kiinteänä metalliseksi. Lisäksi monet metalliseokset ovat suprajohtavia matalissa lämpötiloissa ja hiilen eri olomuodoilla kuten timantilla, grafiitilla ja pallomaisella fullereenilla on suprajohtavia ominaisuuksia. Uudet suprajohteet ovat usein keraamisia seoksia, joita ei tarvitse jäähdyttää heliumilla, vaan jotka saadaan suprajohtaviksi nestemäisellä tyypellä yli 77 kelvinissä (korkean lämpötilan suprajohteet), kun aikaisemmin jäähdytyksessä on käytetty heliumilla kriittisen lämpötilan ollessa pienempi kuin 30 kelviniä (matalan lämpötilan suprajohteet). Suprajohteilla on runsaasti sovelluksia. Niistä voidaan valmistaa tehokkaita magneetteja ja hyödyntää niitä mm. tutkimuslaboratorioissa, sairaaloiden magneettikuvauslaitteissa sekä aivotutkimuksessa valmistamalla suprajohteista erittäin herkkiä sensoreita. Voidaan myös todeta, että tietokoneet, kodinkoneet tai muut laitteet kuluttaisivat merkittävästi nykyistä vähemmän sähköä kuin nykyinen elektroniikka, jos joskus saadaan kehitettyä huoneenlämmössä toimiva suprajohte. (Liljeström 2010)

Suprajohteita käytetään erityisesti voimakkaiden magneettikenttien luomiseen suurissa hiukkaskiihdyttimissä ja lääketieteellisissä kuvauslaitteissa, mutta niitä voidaan käyttää myös esimerkiksi voimansiirtokaapeleissa, generaattoreissa, moottoreissa, vikavirran rajoittimissa ja energiavarastoissa. Suprajohteiden avulla sähkökoneiden häviöt ja koko saadaan pienemmään ja suprajohtekoneen häviöt ovat puolet vastaavan perinteisen sähkökoneen häviöistä. (Jokinen & Arkkio 2004)

Tulevaisuuden visiona on valmistaa suprajohtava kaapeli magnesiumboridista, jota ympäröisi jäähdyttävä vety. Tällaisessa kaapelissa olisi itse asiassa kaksi suprajohtoa, jossa toisen jännite olisi +50 000 voltia ja toisen -50 000 voltia ja molemmissa kulkisi 50 000 ampeerin tasavirta. Mikään perinteinen kaapeli ei kestä tällaista viiden gigawatin energiavirtaa. Kaapelin jäähdytysvety voitaisiin tuottaa samassa voimalassa kuin sähkökin. Tutkijoiden mukaan edellä kuvatun tyyppiseen teknologiaan perustuva kaapeliverkosto on mahdollista rakentaa jo nykyisellä teknologialla. (Tähtinen 2007)

2.4 Harvinaiset maametallit magneettien raaka-aineena

Harvinaisten maametallien käyttö on lisääntynyt voimakkaasti viimeisten parin vuosikymmenen aikana. Niiden kemiallisia, magneettisia, metallurgisia ja optisia ominaisuuksia käytetään hyväksi monissa eri tuotteissa, myös magneettiteknologiassa. Harvinaisista maametalleista valmistetaan myös kesto-magneetteja, joiden päätyypit ovat NdFeB- ja SmCo-pohjaiset magneetit. NdFeB-magneetit ovat yleisemmin käytettyjä niiden alhaisen hinnan vuoksi sekä korkean remanenssin vuoksi. SmCo-pohjaisia magneetteja käytetään lähinnä ilmailu- ja avaruusteollisuudessa näiden magneettien erityisen lämpöstabiiliuden vuoksi, mutta myös autoteollisuudessa erilaisissa sensoreissa. NdFeB-pohjaisissa magneeteissa neodyymi voidaan korvata myös muilla harvinaisilla maametalleilla kuten Pr, Dy ja Tb. (Haavisto & Paju 2008)

Harvinaisia maametalleja käytetään nikkelimetallihydridi (NiMH)-akkujen valmistuksessa. NiMH-akkuja käytetään erityisesti hybridiautoissa, mutta myös kannettavissa tietokoneissa, matkapuhelimissa ja työkaluissa. Harvinaisten maametallien kulutus kasvaa voimakkaasti nimenomaan hybridiautojen akuissa ja NiHM-akkujen tuotannosta noin 60 prosenttia on Kiinassa. Litiumakut puolestaan ovat syrjäyttämässä NiMH-akut joissakin kannettavissa tietokoneissa ja matkapuhelimissa. (Haavisto & Paju 2008)

Harvinaisia maametalleja käytetään myös bensiiniautojen katalysaattoreissa, dieselin lisäaineissa, öljynjalostuksessa katalyytteinä krakkausprosesseissa, loisteaineina litteissä näytöissä ja energiansäästölamppuissa. Harvinaisia maametalleja käytetään myös lasin lisäaineina sekä lasin kiillotusaineena lasin optisten ominaisuuksien parantamisessa tai UV-suojan aikaansaamisessa. Lisäksi digikameroiden yleistymisen on lisännyt harvinaisten maametallien kysyntää lasin valmistuksessa. Pienempiä määriä harvinaisia maametalleja käytetään monissa muissakin sovelluksissa kuten mm. sytyttimien piikivet, laserit, neutronisäteilysuojat sekä metalliteollisuudessa seosaineina sekä teknisissä kerameissa. Lääketiede hyödyntää mm. gadoliinin magneettisia ominaisuuksia MRI-kuvauksen erotuskyvyn parantamisessa, jossa ainetta ruiskutetaan potilaan elimistöön lähelle kuvattavaa kohdetta. (Haavisto & Paju 2008)

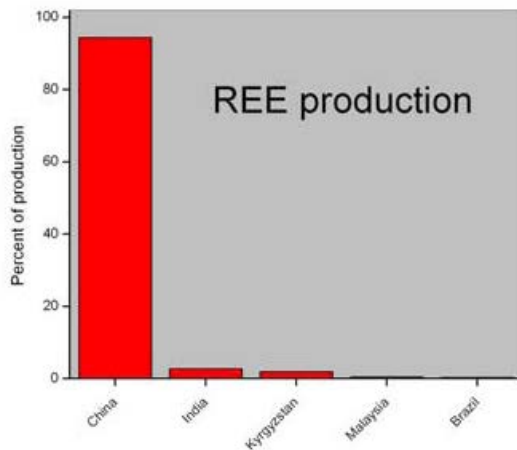
Magneettiteknologian kehittymiseen vaikuttaa olennaisesti tuotteissa käytettävien raaka-aineiden saatavuus ja sitä heijasteleva hinta. Voimakkaiden kestopagneettien valmistuksessa käytetään harvinaisia maametalleja, erityisesti neodyymiä (Nd) ja samariumia (Sm). Neodyymiä sisältävät kestopagneetit ovat yleisimmin käytettyjä, koska ne ovat hinnaltaan alhaisia ja niiden jäännösmagneetismi (remanenssi) on korkea. Neodyymiä sisältävissä NdFeB-pohjaisissa magneeteissa käytetään myös joskus muita harvinaisia maametalleja (Pr, Dy ja Tb) magneettien ominaisuuksien räätälöintiin kulloisenkin käyttökohteen mukaan. Samariumia sisältäviä magneetteja käytetään lähinnä muutamissa erityisen hyvää korroosionkestoa ja lämpötilastabiilisuutta vaativissa kohteissa ilmailu- ja avaruusteollisuudessa. (Haavisto & Paju 2008, s. 19)

Nimestään huolimatta maametalleja on maankuoressa varsin runsaasti, mutta ongelmana on niiden louhinnan ja jalostamisen kannattavuus, jonka määrittelee yksittäisen alkuaineen kysynnän sijaan koko alkuaineryhmän kysyntä (Haavisto & Paju 2008). Australialaisen harvinaisia maametalleja työstävän Lynas Corporationin arvion mukaan harvinaisten maametallien kysyntä kasvaa 9 prosentin vuosivauhdilla tasaisesti ainakin vuoteen 2014 asti. Vuonna 2010 harvinaisten maametallien kokonaiskysynnäksi arvioitiin 136 100 tonnia ja vuonna 2014 luvun uskotaan nousevan 190 000 tonniin. Tarjonnan puolestaan uskotaan vuonna 2014 yltävän vain 170 000 tonniin asti, mikä tietäisi nousupaineita kyseisten raaka-aineiden hintoihin. (Behrman & Ratnam 2010)

Maametallien kysyntää hallitsivat vuonna 2008 katalyytit ja neomagneetit, mutta NiMH-akkujen osuuden loppukäytön kohteena uskottiin merkittävästi kasvavan. (Haavisto & Paju, 2008, s. 18) Tuoreimpien yhdysvaltalaisen tilastojen mukaan (Cordier 2011) suurimmat harvinaisten maametallien käyttökohteet loppukäytön mukaan jaoteltuina (prosenttiosuus suluissa kohteen perässä) ovat kemialliset katalyytit (22 %), metallurgian sovellukset ja seokset (21 %) sekä öljynjalostuksessa käytettävät katalyytit (14 %). Kestomagneettien osuus harvinaisten maametallien loppukäytöstä on vain 7 prosenttia, mutta niiden osuuden uskotaan tulevaisuudessa tasaisesti kasvavan. (Cordier 2011, s. 128-129)

Uusi US Geological Surveyn trendiosio (Cordier 2011) kertoo paitsi kestopagneettien suhteellisen osuuden kasvusta harvinaisten maametallien käyttökohteena, mutta se myös tukee Haaviston ja Pajun (2008, kts yläpuolinen kappale) väitettä nikkelimetallihybridiakkujen (NiMH) kysynnän kasvavasta trendistä. Nikkelimetallihybridiakkujen valmistuksen yhtenä raaka-aineena käytetään samaa neodyymiä kuin kestopagneetteihin. Geological Surveyssä luokitellaan kasvualaksi myös katalysaattoreiden valmistus, joka myöskin vaatii jonkin verran neodyymiä. (Cordier 2011, s. 128-129) Koska yhdysvaltalaisutkimus luokittelee kestopagneettien lisäksi myös akut ja katalysaattorit tasaisesti kasvaviksi harvinaisten maametallien käyttökohteiksi, on oletettavaa, että neodyymin merkitys kasvaa tulevaisuudessa entisestään ellei sille löydetä korvaajaa.

Maailman moninapaistuminen ja erityisesti Kiinan voimistuminen heijastuu vahvasti myös harvinaisten maametallien kysyntään ja tarjontaan. Kiinalla on hallussaan valtaosa (yli 90 prosenttia) maailman harvinaisten maametallien tuotannosta (Haavisto & Paju 2008, s. 21). Alla olevista kuvista näkyy Kiinan ylivoima tuotannossa seuraavaksi suurimpiin tuottajamaihin verrattuna ja tuotannon painospisteen siirtyminen Kiinaan.



Kuva 2. Harvinaisten maametallien suurimmat tuottajamaat (US Geological Survey 2008, s. 18)

Harvinaisten maametallien hinnan kehityksessä voidaankin erottaa hetki, jolloin Kiina ns. liittyi mukaan peliin. Maan lisätessä rajusti harvinaisten maametallien louhintaa ja jalostusta 1990-luvun lopulla laskivat harvinaisten maametallien hinnat jyrkästi. 2000-luvulle tultaessa hintakehitys tasaantui, kunnes jotkut harvinaiset maametallit alkoivat kallistua vuodesta 2003 alkaen. Nousutrendi varsinkin neodyymioksidin hinnassa on ollut selvä. (Haavisto & Paju 2008)

Harvinaisten maametallien tarjontaan vaikutti merkittävästi vuonna 2006 Kiinan päätös asettaa louhintakiintiöitä, jotka kasvattivat kysynnän ja supistuvan tarjonnan välistä kuilua. Kiina perusteli päätöstä ympäristönsuojeluinvestointien tarpeella, joka on mahdollista täyttää harvinaisten maametallien hinnan noustessa. (Haavisto & Paju 2008) Vuoden 2010 jälkimmäisellä puoliskolla Kiina leikkasi harvinaisten maametallien vientikiintiötään peräti 72 % ja asiantuntijat uskovat vientirajoitusten lisääntymiseen entisestään (Behrman & Ratnam 2010).

Kiinan haluttomuus harvinaisten maametallien vientiin on nähty läntisessä maailmassa jopa uhkana kehitykselle. Esimerkiksi Yhdysvalloilta on vuosikymmenen verran puuttunut harvinaisten

maametallien kotimaisen louhinnan ja jalostuksen toimiala ja se on ollut riippuvainen tuonnista (Dillow 2010). Erityisesti Yhdysvaltain puolustusteollisuus tarvitsee kyseisiä mineraaleja muun muassa ohjus- ja tutkajärjestelmiinsä ja kokee hankalaksi tilanteen, jossa sen on turvauduttava joko Kiinaan tai muihin harvinaisia maametalleja tuottaviin ”ystävällisempiin” maihin. Esimerkiksi australialainen maametalliyhtiö Lynas väläytti Yhdysvalloille mahdollisuutta tuottaa puolustushallinnon tarvitsema määrä harvinaisia maametalleja Australiassa. (Behrman & Ratnam 2010) Maailman talusmahdeista myös Japani kokee oletettavasti ongelmaksi liian tiukan riippuvuussuhteen merentakaiseen jättinaapuriinsa. Esimerkiksi yksi sen lippulaivayrityksistä, Toyota haluaa vähentää riippuvuuttaan Kiinasta saatavista harvinaisista maametalleista, joita tarvitaan kestopagneettien valmistuksessa. Muun muassa Toyotan hybridiauto Prius käyttää kestopagneetteja, joissa käytetään Kiinasta saatavaa neodymiumia sekä dysprosiumia. Toyota onkin kehittämässä induktiosähkömoottoria, jossa ei tarvittaisi lainkaan magneetteja (Diehlman 2011).

Kiina on myös vuonna 2010 julistanut lyhyen epävirallisen vientikiellon Japaniin, mikä saattoi vaikuttaa siihen, että Yhdysvallat ja Japani ovat loppuvuodesta 2010 yhdistäneet voimansa harvinaisten maametallien tuotannossa ja jalostuksessa. Yhdysvallat avaa uudestaan jo kertaalleen suljetun maametallikaivoksen Mountain Passin Kaliforniassa ja hankkii japanilaiselta kumppaniltaan Hitachi Metalsilta jalostukseen tarvittavan teknologian ja valmistuslisenssin. Vuoteen 2012 mennessä kaivoksen on tarkoitus tuottaa 20 000 tonnia harvinaisia maametalleja vuodessa ja myydä Yhdysvaltain kulluksesta yli jäävä osa mineraaleista Japaniin ja Euroopan markkinoille. (Dillow 2010)

Harvinaisten maametallien hintakehitykseen vaikuttavina trendeinä voidaan tarkastella esimerkiksi globalisaatiota, uusien talouksien nousua, ympäristöystävällisyyden lisääntymistä, protektionismia ja geopolitiisiin asetelmiin vaikuttavia tapahtumia, kuten suursotia. Globalisaatiokehitys ja uusien talouksien nousu liittyvät toisiinsa kiinteästi. Globalisaation kytkeminä valtioiden ja blokkien väliset riippuvuussuhteet kasvavat entistä tiukemmiksi ja muutokset esimerkiksi tärkeiden kauppakumppaneiden valuuttakursseissa heijastuvat nopeasti myös harvinaisten mineraalien hintoihin. Uusien talouksien nousu puolestaan merkitsee entistä enemmän kysyntää mineraaleille. Nousevat talusmahdit kasvavat pitkälti oman infrastruktuurirakentamisensa varassa, mikä kysyy runsaasti luonnonvaroja. (US Geological Survey 2008) Maailmantalouden syöksykierre vuonna 2008-2009 merkitsi kysynnän laskua myös harvinaisille maametalleille. Talouden piristyessä vuonna 2010 kasvoi erityisesti autoteollisuus (joko subventioiden ansiosta tai orgaanisesti), mikä näkyi kysyntäpiikkinä harvinaisille maametalleille. (Cordier 2011)

Autoteollisuudessa satsataan tulevaisuudessa yhä enemmän sekä päästöjen minimointiin, että puhtaaseen sähköteknologiaan. Molemmat vaativat harvinaisia maametalleja, päästöjen minimointi entistä tehokkaampia ja useampia katalyysaattoreita ja kehittyvät sähköautot parempia akkuja. Molemmissa kaivataan harvinaisia maametalleja. Myös erilaisissa näytöissä käytettävien loisteaineiden kysyntä vaatii kyseisiä mineraaleja ja tarvitaanpa niitä jopa energiansäästölamppuihinkin, joiden kysyntä kasvaa voimakkaasti maailmalla. (Haavisto & Paju 2008) Ympäristöystävällisyyden korostuminen onkin merkittävä harvinaisten maametallien hintoihin ja siten myös magneettiteknologiaan vaikuttava seikka.

Edellä mainittua Kiinan linjausta vientirajoituksista voidaan puolestaan pitää protektionismin ja uusien kauppapoliittisten linjausten esiinmarssina. Yhdysvaltain halukkuus kannattamattomana pide-

tyn kaivoksen uudelleen avaamiseen omavaraisuussyistä voidaan nähdä selvänä signaalina sille, että harvinaisia maametalleja pidetään kriittisenä teknologisenä resurssina, jonka tuotantoa ja jalostusta ei haluta päästää edes ystävällismielisten liittolaisten käsiin. Tätä puolestaan voidaan pitää viitteenä harvinaisten maametallien hintakehityksestä tulevaisuudessa.

Idän ja lännen jättiläisten rauhanomainen rinnakkaiselo voi kokea kolhuja luonnonvarakilpailun edelleen kiihtyessä. Maa, jolla on hallussaan tiettyä kriittistä resurssia saa puolelleen edun tässä kilpailussa ja pakottaa muut innovoimaan kiihtyvällä tahdilla vaihtoehtoisia ratkaisuja resurssipulaan. Tällä hetkellä esimerkiksi yhdysvaltalainen General Electric kehittää nanoteknologiasta ratkaisua harvinaisten maametallien puutteeseen. Yrityksen kehittämä uusi magneettien nanorakenne voi toteutuessaan tuottaa yhtä voimakkaita magneetteja aikaisempaa pienemmillä määrillä harvinaisia maametalleja. (Dillow 2011)

Arvioita kriittisten materiaalien riittävydestä on esitetty. Tutkijoiden mukaan maailman Antimoni-varannot (Sb) kuivuvat vuosien 2020 – 2040 välillä. Antimonia käytetään strategisena mineraalina puolijohteiden valmistuksessa. Edelleen kondensaattoreiden ja vastuslaitteiden valmistuksessa käytettävä aine Tantaali (Ta) on loppumassa maailmasta vuosien 2025 – 2035 välillä. Samaan aikaan on ehtymässä myös akuissa ja pattereissa käytettävä Sinkki (Zn). (The Futurist – Outlook 2011 s. 2)

2.5 Tiekartat

Tiekartta (engl. Roadmap) on kuin valtatie kartta, jossa kuvataan, mistä tie alkaa, mihin määränpään se menee sekä mitä liittymiä ja risteyksiä matkan varrella on. Samalla tapaa esimerkiksi tieteen ja teknologian tiekartta kuvaa uusien tieteellisten edistysaskelien ja teknologioiden liittymät sekä risteykset. Tiekartta on eteenpäin katsova ja ennakoii ”polut”, jotka voivat johtaa lopulliseen tai haluttuun tavoitteeseen. Tässä mielessä tiekartta on sekä normatiivinen (ohjeellinen) työkalu että suunnittelutekniikka. (Gordon 2009)

Tiekarttojen avulla voidaan käsitellä ja jopa osittain hallita suunnitteluprosessiin liittyvää epävarmuutta, jolloin organisaation johdon ei tarvitse enää tehdä päätöksiä pelkästään satunnaisesti keräämänsä sekä hiljaisen tiedon pohjalta. Tiekartat helpottavat organisaatiota tekemään päätöksiä tulevaisuuden suunnitelmiin tosiasioihin perustuen. Tiekartat tuovat johtamiseen ja tuotekehitykseen joustavuutta ja mahdollistavat nopeatkin muutokset organisaation toiminnassa, jos esimerkiksi muutokset kysyntämarkkinoilla tällaista edellyttävät. Tiekarttojen laadinta ja käyttö organisaation johtamisessa kannustaa myös yhteistyöhön sekä organisaation sisällä että myös asiakkaiden ja tavarantoimittajien kanssa. (Alignent Software 2005)

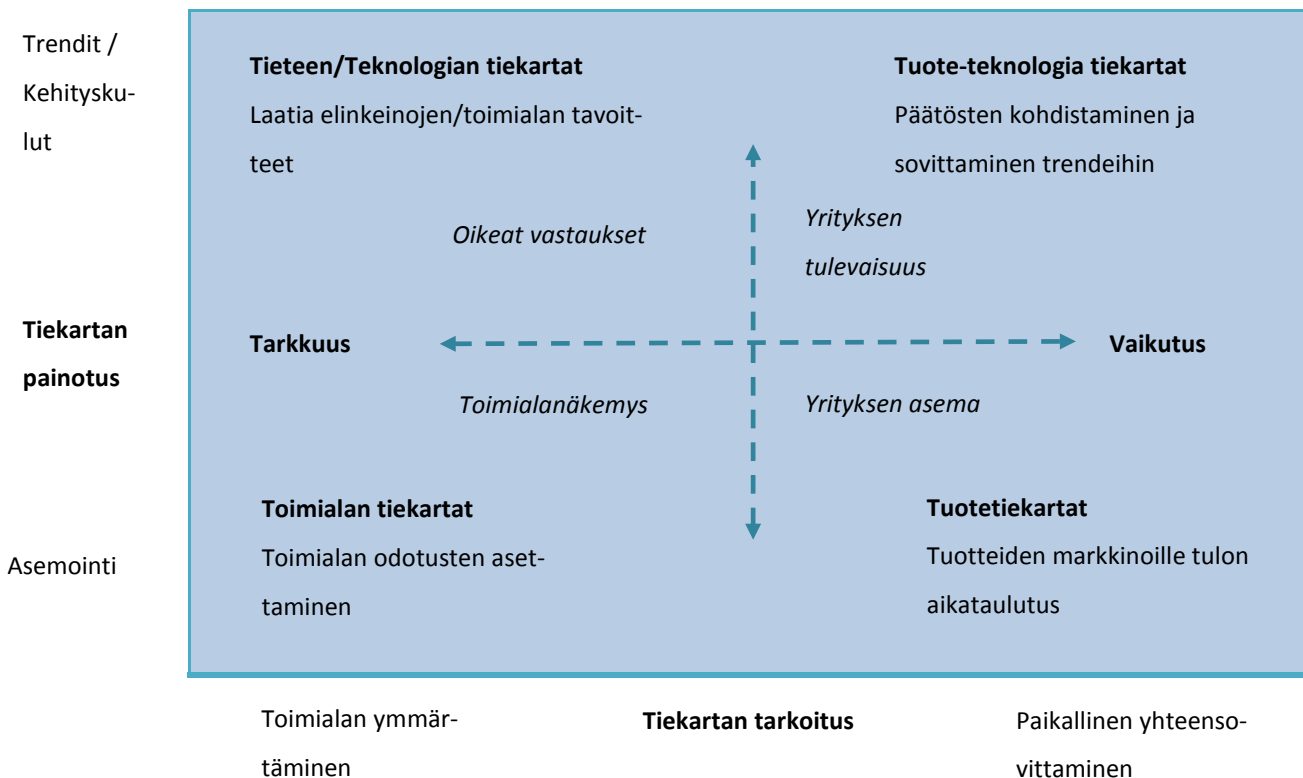
Tiekartat luovat näkyvyyttä organisaatioiden pitkän tähtäimen strategiaan suunnitelmiin ja Alignent Softwaren (2005) mukaan tiekartat:

- Tarjoavat kaikkialla organisaatiossa pääsyn reaaliaikaiseen strategiseen tietoon
- Mahdollistavat tosiasioihin perustuvat tulevaisuutta koskevat päätökset sekä läpinäkyvyttä pitkän aikavälin suunnitelmiin
- Tarjoavat jäsenyteen ja järjestelmällisen tavan havainnollistaa (visualisoida) organisaation sisäistä ja ulkoista markkinatietoa, kartoittaa teknologioita, tavarantoimittajia ja ympäristön tekijöitä ym.

➤ Tunnistavat mahdollisuuksia yhdistää teknologia uusien tuotteiden kehittämiseen

Tiekarttoja on laadittu 1970-luvulta lähtien, jolloin Motorola oli yksi ensimmäisistä yrityksistä maailmassa, jotka alkoivat käyttää tiekarttamenetelmää parantaakseen tuotekehityksensä laatua (Gindy et al. 2006). Syntymänsä jälkeen tiekarttoja on maailmassa laadittu eri alojen organisaatioissa ja joustavasti myös eri tavoitteisiin kuin sitä alun perin käytettiin, kuten innovaatiotoiminnan tukemiseen, teknologian ennakointiin, strategiaohjelmien laadintaan, toimintojen ym. kehittämiseen (esim. Phaal et al. 2004). 2000-luvun alussa yleistyi nimitys tuotteiden/teknologian tiekartta (Product/Technology Roadmap) (esim. Gindy et al. 2006).

Tiekartat voidaan esittää monilla eri tavoilla ja eri luokitteluun perustuen (Kameoka et al. 2003). Tiekartat voidaan jakaa teknologia-, toimiala-, tuote-teknologia- sekä tuotetiekarttoihin (Kappel 2001). Seuraava kuva esittää Kappelin (Kappel 2001) neljän elementin tiekarttaluokittelun mukaeltuna.



Kuva 3. Tiekarttojen luokittelu

Teknologiatiekartat voidaan luokitella myös vetokeskeisiksi "pull" ja työntökeskeisiksi "push" tiekartoiksi (Garcia 1997; Albright 2002). Työntökeskeinen tiekartta liittyy organisaation kyvykkyyksiin ja sitä käytetään tyypillisesti tutkimus- ja tuotekehityslähtöisissä ohjelmissa ja tiekartoilla osoitetaan looginen kehittämisen polku tämän hetkisestä tilanteesta eteenpäin kohti markkinoita. Vetokeskeinen tiekartta liittyy esimerkiksi markkinoiden vaatimukseen tai ajureihin, ja sitä voidaan käyttää asiakas-tarpeista lähtevässä tuotesuunnittelussa ja sen avulla voidaan tunnistaa lyhin reitti tavoitteeseen tai markkinoitavaan tuotteeseen.

Perinteisesti teknologioista laaditut tiekartat (Technology Roadmap) ovat keskittyneet yksinomaan teknologioiden kehityskulkuihin ja palvelemaan uusien tuotteiden kehittämistä. Toimintosuuntainen lähestymistapa tarkastelee teknologioiden kehityksen ohella laajemmin koko innovaatioketjua ja näin ollen ottaa huomioon myös käyttäjät, sovellukset sekä avaintoiminnot. Toimintosuuntainen lähestymistapa yhdistää teknologian työntövaikutus- ja käyttäjän vetovaikutus- lähestymistavat (Technology Push and User Pull). (Friedewald & Da Costa 2003)

Tiekartat esitetään usein graafisena monitasoisena esityksenä, jossa aika etenee x-akselin suuntaisesti ja tapahtumat tai avaintoiminnot ovat merkitty aikajanalle omille tasoilleen, nuolien kuvatessa tapahtumien ja toimintojen riippuvuussuhteita (Gindy et al. 2006). Tiekarttoihin voi sisältyä myös esimerkiksi päämääriin, tavarantoimituksiin ja resursseihin jne. liittyviä tiedon tasoja (Phaal et al. 2005). Monitasoisella tiekartalla on seuraavat ulottuvuudet (Phaal et al. 2001a):

1. Aika

- Askelten ja vaiheiden ajoitus vastaa kysymykseen milloin, "Know-when" ts. esim. milloin on odotettavissa teknologinen läpimurto tai milloin tietyt tuotteet ovat valmiita markkinoille.
- *Aikahorisontti*: lyhyt esim. e-kauppa tai ohjelmistot; pitkä esim. ilmailun tai rautateiden infrastruktuuri
- *Asteikko*: Logaritminen, jos halutaan allokoita enemmän tilaa lyhyen aikavälin asioille; Välimatka-asteikko esim. 6 kk, vuositaso, lyhyt, keskipitkä tai pitkä aikaväli
- *Tila*: Tiekartan ajallinen tila voidaan jakaa myös vision tai pitkän aikavälin sekä nykyisen tilanteen tarkastelulle, jolloin määritellään nykyisen ja tulevaisuuden tilan kuilu (gap).

2. Tasot

- Tiekartan vertikaalisen akselin suunnittelu on tärkeää, koska sen pitää sopia tietylle organisaatiolle ja käsiteltävän ongelman tarkasteluun.
- Yleisen tiekartan rakenteessa ylätaso liittyy organisaation päämäärään, tarkoitukseen tai strategiseen suuntaan, vastaten kysymykseen miksi, "Know-why". Voi pitää sisällään myös ymmärryksen sovelluksista, markkinoista, segmenteistä, kilpailijoista ym. riippuen siitä, minkä tasoisesta tiekartasta on kysymys.
- Tiekartan alin taso liittyy organisaation resursseihin, erityisesti teknologiseen osaamiseen, jota käytetään hyväksi tiekartan ylätasoon asioiden saavuttamiseksi. Alin taso vastaa kysymykseen miten, "Know-how".
- Joskus tiekartan alin taso on ns. tekemisen taso eli "To-Do"-taso, jolla määritellään mitä resursseja tai investointeja tarvitaan, mikä on toteuttamissuunnitelma ja mitkä ovat tärkeimpiä toteutettavia projekteja (Albright 2002).
- Tiekartan keskimäinen taso on tärkeä, koska se luo sillan sekä määrittelee "toimitusjärjestelmän" rakenteen päämäärien ja resurssien välillä. Keskimäinen taso vastaa kysymykseen mitä, "Know-what".

3. Selitykset ja huomautukset

- Lisätietoa tarvitaan, vaikka tiekartalla onkin tietoa tasoilla ja aikajanalla.
- Tieto tai huomautus voi liittyä sidonnaisuuteen eri toimintojen välillä tietyllä tasolla tai tasojen välillä, olla täydentävää tietoa kuten liiketoimintastrategian avainkohtien tai markkinoiden ajureiden kuvausta ym. tai olla graafinen tyyllinen korostus kuten huomautus, värikoodi, kriittisen polun kuvaus, mahdollisuus tai uhka tms.

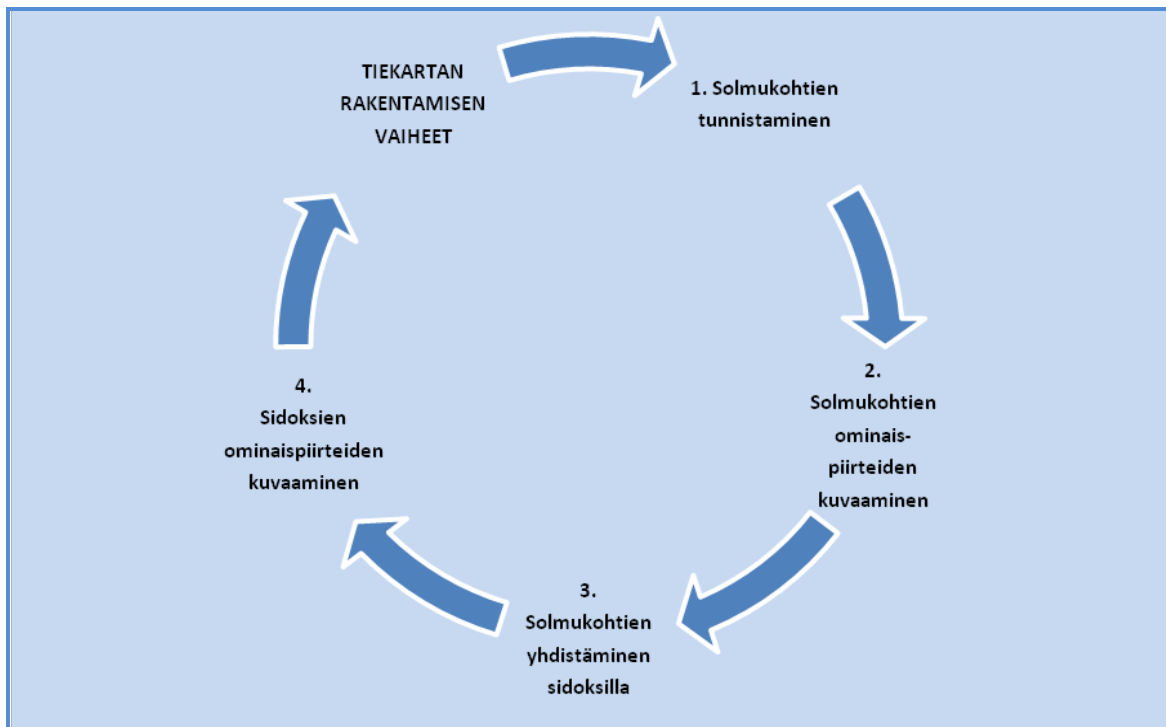
4. Prosessi

- Tiekartan etenemisen askeleet ja prosessi ovat tyypillisesti erilaisia jokaisella organisaatiolla. Sopiva prosessi riippuu monesta tekijästä kuten käytettävissä olevat resurssit (ihmiset, aika, budjetti), tiekartan päämäärä ja alue, käytettävissä oleva informaatio (markkinat, teknologia ym.) sekä muut prosessit ja johtamismenetelmät (strategia, budjetointi, uusien tuotteiden kehittäminen, projektin hallinta, markkinatutkimus jne.).

Tiekartta on voimakas ja tehokas suunnittelun työkalu ja se on erityisen arvokas ohjelmissa ja projekteissa, joissa on mm. suuri mahdollisuus epäonnistua, epäonnistumisen seuraukset ovat merkittäviä, ne aiheuttavat suuria kustannuksia, sitovat työvoimaa tai niiden ympäristövaikutukset ovat suuret. (Gordon 2009)

Tiekartta on teknologian, voimavarojen, kyvykkyyksien, tavoiteohjelmien, järjestelmien, uhkien, mahdollisuuksien ym. asioiden kehitystä ja tulevaisuuden ennakointia kuvaava visualisointi (DeGregorio 2000). Tiekartan laadintaprosessi on itsessään strategisen suunnittelun, päätöksenteon sekä ennakkoinnin prosessi, jonka aikana luodaan tiekarttaa ja myös arvioidaan tiekartan laatimisprosessia (Kostoff & Schaller 2001).

Tiekartta on kaaviokuva toisiinsa kytkeytyneistä solmukohtista, joita viivat yhdistävät (Gordon 2009). Solmukohta kuvaa merkkipaalua tai virstanpylvästä tiekartalla. Se voi olla asia, joka voidaan määritellä määrällisesti tai subjektiivisesti. Kun solmukohta on määrällinen, se voidaan määritellä jostain tietokannasta ja kun solmukohta on laadullinen, se määritellään asiantuntijamielipiteiden avulla. Tiekartan viivat, jotka yhdistävät solmukohtia, ovat tiekartan teitä itsessään ja ne voivat sisältää myös informaatiota. Tiekartan rakentamisen vaiheet ovat kuvan 2 mukaiset (Gordon 2009):



Kuva 4. Tiekartan laadinnan vaiheet

3. MAGNEETTITEKNOLOGIAN KEHITYSSUUNTIA, TRENDEJÄ JA KEHITYKSEN AJUREITA

3.1 Tulevaisuuden ennakointi ja trendit

Tulevaisuuden ennakoinnissa yhtenä keskeisenä tarkastelun lähtökohtana ja pontimena on murosajattelu. Siihen perustuen toimintaympäristön muutoksia tarkastellaan ja analysoidaan nousevien ja laskevien megatrendien ja trendien sekä idullaan olevien uusien mahdollisuuksien, heikkojen signaalien näkökulmasta. (Hietanen 2005) Magneettiteknologian ennakoinnissa on kartoitettava toimintaympäristön nykytilannetta ja tunnistettava megatrendimäisiä muutostekijöitä ja sellaisia yhteiskunnassa ilmeneviä taloudellisia, teknologisia ja ympäristöön liittyviä sekä kysyntään, kulutukseen, arkielämään ja arvoihin kytkeytyviä trendejä, jotka vaikuttavat magneettiteknologian vaihtoehtoisiin tulevaisuuksiin ja kehityssuuntiin.

Megatrendit ovat globaaleja, yleisesti tunnettuja vahvoja kehityssuuntia, joiden kulkua on vaikea nopeasti muuttaa. Megatrendit -käsitteen ja termin lanseerasi John Naisbitt (1982) jo lähes kolmekymmentä vuotta sitten. Megatrendeiksi voidaan määritellä esimerkiksi ilmastonmuutos, väestönkasvu, energiapula, globalisaatio, teknologian kehitys tai luonnon monimuotoisuuden, biodiversiteetin väheneminen (ks. esim. Kirveennummi et al. 2008).³

Megatrendit ovat kaikkialla maailmassa vaikuttavia trendejä, jotka aiheuttavat kansallisia, seudullisia, alueellisia ja paikallisia vaikutuksia ja sysäävät liikkeelle uusia trendejä, jotka voivat olla erilaisia ja keskenään ristiriitaisia ja jopa vastakkaisia. Yksi ja sama megatrendi voi aiheuttaa erilaisia ilmiöitä, kuten taloudellista kasvua tai laskua erilaisissa asioissa eri alueilla. Esimerkiksi niin sanottu Kiina-ilmiö, jossa investoinnit ja länsimainen tuotanto ja työ siirtyvät Aasian maihin aiheuttaa teollistumisessa Aasiassa ja palveluvaltaistumista länsimaissa. Muita megatrendejä ovat esimerkiksi kaupungistuminen, tiedonkulun ja liikkuvuuden nopeutuminen, monikulttuuristuminen, polarisaatio eli eriarvoistumisen kasvu, niukkuuden lisääntyminen maailmassa, vastuullisuus ja kestävä kehitys sekä myös teknologiahyppy mm. magneettiteknologian käyttöönotossa. (Ahvenainen et al. 2009)

Megatrendien ohella kiinnostavia ovat metatrendit, joista yleisimmin käytetään tutkimuksissa ja kirjallisuudessa uusien kehityssuuntien ja niistä indikoivien heikkojen signaalien käsitettä.⁴ Ne voivat syntyä kun trendille syntyy vastatrendi eli vastavoima ja tästä ristiriidasta syntyy aluksi vain heikkoina signaaleina näyttäytyviä mahdollisuuksia. Ne voivat kasvaessaan ja kehittyessään muuttaa megatren-

³ Trendit on jaoteltu joissakin selvityksissä giga-, mega- meta- ja antitrendeihin. Gigatrendit ovat laajoja ja melko hitaasti muuttuvia eräänlaisia ”perimmäisiä syitä”, jotka vaikuttavat megatrendien taustalla (Ahvenainen et al. 2009).

⁴ Metatrendeillä halutaan viitata muutokseen, joka on nousemassa jostain asiasta, ei niinkään vahvaan olemassa olevaan kehityssuuntaan.

dejä. (Ahvenainen et al. 2009). Heikkoja signaaleja määritellään tavanomaisemmin siten, että ne ovat ensioireita tai merkkejä muutoksesta, jonka vaikutus on kuitenkin vielä niin lievä, ettei sillä ole suurta merkitystä. Heikkojen signaalien tarkkailussa ja tunnistamisessa kannattaa kuitenkin pysyä valppaana. Ne saattavat kertoa lähestyvistä villoista korteista, jotka puolestaan vaikuttavat lähes ennakoimattomasti asioiden kulkuun. Heikko signaali on merkki orastavasta uudesta kehityssuunnasta. Villi kortti on harvinainen, epätodennäköinen tapahtuma, jolla toteutuessaan on merkittäviä vaikutuksia.⁵

Ennakoinnissa trendit kertovat joka tapauksessa siitä mihin suuntaan toimintaympäristö tai tietyt toimialat ovat kehittymässä. Parhaimmillaan ennakointityön tuloksena päästään tilanteeseen, jossa on tultu tietoiseksi tulevasta muutoksesta ennen kuin se on nykyisyttä. Toisinaan tulevaisuusprosessi voi olla hätkähdyttävä; kivuliaskin, koska siinä joudutaan toisinaan haastamaan nykyiset arvot, peruskomukset tai todellisuus ja tuomaan esille poikkeamia, anomaliaita. Ennakoinnissa pyritään tuomaan näkyväksi se, että yleisesti tunnetun takana on muita ilmiöitä (heikkoja signaaleja ja metatrendejä), jotka kertovat mahdollisista ja vaihtoehtoisista tulevista todellisuuksista. (Ahvenainen et al. 2009). Usein tulevaisuuden ennakointi ei ole kuitenkaan näin dramaattinen prosessi, vaan se tuo perusteltua tulevaisuustietoa päätöksenteon- ja tuotekehityksen tueksi sekä toimintastrategioiden laadintaa varten.

Seuraavaan luetteloon on kirjattu joukko magneettiklusterin kehitykseen vaikuttavia trendejä. Monien vaikutus klusteriin on epäsuora ja vaikuttaa asenteiden ja kulutustottumusten muutoksen kautta. (Hietanen et. al. 2006 ja Ahvenainen et. al. 2009):

1. Ilmastonmuutos ja muut ympäristöongelmat lisääntyvät: Kestävän kehityksen merkitys korostuu ja ympäristöliiketoiminnasta on tullut kasvuala. Hyötykäyttö, kierrätys, päästöjen alentaminen, uudistaminen ja suljettu kierto ovat päivän sanoja.

2. Globalisaatio syvenee ja maailma pienenee: Mm. asenteet, elämäntyyli, kulutustottumukset, markkinat, tieto, teknologiat, ympäristöongelmat, rahatalous, politiikka ja hallinto tulevat maailmanlaajuisiksi. Reaaliaikaisesti toimivat tieto- ja viestintäverkot ja yhteensopiva tietotekniikka tukevat globalisaation syvenemistä. Olennaista globalisaatiolle ovat globaali logistiikka, kansainväliset tuotantoverkot, erikoistuminen ja työnjako sekä tuotannon keskittyminen. Globalisaatio on muuttanut maailman pienemmäksi, mutta myös rajattommaksi (EU:n laajeneminen, fyysiset rajat madaltuvat, toimialojen sisäiset ja väliset rajat hämärtyvät, kaupankäynnin vapauttaminen).

3. Glokalisatio: rinnan globalisaation kanssa korostuu paikallisuuden merkitys ts. globalisaatio ja paikallisuus kietoutuvat yhteen (esim. paikallinen hoivapalveluyritys myy myös apuvälineitä globaalisti netin kautta)

4. Palveluvaltaistuminen: kaikki palvelualat ovat kasvualoja ja erityisesti tietointensiiviset liikelämän palvelut (KIBS) kuuluvat näihin. Tavarakaupan osuus laskee ja saattaa tulevaisuudessa olla vain noin 5-20 % tuotteisiin liittyvästä liiketoiminnasta.

5. Aineettomuuden lisääntyminen tuotannossa ja kulutuksessa: Aineettomuus kytkeytyy kestäväan kehitykseen ja ns. ekotehokkuuteen (=materiaalisiin tuotteisiin käytetään yhä vähemmän

⁵ Heikko signaali ja villi kortti eivät siis ole synonyymeja, vaikka niitä sellaisina joskus näkee käytettävän. Villi kortti -ilmiölle on olemassa samaa ilmiötä tarkoittava synonyymi "musta joutsen" (Taleb 2007).

energiaa ja materiaalia per tuote). Aineettomuutta on esim. auton valmistaminen vähemmällä materiaa- ja energiamäärällä sekä pienemmällä päästöillä.

6. Teknologioiden yhdistäminen eli konvergenssi lisääntyy: esim. mekatronikka (elektroniikka + mekaniikka), bioinformatiikka (ICT + biotekniikka), terveysteknologian laitteet kehoon (biomateriaalit + elektroniikka + viestintä).

7. Polarisaatio: Hyvinvointi ja pahoinvointi kasvavat yhtä nopeasti ja rinnakkain: rikkaat rikastuvat ja köyhät köyhtyvät, tulo- ja hyvinvointierot kasvavat teollistuneiden maiden sisällä, välillä sekä teollistuneiden että kehitysmaiden välillä, alueet eriarvoistuvat.

8. Osittain edellisestä johtuva turvallisuuden lisääntyminen: esim. terrorismi, kvrikollisuus, hakkerit, pandemiat (HIV, AIDS, lintuinfluenssa, malaria), huumeet ja päihteet, ihmisten ja alueiden syrjäytymiskehitys sekä aseelliset konfliktit. Teknologiasta haetaan usein turvaa tällaisia uhkia vastaan.

9. Yhteiskunnan mosaiikkimaistuminen: mm. etniset ryhmät, alakulttuurit, yksilöllisyyden korostuminen, uusi yhteisöllisyys ("heimot")

10. Maailman väestömäärä ikääntyy: Kehitysmaissa väestö kasvaa tasaisesti ja kehittyneissä maissa väestönkasvu pysähtyy tai väestö jopa vähenee. Samanaikaisesti väestö ikääntyy kaikkialla maailmassa. Ikääntyvällä väestöllä on taloudelliset vaikutukset: terveys-, hyvinvointi- ja sosiaalipalveluiden kysyntä kasvavat, toisaalta ikäihmiset kuluttavat eri lailla kuin ennen.

11. Kaupungistuminen: Maailmassa kaupungistumiskehitys jatkuu, teollisuusmaat (myös Suomi) ja Latinalainen Amerikka edellä ja kehitysmaat perässä. Suomi on jakaantumassa aluerakenteeltaan kolmeen osaan: suuret kaupungit, radanvarsien puutarhakaupungit (seutukuntakeskukset ympäristöineen) ja ydinmaaseutu.

12. Työn murros: esim. tietotyön ja aivotyön kasvu, pätkätyöt, mobiililyö, etätyö, uudet ammatit ja niiden yhdistelmät, joiltakin ihmisiltä työ loppuu ja toisilla työtaakka kasvaa.

13. Tieto- ja viestintäteknologian (ICT) kehityshyppäys: Läpäisevät kaikkialle ulottuvat tietoverkot, www ja Internet ovat laajasti käytössä. Langattomuus kasvaa ja palvelut siirtyvät verkkovarusteeseen (cyberspace) ulottuville ilman kaapeleita, ei pelkästään työssä, vaan jokapäiväisessä elämässämme (taskussa, autossa, salkussa, kotona tms.): laajakaistat, digitaalisuus, mobiiliverkot, ubiikkiyhteiskunta (älyarki, kaikkialla läsnä oleva teknologia), blogit, sosiaalinen media, open source, virtuaalikulttuurin kehittyminen, eBusiness verkkokauppa, tunnistin- ja anturitekniikan vallankumous.

14. Bioteknologian (Life Science) sovellusten kasvu: Bioteknologian avulla voidaan tarjota parempaa diagnostiikkaa, parempaa eläinten, kasvien ja ihmisten sairauksien hoitoa sekä helpottaa ruoan tuotantoa ja maataloutta. Bioteknologiaan kuuluvat mm.: kantasolujen geenitekniikka, gmo-ruoka, funktionaaliset elintarvikkeet, kloonaus, synteettinen biotekniikka (biomolekyylit ja -kalvot jne.), biomateriaalit ja pinnat. ICT:n, elektroniikan ja nanotekniikan kehitys tukevat myös biotekniikan kehitystä: bioinformatiikka (ICT + biotekniikka), terveystekniikan laitteet kehoon (biomateriaalit + elektroniikka + viestintä).

15. Automaation ja robotiikan eteneminen: Teknisen kehityksen myötä automaatio etenee edelleen. Toistoon perustuvat ihmistyövoimalla tehtävät työvaiheet vähenevät ja robotit hoitavat nämä

tehtävät (teollisuusrobotit). Teollisuusrobottien rinnalla yleistyvät ns. palvelurobotit helpottamaan ihmisten arjen töitä. Tällä hetkellä robotit tunnistavat rajallisesti sanoja, puhetta, ympäristöjä sekä kasvoja ja liikkuvat. Tulossa ovat robotit, jotka nykyisten ominaisuuksien lisäksi aistivat sekä omaavat tunteita ja voivat tehdä erilaisia kodin töitä (siivous, ruoanlaitto, lastenhoito ym.) sekä hoivapalveluita. Robotteja voidaan käyttää vaikka sotilaina, palomiehinä ym.

16. Nanoteknologia (nanometri= millimetrin miljoonasosa): Miniatyrisointi lisääntyy. Kaikki laitteet pienenevät säilyttäen ominaisuutensa kompaktimmassa muodossa. Nanoteknologiaa voidaan soveltaa melkein millä teollisuuden alalla tahansa. Nanoteknologiaa voidaan hyödyntää ja käyttää ja osin jo käytetäänkin mm. älykkäissä (elintarvike) pakkausmateriaaleissa, lasin värjäämiseen, tekstiilien käsittelemiseen antibakteeriseksi, betonin, maalien ja pinnoitteiden lujuuden lisäämiseksi, autojen korirakenteiden keventämisessä, sähkönjohtavuuden parantamiseksi, pesu- ja puhdistusaineissa, aurinko- ja kasvovoiteissa sekä elintarvikkeissa vitamiinien imeytymisen parantamiseksi.

17. Kulttuurin merkitys kasvaa: Kulttuuriosaamisen tarve kasvaa edelleen, vaikka tarinat, brändit, sisältötuotanto ja palvelut sekä viihdeteollisuus ovatkin jo tätä päivää. Materiaalisiin tuotteisiin perustuvat tuotantokustannukset korvautuvat yhä enemmän mm. tarinaan liittyvillä kuluilla. Brändien merkitys kansainvälisessä toiminnassa vahvistuu ja uskottavuus on tärkeä argumentti tulevaisuudessa. Edelleen maapallon muuttoliike lähentää eritaustaisia ihmisiä, mikä lisää tarvetta ymmärtää toisia kulttuureja ja olla suvaitsevainen erilaisuutta kohtaan (toisaalta rasismi lisääntyy).

18. Maailmantalouden painopiste siirtyy BRIC maihin (sekä Afrikkaan): Maailmantalouden painopisteen siirtyminen Euroopasta ja Yhdysvalloista ns. BRIC-maihin on jatkoa globalisaatiolle. BRIC-maat ovat nopeasti kehittyvistä maista suurimmat eli Brasilia, Venäjä, Intia ja Kiina (Lyhenne BRIC tulee niiden englanninkielisten nimien alkukirjaimista).

19. Niukentuminen: Niukentuminen: = Niukat luonnonvarat + teollisen toiminnan kasvu + väestönkasvu, jolloin maailmassa on yhä vähemmän luonnonvaroja käytettävissä henkilöä kohden, lisäksi luonnonvarat kallistuvat. Top-eleven niukentuvat resurssit (=resurssit, joissa epätasa-arvo kasvaa globaalisti): vesi, energia, puhdas ympäristö, terveys, maa, ruoka, metsät, opetus ja oppiminen, teknologia, dialogi ja hyvä hallinto.

3.2 Magneettiklusterille merkittävät trendit ja kehityskulut

Magneettiteknologiassa tämän päivän sekä tulevaisuuden tutkimus- ja kehittämisaiheita Jokisen ja Arkkion (2004) mukaan ovat:

- Korkean lämpötilan suprajohteet ja sovellukset
- Kestomagneettien uudet sovellukset
- Pulverimetallurgiset sovellukset kuten esimerkiksi kolmiulotteisen magneettivuon kulkuun suunnan mahdollistavat rautapulverista valmistetut magneettisydämet sekä kolmiulotteisuutta hyödyntävien uusien sähkömagneettisten ratkaisujen kehittäminen
- Suurnopeussähkökoneet
- Hitaasti pyörivät sähkökoneet esim. tuulivoimaloiden generaattoreihin ja laivojen potkureihin

- Magneettilaakerit esimerkiksi lentokoneiden suihkumoottoreihin tai tiloihin, joissa laakereiden rasvoista ja öljyistä on suurta haittaa. Magneettilaakereita eli magneettista leijuntaa voidaan käyttää myös junissa sekä erilaisissa valmistusprosesseissa kuljetushihnojen tilalla.
- Suunnittelutyövälineiden kehittäminen mallinnukseen, simulointiin ja optimointiin:
 - Magneettipiirien suunnitteluun
 - Lujuuslaskentaan
 - Häviöiden laskemiseksi
 - Hystereesisilmukoiden kuvaamiseksi
 - Magnetoitumisen mallintamiseksi
 - Magneettisten komponenttien suurtaajuusmallinnukseen, johon voidaan yhdistää ongelmia ratkaisevia ohjelmistoja
- Kunnonvalvonnan sensorien ym. laitteiden kehittäminen alkavien vikojen havaitsemiseksi
- Energiavarastojen kehittäminen esimerkiksi suprajohtavat magneettivarastot sekä superkondensaattorit
- Mikrosähkömekaaniset järjestelmät (MEMS)

Tulevaisuudessa mielenkiintoisia magneettiteknologian kehityssuuntia edellisen luettelon ohella ovat myös mm. uusien materiaalien sekä nanomittakaavan hyödyntäminen magneettien käytössä ja valmistuksessa, nanokoon ja suprajohtavuuden sovellusten kehittäminen ja yhdistäminen sekä ei-magneettisten materiaalien tutkimus ja kehitys. Magnetismia tullaan myös hyödyntämään enenevässä määrin elektroniikassa, optiikassa, biologiassa, materiaalien valmistuksessa sekä uusissa hybriditeknologioissa (teknologioiden konvergensi). (Coey 2001)

Lisäksi tulevaisuuden kaksi merkittävää insinööritieteiden haastetta ovat energian tuottaminen kustannustehokkaasti ja ympäristöystävällisesti sekä liikenteen energiakysymysten ratkaiseminen. Energiaongelmien ratkaisemisessa tulee panostaa fuusioenergiakysymyksiin, uusiutuviin energianlähteisiin kuten aurinko-, tuuli- ja vuorovesienergiaan, hajautetun energian tuotantoon, sähköenergian varastointiin, vetyteknologiaan, häviöiden pienentämiseen sähkön ja käyttöveden tuotannossa, jake- lussa ja käytössä. Energiakysymysten ratkaisemisessa magneettikentät ovat avainasemassa. (Jokinen & Arkkio 2004)

Energiateollisuudessa viimeaikaisia tutkimusalueita ovat tuuli- ja dieselvoimaloiden energian tuottamiseen ja sähkön varastointiin liittyvät kysymykset. Tuulivoimaloiden valmistustekniikka on kehittynyt paljon viime aikoina ja laitosten painot ovat alentuneet ja luotettavuus parantunut. Suomessa on hyvä alan osaaminen erityisesti isojen tuuligeneraattoreiden valmistuksessa ja tähän kannattaa meillä panostaa, vaikka parantamisen varaakin on esimerkiksi generaattoreiden hyötysuhteen, luotettavuuden, huollettavuuden, generaattorin tukirakenteen sekä myllyn kokonaisuuden optimoinnin osalta. (Jokinen & Arkkio 2004)

Laitteistojen saaminen tärinättömäksi on ollut yksi ongelma. Tärinänvaimennuksen tutkimuksen mukaan magneettilaakerit voivat olla eräs ratkaisu tärinäongelmaan sillä on havaittu, että magneettilaakereilla saavutetaan pienelläkin voimalla suuri vaimennusvaikutus. Myös magneettiset öljyt ovat mielenkiintoisia sillä niillä aikaansaadaan tiivys ilman tiivisteitä. (Jokinen & Arkkio 2004)

Kehityskohteita löytyy myös robotiikasta, jossa olisi tarvetta kehittää mm. etäohjattuja robotteja, jotka voisivat toimia paikoissa, joihin ihmisellä on vaikea päästä tai vaarallista mennä esimerkiksi

myrkyllisten kaasujen tai säteilyn takia. Uutta konetyyppiä ns. vierivää konetta pidetään myös mielenkiintoisena, mutta ehkä vielä liian eksoottisena kehittämiskohteena. Vierivässä koneessa voitaisiin soveltaa useampisylinteristä mäntäsähkömoottoria riittävän tasaisen käynnin aikaansaamiseksi. (Jokinen & Arkkio 2004)

Jokisen ja Arkkion (2004) mukaan kestopagneettien käytössä mm. seuraavat asiat vaativat tutkimusta:

- Magneettien valmistus- ja pinnoitusmenetelmien kehittäminen
 - Pulveriteknologian hyödyntäminen magneettisydänten valmistuksessa
 - Magneettien uudet pinnoitusmenetelmät
 - Magneettipiirien kokoonpanon kehittäminen kuten magneettien liimaus ja edullisten rakenteiden kehittäminen
 - Kestomagneettien edullisen ja yksinkertaisen korroosiosuojauksen kehittäminen
 - Kestomagneettien kestävyuden kehittäminen suurnopeuskonekäyttöä varten
- Kestomagneettien käsittely
 - käsittelyn automatisointi
 - testaus
 - kuljetus sekä magnetoituna että magnetoimattomana
- Kestomagneettien ikääntymisen selvittäminen

EU:n direktiiveillä on myös vaikutusta magneettien hyväksikäyttöön sekä tuotekehitykseen. Seuraavat kolme direktiiviä ovat keskiössä (Jokinen & Arkkio 2004):

- 1. End User Product (EUP) on direktiivi**, joka koskee kaikkia energialla toimivia laitteita. Laitteiden suunnittelussa on direktiivin mukaan otettava huomioon laitteen koko elinkaari (myös romutus on suunniteltava) sen ympäristövaikutukset ja hyötysuhde. Direktiivin mukaan yritysten on tehtävä tuotteilleen elinkaarianalyysi.
- 2. Electromagnetic Compatible (EMC) direktiivin** mukaan sähkölaitteet eivät saa häiritä liikaa muita sähkölaitteita ja toisaalta sähkölaitteiden tulee sietää kohtuullisesti muiden laitteiden aiheuttamaa häiriötasoa. Tämän direktiivin täyttäminen on vaikeutunut mm. piikarbidipuolijohteilla, joilla sähkömagneettiset häiriöt sähkölaitteissa ovat isompia.
- 3. Minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (electromagnetic fields)** koskee sähkö- ja magneetikenttien ihmisille aiheuttamia terveysvaikutuksia, joille ei aiemmin ole asetettu terveysrajoja.

4. MAGNEETTITEKNOLOGIAN SOVELLUSALUEITA

Magnetismia hyödynnetään erilaisissa materiaaleissa ja monissa koneissa sekä laitteissa kuten mm. sähkökoneissa, muuntajissa, kuristimissa, matkapuhelimissa, suurnopeusmoottoreissa, magneettilaa- kereissa, hisseissä, nostureissa, laivojen potkurikoneistoissa, paperikoneissa, tuulivoimaloissa, diesel- voimalaitoksissa, magneettikuvauslaitteissa. Kaikissa näissä koneissa ja laitteissa koko koneen tai jon- kin sen osan toiminta perustuu magneettikentän hyväksikäyttöön. (Jokinen & Arkkio 2004)

Tässä luvussa tarkastellaan magneettiteknologiaa seuraavien sovellusalueiden kautta: energia, liikenne, terveysteknologia, sensorit ja järjestelmät, kunnonvalvonta, materiaalit ja tuotannon proses- sit, mallinnus- ja simulointi sekä asuminen.

4.1 Energia

Vaihtoehtoiset energiamuodot ohittavat tutkijoiden mukaan fossiiliset polttoaineet vuoteen 2020 mennessä. Tämä tulee tapahtumaan siitäkin huolimatta, että Kiina ja Intia säilyttävät hiilivoimalansa. Öljyn hinnan nousua hillitsee kasvava fossiilisten polttoaineiden kilpailu vaihtoehtoisten energiamuo- tojen kanssa. Esimerkiksi ydinvoima kasvaa maailmalla nopeasti. Ydinvoima voi pian päihittää öljyn energiantuotannossa. Sähkön kulutus kasvaa huimasti tulevina vuosina, mutta millä keinoin sähköä tullaan tuottamaan? Fossiiliset polttoaineet aiheuttavat 90 prosenttia hiilidioksidipäästöistä, aurinko- sekä tuulivoima puolestaan eivät ole vielä riittävän luotettavia perusvoiman tuottajina, joten ydinvoi- ma elää uutta renessanssiaan. Arvioidaan, että ydinvoimalla tuotetaan lähes 30 % maailman sähköstä vuoteen 2030 mennessä, kun ydinvoiman osuus vuonna 2010 oli noin 16 prosenttia. Samoin aurin- koenergian, geotermisen lämmön, tuulivoiman sekä merien aaltoenergian lisääntyvä käyttö vähentävät riippuvuutta öljystä. Vuoteen 2060 mennessä saasteeton vetyyn perustuva energiajärjestelmä voi olla jo täyskäytössä, joskin huomattavilla kustannuksilla. (The Futurist – Outlook 2011 s. 4)

Maailmassa oli vuonna 2007 yhteensä 439 käynnissä olevaa ydinreaktoria tuottamassa sähköä. Samaan aikaan oli suunnitteilla 112 uutta reaktoria 25 maahan. Tutkijoiden mukaan tarvittaisiin vä- hintään 2000 uutta reaktoria, jotta hiilidioksidipäästöjä voitaisiin alentaa merkittävästi. Näyttää siltä, että uusi ydinvoima ei riitä kasvihuonekaasupäästöjen alentamistavoitteissa. Tarvitaan myös päästöt- tömiä energiavaihtoehtoja. Esimerkiksi aurinkoenergiaa voidaan muutaman vuoden kuluttua saada fotosähköisistä koristehileistä, joita on upotettu tekstiileihin ja vaatteisiin. Tällaiset pienet ”hileken- not” tuottavat mobiilia aurinkosähköä halvalla, koska niitä voidaan valmistaa tavanomaisilla MEMS- tekniikoilla (Microelectromechanical system). (The Futurist – Outlook 2011 s. 4)

Ydinvoimaa kehitetään (kehitettiin ainakin ennen Fukushima onnettomuutta, toim. huom.) voimakkaasti myös Japanissa. Sikäläiset tiedemiehet ovat suunnitelleet ydinvoimalan, jossa mekaanis- ten sauvojen sijasta reaktoria säättävät nesteet ja kaasut. Tutkijoiden mukaan tällainen voimala voi toimia automaattisesti jopa kymmenen vuotta ja sitä on miltei mahdotonta saada hajalle. Salaisuutena

on kaikkien liikkuvien ja pyörivien osien puuttuminen. Voimalassa tavallisen sähkögeneraattorin korvaa lämpösähköelementti, joka muistuttaa aurinkokennoa, mutta valon sijasta kenno muuttaa lämpöä sähköksi. Reaktorista lämmön elementteihin tuo nestemäinen metalli, jota pumpataan magnetohydrodynaamisella pumpulla. (Tiede 5/2010)

4.1.1 Tuulivoima

Tuulivoima on täysin päästötöntä energiaa ja monessa maassa tuulivoiman lisääminen onkin selkeä strateginen linjaus. Saksa on maailman johtava tuulivoiman tuottaja, mutta Euroopan muissakin maissa tuulivoiman lisäystavoitteet ovat suuria ja arvioidaan, että koko maailman tuulivoimakapasiteetti on lähes kaksinkertaistunut viimeisen kolmen vuoden aikana. Suuri osa tuuligeneraattoreista on vielä perinteisiä induktiogeneraattoreita, mutta uudempi ja tehokkaampi kestmagneettiteknologia valtaa markkinaosuuksia kaiken aikaa. (Prizz Uutiset 2008b)

Vuoteen 2020 mennessä EU on asettanut sitovaksi tavoitteeksi tuottaa 20 % energiasta uusiutuvilla energiamuodoilla ja tuulivoimalla 12 %. Vuoteen 2030 mennessä visioidaan tuulivoimakapasiteetin lisääntyvän sellaiseksi, että se tuottaa noin 25 % EU:n sähkön kulutuksesta. Tuulivoimalaitoksissa turbiinien lähitulevaisuuden kehitys painottuu kustannusten alentamiseen, turbiinien luotettavuuden ja käytettävyyden parantamiseen. Turbiiniteknologian (mm. vaihteellinen voimansiirto, suora voimansiirto, säätöpotkurit/lapojen kallistusjärjestelmät ym.) sekä materiaalien osalta tapahtuu koko ajan voimakasta kehitystä. Yksittäisten tuulivoimaloiden koko ja kapasiteetti kasvavat koko ajan. Keskimääräinen tuulivoimala on tällä hetkellä noin 2 – 3 MW. Prototyyppejä on myös tehty isommista jopa 7 MW tuulivoimaloista. Toisaalta myös pienten 1 – 100 kw:n tuulivoimaloiden markkinat ovat kasvussa erityisesti harvaan asutuilla ja haja-asutusalueilla. (EREC 2008 ja Halal 2011)

Tuuliturbiinien koko sekä voimaloiden tehot kasvavat kaiken aikaa. Kun vuonna 1985 turbiinin halkaisija oli 15 metriä ja teho 0,5 MW niin vuonna 2005 turbiinin halkaisija oli jo 126 metriä ja teho 5 MW. Isommassa voimalassa tuotettu sähkö on halvempaa kuin pienessä voimalassa tuotettu, joten asiakkaat haluavat ostaa mahdollisimman suuritehoisen voimalaitoksen. On arvioitu, että vuoteen 2020 mennessä tuulivoiman globaalit markkinat 7 – 10 -kertaistuvat vuoteen 2006 verrattuna ja tuulivoimasta on tulossa globaalisti merkittävin yksittäinen uuden sähkön tuotantomuoto. On arvioitu, että Euroopassa tuotetaan vuonna 2020 noin 21 % sähköntuotannosta tuulivoimalla. Tuulivoima onkin monelle EU-maalle pääasiallinen uusiutuvan sähköntuotannon lisäysmahdollisuus lähitulevaisuudessa. Suomessa tuotettiin sähköä vuonna 2007 tuulivoimalla 122 MW (vuonna 2006 noin 86 MW eli 0,2 % sähkön tuotannosta) ja arvioidaan, että vuoteen 2020 mennessä Suomen teknis-taloudellinen tuulivoimapotentiaali on vähintään 2 GW ja tehokkailla edistämiskeinoilla jopa 3 GW. (Rovio & Viljamaa 2008)

Perinteisen tuulivoimalan turbiini pysähtyy, kun tuuli laantuu. Kanadalaistutkijoiden mukaan on mahdollista rakentaa heliumilla tai muulla kaasulla täytettävä ilmapallo, jossa on turbiini ja lennättää sekä ankkuroida se vaikka 300 – 5000 metrin korkeuteen, missä on luotettavasti tuulta sähkön tuottamiseksi. Ensimmäinen 30 metriä halkaisijaltaan oleva korkean tuulen turbiini on jo kaupallisesti valmis. Suuren korkeuden tuulienergiapotentiaali arvioidaan olevan 100-kertainen maailman nykyiseen sähköntarpeeseen nähden. (Morse 2009)

Mielenkiintoinen tuulivoiman sovellus löytyy myös hankaussähkön sovelluksesta. Kiinalaiset ja yhdysvaltalaiset tutkijat esittelivät jo vuonna 2009 keinotekoisien puunlehtien, jotka tuottavat sähköä pietsosähköiseen ilmiöön perustuen. Pietsosähköä syntyy ilmiössä, jossa mekaaninen jännitys esimerkiksi puristus synnyttää aineeseen sähköisen jännitteen. Tutkijoiden mukaan on mahdollista rakentaa uudenlaisia energiametsiä pietsoilmiöön perustuen, jossa tuuli väräyttää puun lehtiä ja mekaaninen liike synnyttää tällaisessa aineessa sähköä. Voimme nähdä pietsosähköön perustuvia tuulimetsiä ja -puistoja muutaman vuosikymmenen kuluttua, aikaisemminkin, jos materiaaliteknologian edistysaskeleet sen mahdollistavat. (Tiede 5/2010)

4.1.2 Aurinkovoima

”Energiankäyttö tehostuu, kun nano tekee aurinkopaneeleista halvempia, akuista tiheämpiä ja valaisimista kylmempää”, toteaa Markko Hamilo (Hamilo 2010a/Tiede 11/2010). Perinteisesti hyvällä hyötysuhteella auringonvaloa sähköksi muuttavat aurinkokennot ovat olleet kalliita, mutta nyt nanotekniikan avulla on mahdollista valmistaa aurinkokennoja, joissa tehokkuus yhdistyy edullisiin valmistuskustannuksiin. Yhdysvaltain uusiutuvan energian laboratorion tutkijan Arthur Nozikin mukaan vuonna 2015 ns. kolmannen sukupolven aurinkokennoilla voidaan tuottaa sähköä jo niin edullisesti, että se voisi jo kilpailla fossiilisten energianlähteiden kanssa.

Nykyisin on olemassa kolme perustapaa muuttaa auringon valo sähköksi: 1) fotosähköiset tasopaneelit (Flat-panel photovoltaic (PV) systems), 2) nanoteknologiaan perustuvat ohutfilmit tai kalvot (Thin-film solar systems) sekä 3) auringonvaloa rikastavat tai keskittävät järjestelmät (Concentrator solar systems) (Higgins 2009). Aurinkoenergiateknologia kehittyy edelleen kaiken aikaa. Kehitteillä on esimerkiksi monia nanoteknologiaan liittyviä sovelluksia. Mielenkiintoinen tuote on aurinkokalvo, jota painetaan isolla printterillä alumiinikalvon päälle. Tällaisella kalvolla voidaan tulevaisuudessa päällystää vaikka omakotitalon katto ja toisella tuotteella aurinkomaalilla maalata talon seinät ja saada energiaa talteen katon ja seinien kautta. Aurinkokalvo on jo osittain tuotannossa ja sen odotetaan tulevaisuudessa tuottavan energiaa samaan hintaan kuin hiili- tai ydinvoimala. Tällä hetkellä aurinkoenergia on vielä noin 10 kertaa kalliimpaa kuin isojen voimalaitosten tuottama sähkö. (Valopilkku 2/2010)

Tällöin esimerkiksi rakennusten ikkunat voivat siirtää vastaanottamansa auringon säteilyenergian ikkunoiden reunuksille, jotka ovat valmistettu valoa sähköksi muuttavista materiaaleista. Tällä tavoin ikkunat voivat muuttaa auringonvaloa suoraan sähköenergiaksi. Ikkunoita voidaan käyttää myös yhdessä auringonvaloa rikastavien järjestelmien kanssa, jolloin näiden järjestelmien energiatehokkuus kasvaa jopa 50 prosenttia. Auringonvaloa rikastavia kohteita rakennuksissa ikkunoiden ohella ovat myös katot, seinät sekä muut rakennelmat. Tutkijoiden mukaan tällaisia järjestelmiä, jotka hyödyntävät esimerkiksi toimistorakennusten isoja ikkunoita, voi tulla markkinoille jo kolmen vuoden kuluessa. (Higgins 2009)

Tasopaneelit on valmistettu piimateriaalista ja ne muuttavat auringonvalon suoraan sähköenergiaksi 15 – 20 prosentin hyötysuhteella. Ohutkalvojärjestelmät valmistetaan nanotekniikalla hyvin ohuista, auringonvaloa sähköksi muuttavista kalvoista, joiden alla on usein joustavaa metallia. Ohutkalvojärjestelmät ovat halvempia valmistaa, ne tarvitsevat vähemmän harvinaisia valmistusmateriaaleja, ne ovat helpompi asentaa paikoilleen sekä tarvitsevat vähemmän tilaa kuin tasopaneelit. Ohutkalvojärjestelmät ovat hyötysuhteeltaan jo nyt samanveroisia kuin tasopaneelit, mutta hinnaltaan vain 20

% tasopaneelien hinnasta. Tulevaisuudessa ohutkalvojen hyötysuhde tulee nousemaan ja sähköenergian lähteenä ohutkalvot tulevat saavuttamaan hiilivoimasähkön tuotannon. Auringonvaloa rikastavia järjestelmiä on kahdentyyppisiä. Ensimmäinen perustuu lämpöä käyttävään auringonvalon rikastukseen, jossa auringon säteitä suunnataan esimerkiksi peilien avulla vesisäiliössä olevaan veteen, joka kuumuudesta höyrystyy ja pyörittää sähköä tuottavaa generaattoria tai turbiinia. Toisen tyyppinen auringonvaloa rikastava järjestelmä kerää tai suuntaa auringon säteitä fotosähköiseen kennostoon (Concentrator photovoltaic (PV), joka suoraan muuttaa auringonvalon sähköksi. Jälkimmäisen tyyppinen ratkaisu on halvempi ja vähemmän tilaa vievä kuin vettä apuna käyttävä järjestelmä. (Higgins 2009)

Auringonvaloa rikastavia järjestelmiä voidaan rakentaa myös linssien avulla, jotka kohdistavat auringon valon lämmittämään pieniä postimerkin kokoisia aurinkosiruja. Auringonvaloa rikastavat järjestelmät kuumentavat perinteistä aurinkokennoa, jolloin syntyy kennon materiaalien sulamisvaara. IBM on kehittänyt tavan jäähdyttää aurinkokennoa, jotta ne voivat kestää korkeata kuumuutta. Menetelmä on sama kuin tietokoneiden mikrosirujen jäähdytyksessä käytetty. (Higgins 2009)

Yhdysvaltalaiset MIT:n tutkijat ovat kehittäneet aurinko- sekä polttokennon toiminnat yhdistävän prosessin, jossa aurinkoenergialla saatua sähköä voidaan varastoida polttokennoihin myöhempää käyttöä varten esimerkiksi pilvisten päivien tai yön varalta. Prosessin teki mahdolliseksi sopivan katalyytin kehittäminen ja siinä kotien päivällä keräämästä aurinkosähköstä osa käytetään erottamaan vedestä vetyä ja happea varastoitavaksi ja esimerkiksi yöllä, kun aurinkokennot eivät ole toiminnassa, varastoitu vety ja happi voidaan yhdistää polttokennossa tuottamaan sähköenergiaa kodin tarpeisiin. Tutkijoiden mukaan tämä teknologia on käytössä kodeissa kymmenen vuoden kuluessa. (Higgins 2009)

Usko aurinkoenergian potentiaaliin on siis kaiken kaikkiaan hyvin suuri. Ikuisesta auringonpisteestä saataisiin energiaa 24/7, mutta pilvet, pöly ja hiukkaset sekä yön pimeys haittaavat maanpäällisten aurinkokennojen toiminta-aikaa. Maan kiertoradalle lähetetyt aurinkokennot voisivat tuottaa aurinkoenergiaa jatkuvasti 24 tuntia päivässä ja energia voitaisiin siirtää radioaalloilla maahan. NASA ja USA:n energiaministeriö on panostanut asiaan voimakkaasti ja teknisesti aurinkokennojen lähettäminen maan kiertoradalle on mahdollista ja aikomuksenakin vuonna 2016, mutta kilpailukykyinen energiamuoto se ei vielä pitkään aikaan ole. (Morse 2009)

4.1.3 Vesivoima

Pienet, enintään 10 megavatin vesivoimalat voivat olla lähitulevaisuudessa yksi kustannustehokkaimista tavoista tuottaa sähköä, sillä niillä on pitkä käyttöikä ja suhteellisen alhaiset käyttö- ja huoltokustannukset. Pienten vesivoimalaitosten määrä tulee kasvamaan vuoteen 2020 mennessä, osittain hallinnollisten ja ympäristöllisten esteiden poistumisen vuoksi ja osittain uusien kestopagneetteja käyttävien generaattoreiden kehityksen myötä. Uudet pienet vesivoimalaitokset ovat suunniteltu yhdistettäväksi suoraan sähköverkkoon joko suoraan tai taajuusmuuntajien avulla. (EREC 2008)

Energiantuotantoon erikoistunut ruotsalainen Minesto Ab on kehittänyt vedenalaisen ”leijaturbiinin”, jossa vuorovesien liike työntyy leijaa vasten ja liikuttaa sitä sivulta toiselle veden työntyessä leijan turbiinin lävitse. Tämä Deep Green-niminen energialaitos käyttää hyväkseen vuorovesien liikkeitä tuottamaan sähköä. Pohjaan ankkuroituja vaijerien varassa liikkuvia leijoja kokeillaan Pohjois-

Irlannin vesillä ja tutkijoiden mukaan laite soveltuu 60 – 150 metriä syviin rannikkovesiin. Laite on helppo sekä asentaa että ylläpitää ja se on pieni kooltaan. Laite tuottaa 0,5 MW sähköenergiaa, toimii vaihteettomasti ja se on toimintakelpoinen pienemmillä virtauksilla kuin muut tunnetut vuorovesivoiman teknologiat. Jos kokeilut onnistuvat, Minesto suunnittelee tuottavansa vuoteen 2020 mennessä Iso-Britannian rannikolinjalla toimivien leijojen avulla sähköenergiaa jopa 530 GWh, joka vastaa noin 260 000 asukkaan kaupungin sähköntarvetta vuodessa. (Minesto 2010)

Ruotsalaisen Mineston ohella ainakin muutama tusina yrityksiä on kehittämässä vuorovesi- tai aaltoenergiaratkaisuja. Muun muassa Scotland´ s Pelamis Wave Power-niminen yritys on kehittänyt merien aaltoenergiaa hyödyntävän ”aaltofarmin”, joka koostuu 6 -7 metriä halkaisijaltaan olevista putkimaisista koneista, joista jokainen voi tuottaa sähköenergiaa jopa 500 taloudelle. Laitteita kokeillaan Portugalin rannikolla. Vaikka aalto- ja vuorovesienergia ei vielä ole kilpailukykyistä, ovat niiden markkinat kasvamassa jopa 100-kertaiseksi seuraavan viiden vuoden aikana. (Morse 2009)

4.1.4 Bio- ja geoenergia

Geoterminen lämpö tarjoaa huikeita mahdollisuuksia tuottaa energiaa. Perinteiset geotermiset voimalat ottavat maan lämpöä läheltä maan pintaa. Parannetut geotermiset järjestelmät ja voimalaitokset voivat tuottaa maan lämpöä jopa kilometrien syvyydestä ruiskuttamalla porattuun reikään vettä ja lämmenneen veden avulla saada lämpö talteen. Australialainen Geodynamics odottaa saavansa käyttöön yhden megawatin voimalan 2010-luvun alkupuolella. Yhdysvaltain energiaministeriön mukaan jo nykyisen geotermisen teknologian parannuksilla geoterminen lämpö on kestävä kehityksen mukainen taloudellinen energianlähde. (Morse 2009)

Energiaa saadaan myös biopolttoaineista, joita tehdään esimerkiksi kasvien öljystä. Biopolttoaineiden valmistusprosessi kasviöljyistä koostuu monivaiheisista korjuu- ja jalostusprosesseista. Tutkijoiden mukaan geenimanipuloiduista levistä voidaan prosessoida helpommin biopolttoaineita. Leväpolttoaineita voidaan jo valmistaa, mutta ei riittävän taloudellisesti. Monet avaruus-, ilmailu- ja öljyalan sekä muiden alojen yrityksiä investoivat tällä hetkellä tähän kohteeseen isoja summia. (Morse 2009) Biomassan jalostuksessa on monia alueita, jossa magneettitekniologiaa voidaan laajalti soveltaa vuoteen 2020 mennessä (EREC 2008). Tällaisia ovat mm.:

- Pellettien tuotantolaitosten laitteet ja koneet, erityisesti polttimot, lämmitys- tai höyrykattilat sekä uunit
- Yhdistetyt lämmön ja energian tuotantolaitokset (CHP), jotka hyödyntävät erityisesti kuumennettua/höyrytettyä biomassaa. Keskikokoiset 400 kW:sta 4 MW:tiin teholtaan olevat CHP-höyryturbiinivoimalat ovat tällä hetkellä yleisesti käytössä. Pienet 1 – 10 kW tuotantolaitokset ovat juuri tulleet markkinoille ja kokoluokan 100 kW ja 500 kW laitokset ovat tulossa markkinoille lähivuosina.
- Biojalostamoiden koneet ja laitteet, joilla valmistetaan biomassan eri jakeista erilaisia tuotteita

4.1.5 Energian varastointi

Magneettiteknologiakeskuksessa käynnissä olevassa hankkeessa kehitetään suprajohtavaa energiavarastoa (SMES) sekä kootaan energiavarastolle kaupallista valmistusketjua. SMES:än etuna muihin tekniikoihin on, että SMES kykenee varastoimaan ja luovuttamaan suuria energiamääriä hyvin nopeasti, minkä vuoksi se soveltuu hyvin tasaamaan kuormitushuippuja erilaisissa kohteissa. (Prizz Uutiset 2009)

MIT:n kehittämä aurinko- ja polttokennon yhdistävä prosessi mahdollistaa sen, että tulevaisuudessa tarvitaan ehkä vähemmän isoja sähkölaitoksia kasvavaan sähkön kysyntään. Tällöin kotitaloudet voivat myydä varastoimansa ylimääräisen aurinkosähköenergian kansalliseen tai paikalliseen sähköverkkoon. (Higgins 2009).

4.2 Liikenne

Yhdysvallat saattaa tutkijoiden mukaan siirtyä kokonaan polttomoottorikäyttöisistä ajoneuvoista luotettaviin, kestäviin ja vähemmän huoltoa tarvitseviin sähköajoneuvoihin vuoteen 2050 mennessä. Yleisesti siirtyminen sähköajoneuvoihin ei ratkaise maailman energiaongelmia, vaikka tämä vähentääkin hiilidioksidipäästöjä. (The Futurist – Outlook 2011 s. 4) Sähköautojen osuus automarkkinoista on vielä minimaalisen pieni, mutta autoteollisuus panostaa niiden kehittämiseen laajalla rintamalla. Laddattavat hybridautot yleistyvät ensin ja myöhemmin sähköautot valtaavat markkinat. Sähköautojen tuleminen ja laaja suosio vaativat kuitenkin verokannustimia. Sähköautot tarvitsevat akkuja ja sähköautojen iso tuleminen aiheuttaa haasteita akkuteknologiassa. Akkuja tarvitaan paljon, mutta akkuteknologiassa on paljon erilaisia kehitysnäkymiä. Yksi mahdollisuus on käyttää hyväksi nanoteknologiaa ja yhdistää esimerkiksi nanohiiliputkia ja selluloosaa, josta syntyy akkuina toimivia paperiarkkeja. (Valopilkku 2/2010)

40 vuoden kuluttua henkilöautoliikenne on Suomessakin todennäköisesti siirtynyt käyttämään yksinomaan sähköä ja muuallakin yhteiskunnassa fossiiliset polttoaineet ovat korvautuneet sähköllä ja biopolttoaineilla. Suomi on juuri sopivan kokoinen markkina-alue sähköautojen testaukseen. Lisäksi meiltä löytyy runsaasti sähköautojen tarvitsemia sähköpistokkeita eli lämmitystolppia. Muutaman vuoden kuluttua Suomessa otetaan käyttöön ensimmäisenä maailmassa älykäs sähköverkko, jonka avulla saadaan reaaliaikaista tietoa sähkönkulutuksesta jopa tunnin tarkkuudella. Älykkään sähköverkon tuella voivat asiakkaat parantaa oman sähkönkulutuksensa energiatehokkuuttaan. (Valopilkku 2/2010)

Kasvihuonekaasujen sekä energian kulutuksen vähentämistavoite edesauttavat sähkökäyttöisten autojen kehitystä. Sähköautot eivät vielä ole riittävän kilpailukykyisiä polttomoottoriautojen kanssa, mutta soveltuvat ensin esimerkiksi kohtuullisten matkojen kaupunkiajoneuvoihin. Ennen sähköautojen valtakautta yleistyvät kuitenkin hybridautot, joissa on polttomoottori-generaattori sähkön tuottajana ja sähkömoottori vetomoottorina. Hybridautot eivät korkean hintansa takia kuitenkaan saavuta kovinkaan suurta markkinaosuutta. Polttokennoautoja saamme vielä odottaa tovin, sillä niiden kehitystyö vie aikaa ja arvioiden mukaan polttokennoautot yleistyvät vasta 2030-luvulla. (Jokinen & Arkio 2004) TechCast:in asiantuntijaneelin mukaan ”vihreiden autojen” esiinmarssi ajoittuu vuosille

2013 – 2018, jolloin hybridi-, sähkö- sekä polttokennoautot saavuttavat 30 % markkinaosuuden. Lisäksi autojen älykkyys lisääntyy huomasti ja autot voivat jopa ajaa ilman kuljettajan puuttumista asiaan. (Halal 2009)

Autot muuttuvat vähitellen sähkökäyttöisiksi sillä akkuautoa ei pidetä ratkaisuna, ei myöskään hybridiautoa. Kevyttä ja suurienergistä akkua ei ole saatu kehitettyä. Hybridiauto puolestaan on kaksinkertaisen koneiston takia kallis, eikä siitä tule yleiskäyttöistä autoa. Jos polttokenno saadaan tulevaisuudessa halvaksi ja luotettavaksi, syrjäyttää se muut ratkaisut. Liikenteen energiaongelman ratkaisemisessa riittää tutkijoilla haasteita. Tavallisen polttomoottoriautojen sähkönkulutus on kasvanut vuosi vuodelta. Autossa on kymmenittäin sähkömoottoreita ja -laitteita kuten latausgeneraattori, käynnistysmoottori, tuulilasin pyyhkimet, sivulasien lasku- ja nostomoottorit sekä sivupeilien säätölaitteet ja lisää sähkömekaanisia laitteita kehitellään jatkuvasti. (Jokinen & Arkkio 2004) Tutkijat ovat jo valmistaneet lähes jatkuvaan liikkeeseen kykenevän sähköauton prototyypin, jossa auton osat varastoivat ja vapauttavat sähköä tarpeen mukaan. Prototyyppi on rakennettu kevyestä komposiittimateriaalista ja autolla on mahdollista matkustaa pidempiä matkoja lataamatta (The Futurist – Outlook 2011 s. 4).

Shanghai Automotive Industry Corporation on esitellyt Shanghain Expossa 2010 uudenlaisen autokonseptin, joka toimisi kuten kasvi, imien hiilidioksidia ja tuottaen fotosynteesillä happea. Autokonseptin nimi on mandariinin kiinaksi YeZ (lausutaan yea-zi), joka tarkoittaa lehteä. Auto saisi energiaa katolla olevilla aurinkopaneeleilla, pienillä pyörien tuuliturbiineilla sekä osittain orgaanisen metallikuoren imiessä hiilidioksidia ja vettä ilmasta. Kemiallisten reaktioiden kautta auto tuottaisi energiaa, joka sitten varastoitaisiin auton litium-ioni akkuihin. Auto on kaksipaikkainen ja sen katto on lehden muotoinen. Esittelijöiden mukaan saamme kuitenkin odottaa fotosynteesiautoa vielä 20 vuotta. (Foo 2010)

Myös laivojen voimansiirto siirtyy yhä enemmän sähköiseksi. Tähän on useita syitä mm. laivan ohjattavuus, luotettavuus ja käytettävyys paranevat. Laivojen moottoreiden ja generaattoreiden tehontiheyttä tulee nostaa ja kokoa saada pienemmäksi. Yksi mahdollisuus tässä on käyttää tehontiheiden nostossa suprajohdavia sähkökoneita. (Jokinen & Arkkio 2004) Juniin puolestaan voidaan soveltaa suprajohdteita. Näyttävimpiä suprajohdesovelluksia ovat ns. levitoivat junat tai leijujunat, joiksi niitä myös kutsutaan. Levitoiva juna voidaan toteuttaa myös tavallisella sähkömagneetilla, kuten Saksan leijujuna, mutta suprajohdteita magneetti on siitä hyvä, että siihen ei tarvitse lisätä virtaa. Juna nousee ilmaan, kun juna kulkee riittävällä nopeudella (noin 100 km/h), koska junarata on johtava ja nopeuden ansiosta rataa indusoituu sähkövirta, joka synnyttää poistovoiman. Leijujuna voi kulkea lähes yhtä lujaa kuin lentokone, jopa 550 kilometriä tunnissa, eikä se tuota kasvihuonekaasuja. (Tähtinen 2007)

4.3 Terveysteknologia

Terveysteknologian tulevaisuuden teknologiakehityksessä on nähtävissä joukko muutosprosesseja, joita ovat mm. terveydenhoitotyön insinöörimäistyminen ja teknistyminen, kuvantamisen huipputeknologiset menetelmät, nanoteknologian käyttö lääketieteessä, täsmälääkityksen suunnittelu tietokoneen avulla, uudet monipuolistuvat geeniterapiat, kantasoluteknologian kehittyminen ja solujen paranta-

minen sekä kirurgiassa niin sanottu minimaalisesti invasiivinen kirurgia. Edelleen tulevaisuudessa asteittain kasvava määrä kirurgisista leikkauksia tehdään robottien avulla. (mm. Kaivo-oja 2011) Seuraavissa kappaleissa tutustaan lyhyesti muutaviin merkittäviin terveysteknologisiin sovelluksiin.

Magneettista resonanssi-ilmiötä käytetään erityisesti lääketieteellisissä sovelluksissa, kuten magneettiresonanssikuvauslaitteessa. Tällä hetkellä laite on vielä painava ja haasteita riittää pienemmän ja kevyemmän laitteen kehittämiseksi. Magneettikuvauslaitteita on perinteisesti valmistettu matalan lämpötilan suprajohteilla, silloin kun haluttu magneetikenttä on suuri ja normaalilla kuparikäämillä, kun haluttu magneetikenttä on pieni. Nyttemmin kehitetään uudentyyppisiä korkean lämpötilan suprajohteita ja kestmagneetteja käytäviä magneettikuvauslaitteita. Esimerkiksi röntgenkuvauksessa joudutaan tekemisiin suurten jännitteiden kanssa ja käytettävät suurjänniteyksiköt ovat vanhanmallisia ja käyttävät mm. öljyjäähdytteisiä muuntajia. Tulisi kehittää kuivamuuntajia sekä saada yksiköiden koko pieneksi ja kevyeksi. Lisäksi olisi tarvetta korvata röntgenputket jollakin muulla keinolla. (Jokinen & Arkkio 2004)

Nanoteknologiaa voidaan pian käyttää korjaamaan ihmisten verissuonia. Koe-eläimillä tutkijat onnistuivat ohjaamaan rautaa sisältäviä nanohiukkasia koe-eläinten elimistössä magneetikentän avulla ja perille päästyään hiukkaset vapauttivat lääkkeen, joka esti verisuonten korjauksessa käytettävien nanoputkien tukkeutumista. (Tiede-lehden uutiskirje 21.4.2010) 2020-luvun aikana otetaan käyttöön kehittynyt nanorobotiikkahoito, joka on yksilöllistä hoitoa ja jolla ei ole sivuvaikutuksia. Hoito on myös digitaalisen tarkkaa ja robotti kykenee kertomaan lääkärille, mitä on tehnyt. (The Futurist – Outlook 2011 s. 6) Toinen merkittävä terveydenhuollon sovellus on ”älykkästä” metallista valmistettu älynaula, jota voidaan käyttää luiden kasvattamisessa raajoissa. Älymetallille on myös kehitteillä sovelluksia selkärangan skolioosin sekä kasvojen luuston hoitoon (Repo 2010).

Magnetismia käytetään tulevaisuudessa myös valmistettaessa ihmisille varaosia. On arvioitu, että vuoteen 2015 mennessä valmistetaan keinosydän, joka täysin itsenäinen sisältäen akun ja moottorin. Sydän kykenee ylläpitämään verenkiertoa kaikkiin kehon osiin matkien sydämen rytmiä ja on tarkoitettu sydänpotilaiden hoitoon. Keinokeuhkot ja munuaiset saadaan rakennettua vuoteen 2017 mennessä ja maksa vuoteen 2020 mennessä. (Cetron 2009)

Nanoteknologia mullistaa myös syövän hoidon 10-15 vuoden kuluessa. Syöpätutkijat ovat eläinkokeissa kehittäneet solunsalpaajahoidon, joka tunkeutuu syvälle syöpäkasvaimen, missä hoitoa tarvitaan. Nykyisin käytössä olevilla syöpähoidoilla on runsaasti koko kehoa rasittavia sivuvaikutuksia, mutta uudella nanoteknologiaan perustuvalla iRGD-nimisellä, neljästä aminohaposta rakentuvalla peptidi-ohjuksella voidaan syöpälääke viedä sinne, missä sitä tarvitaan muiden kehon osien kärsimättä sivuvaikutuksista. (Riikonen 2010)

4.4 Sensorit ja järjestelmät

Sensorit eivät ole mikään uusi keksintö. Jopa jo satoja vuosia sensorit ovat olleet pelkästään mekaanisia laitteita, jotka ovat mitanneet, tunnistaneet ja välittäneet tietoa vain mekaanisin keinoin. Viime aikoina sensoriteknologiasta on tullut kasvava tutkimuksen alue ja sensorisovelluksia ja sensoriteknologiaan perustuvia tuotteita tuodaan markkinoille kaiken aikaa. Nykyisten sensorien ja sensorijärjestelmien avulla voidaan tunnistaa ja aistia monenlaisia fyysisten systeemien tiloja ja toimintoja sekä

välittää, käsitellä ja jakaa näin saatua informaatiota sitä tarvitseville. Sensorien avulla voidaan tunnistaa fyysisten systeemien kemiallista rakennetta, koostumusta, muotoa, sijaintia ja liikettä jne. (Andersen et. al. 2004)

Nykyisin sensoreita käytetään paljon akateemisissa tutkimuksissa, lääketieteessä ja terveydenhuollossa, autoteollisuudessa, liikenteessä ja logistiikassa, kemianteollisuudessa, teollisuuden kokoonpanossa, energian tuotannossa, kuluttajaelektronikassa, ilmailun sovelluksissa sekä erilaisissa testi- ja valvontalaitteissa (Glaser et. al. 2007, Fowler 2009 ja von Herten et. al. 2007). Sensorien käyttö tulee ylipäätään lisääntymään, mutta viimeaikaiset voimakkaasti kasvavat sovellusalueet liittyvät erityisesti turvallisuuteen, mukavuuteen ja viihteseen. (Allan 2004)

RFID -teknologia valtaa alaa ja sitä käytetään yleisesti jo kuljetuksissa ja logistiikassa mm. investointitavaroiden seurannassa ja ohjauksessa. Vuoteen 2015 mennessä RFID on hallitseva teknologia liikenteessä ja logistiikassa sekä rakentamisessa. Sen käyttö on yleistä myös kulutustavaroiden tunnistamisessa ja seurannassa. Kuljetuksissa ja logistiikassa käytettävät RFID -sensorit yhdessä lämpötilaa, kosteutta ja korroosiota ym. mittaavien sensorien kanssa tuovat lisäarvoa alalle, mutta niiden käyttöönotto laajemmassa mittakaavassa tapahtuu vasta vuoden 2015 jälkeen. Samoin vuoden 2015 paikkeilla yleistyy RFID -teknologian hyödyntäminen yritysten välisten materiaalien liikkumisen seurannassa. Edelleen kaikille sidosryhmille on saatavilla reaaliaikaista tietoa ja tuotannossa esimerkiksi koneistus on sensoritekniikan myötä automaattista, itseoppivaa ja -korjaavaa. RFID -tekniikkaan kehitetään uusia eri alojen sovelluksia kaiken aikaa ja vuonna 2015 se on laajalti käytössä integroiduissa sensoriverkoissa. Verkot ovat lisäksi käyttäjälle näkymättömiä. (von Herzen et. al. 2007)

Sensorit ovat olennainen osa useimpia järjestelmiä ja sovelluksia. Ilman sensorien tuottamaa informaatiota systeemit eivät voisi olla tehokkaita ja toimivia. Perinteisesti sensorit ovat olleet luonteeltaan passiivisia, kirjaten ja antaen vain tietoja mitattavasta kohteesta. Tämä on joissain kohteissa riittävää, mutta joissain kohteissa esim. terveysteknologiassa on enemmän hyötyä aktiivisista sensoreista, jotka voivat tarkoituksellisesti muuttaa kehon vireystilaa tai aktivoita toimintoja. (Glaser et. al. 2007)

Sensorit ovat luonteeltaan mahdollistajia. Tämän lisäksi tarvitaan ohjelmistoja, joiden avulla hallitaan informaatiota, joita sensorit keräävät. Jotta sensorit voisivat tehdä päätöksiä, vaikuttaa mitattavan kohteen tilaan impulsseilla tai muilla herätteillä sekä olla vuorovaikutuksessa muiden sensoreiden ja kohteiden kanssa, tarvitaan sensorien, tiedonkäsittelyn ja kommunikaation (esimerkiksi langattomat ja mobiilit palvelut ja välineet) integraatiota. Tulevaisuuden haasteet sensorien kehityksessä ja käytettävyydessä liittyvät juuri siihen, miten saadaan itsenäiset sensorilaitteet toimimaan yhdenyneesti ja verkottuneesti. (Glaser et. al. 2007, Madrigal 2007)

Viimeaikaisia sensortyyppejä ovat elektro-mekaaniset, elektro-kemialliset sekä optiset elektro-mekaaniset sensorit. Kehittyneet mikrovalmistustekniikat yhdistettynä elektro-mekaniikkaan mahdollistavat valmistaa hyvin pieniä mikrovirtapiirejä ja -systeemejä, MEMS -sensoreita (micro electro-mechanical system). MEMS:it ovat tehokkaita käsittelemään ja prosessoimaan signaaleja, jotka liittyvät kosteuteen, paineeseen, magneettisuuteen, järjestelmien kaatumiseen, kiertymiseen (esim. gyro-skooppi) sekä kaasuihin kuten hiilidioksidi, typpioksidi, metaani ja sariini. (Glaser et. al. 2007 sekä Senturia 2001)

Älykkäät materiaalit ovat sensorien uudempi tunnistamiseen ja tunnistinteknologiaan liittyvä alue, jonka kiinnostuksen alueita ovat itse tunnistavien materiaalien kehittäminen, näiden ominai-

suuksien yhdistäminen erilaisiin rakenteisiin kuten betoniin sekä uusien nanomateriaalien kehittäminen. (Glaser et. al. 2007)

Tutkijoiden ja tekniikan asiantuntijoiden mukaan sensorien lukumäärä tulee kasvamaan tulevaisuudessa. Samoin nykyisin sensoreita käyttävät järjestelmät tulevat käyttämään enemmän sensoreita tulevaisuudessa ja sensorien kaistanleveydet (taajuusalue) tulevat kasvamaan merkittävästi. Fowlerin (2009) tutkimuksen mukaan teollisuuden ammattilaiset ja akateemiset tutkijat arvioivat, että seuraavien viiden vuoden aikana (2009 – 2013) sensorien lukumäärämäärä ja lajit kasvavat 20 – 50 %. Saman tutkimuksen mukaan sensoriverkoston taajuusalueet kasvavat enemmän kuin 100 % ja tiedon siirron turvallisuus sensoriverkostoissa paranee 50 %. Tutkimuksen mukaan edelleen useat sensori-asiantuntijat hallitsevat hyvin suppean alueen sensoreita ja valikoimia, mutta tulevaisuuden sensorien kehityksen ja tehokkuuden kannalta olisi hyvä, jos alan asiantuntijat kykenisivät laajentamaan omaa sensoriosaamistaan laivemmalle alueelle.

Fowlerin (2009) tutkimuksen mukaan langalliset sensorit kasvavat 20 – 50 %, langattomat vähintään 100 % ja optiset sensorit 20 – 50 % vuosina 2009 – 2013. Lisäksi sensorien kombinaatiot lisääntyvät jopa 100 %. Tällöin esimerkiksi järjestelmissä tarvitaan langallisia sensoreita virran tuottamiseksi ja langattomia sensoreita tiedon siirtoa ja käsittelyä varten. Myös optisia sensorijärjestelmiä hyödynnetään laajemmin lähitulevaisuudessa.

4.5 Kunnonvalvonta

Teollisuudessa tuotantolinjojen, koneiden ja laitteiden korkea käyttövarmuus on merkittävä kilpailutekijä sekä tuotantolaitokselle että kone- ja järjestelmätoimittajallekin. Korkea käyttövarmuus merkitsee turvallista ja häiriötöntä tuotantoa, alhaisia korjaus- ja kunnossapidonkustannuksia sekä hyvää toimitusvarmuutta. Käyttövarmuuden aikaansaamiseksi ja tukena käytetään kunnonvalvontaa, joka hyödyntää usein sekä mekaanisia että sähköistä dynamiikkaa. (Helle toim. 2004)

Kunnonvalvonnassa mitattavia suureita ovat usein lämpötila, koneiden ja laitteiden värähtely sekä öljyjen hiukkaset. Lämpötilamittauksia käytetään kunnonvalvonnassa esimerkiksi laakereiden vikojen seurannassa. Vierintälaakereiden alkavia vikoja lämpötilamittaukset eivät havaitse, vaikka muuten koneiden vauriot aiheuttavat lämmön nousua vikakohteissa. Lämpötilamittaukset sopivat hyvin kunnonvalvontaan muita mittauksia tukevana menetelmänä (Nohynek & Lumme 2004) Lämpötilamittauksia voidaan tehdä kosketukseen perustuen lämpötila-antureilla (metallivastus- ja termoparianturit) tai koskemattomilla lämpötilanmittausmenetelmillä kuten sähkömagneettiseen lämpösäteilyyn perustuvat infrapunalämpömittarit (ei sovellu alle 100 °C) sekä lämpökamerat (Mikkonen et. al. 2009)

Värähtelymittaus on yleisimmin käytetty mittausmenetelmä kunnonvalvonnassa. Kaikki pyörivät koneet värähtelevät jollakin taajuudella ollessaan käynnissä. Koneen normaali toiminta aiheuttaa tietyn taajuista värähtelyä ja jos kone on valmistuksessa, asennuksessa tai vikaantumisen johdosta viallinen, aiheuttaa koneen käynti eritaajuisia värähtelyä. Tämä voidaan tunnistaa värähtelymittauksella. Värähtelymittausmenetelmiä on kahdenlaisia, yksinkertaisia ja monimutkaisempia menetelmiä. Yksinkertaiset menetelmät ovat tarkoitettu laitteiden yleistärinän valvontaan ja vierintälaakereiden kunnonvalvontaan, kun monimutkaisemmat menetelmät valvovat laitteiden ja laakereiden tärinää paljon yksityiskohtaisemmin. (Nohynek et. al. 2004) Värähtelymittausten avulla tapahtuva vianmääritys pe-

rustuu värähtelyvasteiden ja niiden muutosten havainnointiin ja yleisimmin käytetty laite tähän on kiihtyvyyssanturi (Mikkonen et. al. 2009)

Kunnonvalvonnan kolmas mitattava suure on öljyjen hiukkasmittaukset. Öljy on voiteluaine, joka voidaan rinnastaa yhdeksi koneen osaksi ja näin ollen voiteluaineiden analyysillä seurataan ja saadaan tietoa koneen osien kulumisesta, voitelun tehokkuudesta ja voiteluaineen puhtaudesta. Hiukkasanalyysillä saadaan tietoa öljyjen epäpuhtaushiukkasten koko- ja muotojakaumasta, jonka avulla voidaan selvittää kulumismekanismit ja kulumisen aiheuttaja. Öljynäyte voidaan analysoida joko käsin mikroskooppilaskennalla tai automaattisella hiukkaslaskimella, jonka tuloksena saadaan suoraan lista hiukkasten kokojakaumasta. (Mikkonen et. al. 2009)

Kunnonvalvonnan tiedonsiirrossa langattomat tiedonsiirtoverkot tarjoavat monia hyötyjä perinteiseen kaapeleilla siirrettävään tietoon verrattuna. Langattomia tiedonsiirtoverkkoja käytettäessä 1) mittausantureilta voidaan saada reaaliaikaista mittaustietoa, 2) koneiden kriittisten osien kulumista voidaan seurata tarkasti ja vikatilanteisiin voidaan reagoida välittömästi, 3) voidaan etälukea antureita, jotka ovat sijoitettu hankalasti tavoitettaviin ja vaarallisiin paikkoihin sekä 4) tuotantoprosessi on mahdollista optimoida saatujen mittaustulosten keräämisellä. (Järviö 2004) Langattomia tiedonsiirtotapoja ovat pitkän kantaman langattomat ja lyhyen kantaman langattomat järjestelmät. Pitkän kantaman langattomat tiedonsiirtotavat nykyisin ovat GPRS -verkko (GSM-järjestelmän laajennus, joka välittää Internet Protocol IP:n mukaista dataa) sekä EDGE -tekniikka, joka on edellisen parannettu versio (Enhanced GPRS) ja perustuu EDGE -standardiin. EDGE -tekniikka ei ole vielä ns. kolmannen sukupolven 3G -tekniikkaa, vaan jotain 2.5.G. (Penttinen 2001 ja Kaarela 2011)

Lyhyen kantaman langattomia tiedonsiirtotapoja ovat HART -protokollan WirelessHART, WLAN sekä Bluetooth. HART -teknologia on paljon käytetty menetelmä digitaalisessa muodossa olevan tiedon analogisessa siirtämisessä. WirelessHART -menetelmä on turvallinen (salaus, autentikointi ja eheyden tarkistus) ja kestävä verkkoteknologia, johon verkkoon voidaan liittää useita HART -teknologiaan perustuvia laitteita. WLAN perustuu IP -pohjaiseen lähiverkkoon ja Bluetooth (laitteiden lisenssivapaa avoin määrittely lyhyen etäisyyden radiotaajuuksille) on tarkoitettu lähinnä langattomaan tiedonsiirtoon eri välillä. (Pyyskänen 2007)

WLAN radioteknologia tulee kehittymään (3G → 4G) ja on vuonna 2015 laajasti kaupallisessa käytössä. Samoin kehittyy ja yleistyy WLAN:in rinnalla WiMAX -teknologia, joka on samantyyppinen teknologia kuin WLAN. Bluetooth-teknologialla on tällä hetkellä vahva asema, mutta sen suhteellinen merkitys vähenee vuoteen 2015 mennessä, kun sitä helppokäyttöisempi ja vähemmän virtaa kuluttava Wibree -teknologia vahvistuu ja yleistyy kaupallisessa käytössä. (von Herten et. al. 2007)

Kunnonvalvonnassa käytetään myös älykkäitä mikroprosessorin sisältäviä antureita, joissa on sisällä muistia, päätöksenteknologiaa ja laskentakapasiteettia. Esimerkiksi perinteinen värähtelyanturi mittaa dataa passiivisesti, jonka jälkeen signaali siirretään keskusyksikköön prosessointia, laskentaa ja analyysijä varten. Älykkäässä värähtelyanturissa signaalin prosessointi, laskenta ja analyysit tapahtuvat anturissa, jolloin signaalien laatu pysyy hyvänä, kun dataa ei tarvitse siirtää pitkiä matkoja keskusyksikköön. Tällaisia älykkäitä antureita ovat mm. pietsosähköinen Webrosensor -kunnonvalvonta-anturi, joka mittaa koneiden värähtelyä ja lämpötilaa sekä Emerson -langaton värähtelylähetin. Kunnonvalvonnan hiukkasmittauksia varten on olemassa myös älykkäitä online-hiukkaslaskimia kuten PAMAS sekä HYDAS hiukkasmittauksen järjestelmät. (Turunen 2010)

Kunnonvalvontaa varten on kehitetty myös etävalvontajärjestelmiä, jotka mahdollistavat helpon pääsyn internet-selaimen kautta mittalaitteeseen ja mittaustietoihin riippumatta siitä, missä tiedonkeruu tapahtuu. Tällaisia etätiedonkeruujärjestelmiä ovat mm. MyDatanet (esim. koneiden ja laitteiden, vesistöjen, ilmaston ja päästöjen etämittaukseen), Ibexis (soveltuvuus kuten MyDatanet) sekä Moventas (esim. tuulivoimaloiden kunnonvalvonta). (mm. Kaarela 2011 ja Turunen 2010)

Ennakoivassa kunnossapidossa käytetään yhtenä menetelmänä värähtelymittausta esimerkiksi pietsosähköistä kiihtyvyyssanturia. Lisäksi teollisuudessa hyödynnetään lyhyen kantaman radiotekniikoita ja käytetään antureita, jotka eivät vaadi kaapelointia ja mahdollistavat kohteen vapaan liikkuvuuden. Tällaisia lyhyen kantaman (kantama kymmenistä muutamiin satoihin metreihin) pienitehoiset lähetinvaastantimet hyödyntävät esimerkiksi WLAN tai Bluetooth standardeja. Onkin nähtävissä, että lyhyen kantaman radiotekniikoiden teollisuussovellukset erityisesti sähkökoneiden ja -käyttöjen kunnossapidon ja kunnonvalvonnan sovellukset tulevat kasvamaan. (Helle toim. 2004)

Sensoreita on myös käytetty erilaisten rakenteiden väsymisen seurantaan (venymäanturit), korroosion valvontaan (elektro-mekaaninen ja elektro-kemiallinen seuranta), kulumisen seurantaan esim. valokuitusensorit, siltojen vajerien kestävyysvalvontaan sekä rakenteisiin vaikuttavan eroosion seurantaan (Glaser et al. 2007)

Kunnonvalvonta on kehittämisaikana kiinnostava esimerkiksi useissa voimalaitoksissa, joissa koneiden ja laitteiden ikä on jo 50 vuotta tai enemmän ja koneiden uusimistarve on käsillä lähimmän 10 – 20 vuoden aikana. Tällaisissa tapauksissa koneiden ja generaattoreiden jäljellä oleva ikä tulisi voida määrittellä luotettavasti, jotta uudistamistyö osattaisiin tehdä oikeassa järjestyksessä ja taloudellisesti. (Jokinen & Arkkio 2004)

Tuulivoimaloissa ennakoiva kunnonvalvonta on tärkeää, koska laitteet ovat usein vaikeasti luokiteltavissa esimerkiksi merellä. Tuulivoimaloiden kunnonvalvonta sisältää värähtelymittauksia vaihteen laakereiden, hammaspyörien kosketusten sekä generaattorin ja turbiinin laakereiden valvonnassa. Edelleen tehdään öljynlaadun mittauksia kulumispartikkeleiden löytämiseksi sekä valvotaan öljyn painetta, viskositeettia, kosteutta jne. Vesivoimalaitoksissa suoritetaan myös värähtelymittauksia, joiden avulla valvotaan vesiturbiinin ja generaattorin laakereita, akselilinjojen käyttäytymistä ja niissä tapahtuvia muutoksia. Yhdistetyissä sähkö- ja lämpö- sekä lauhdevoimaloissa valvotaan pyöriviä koneita erilaisin värähtely- ja lämpötilamittauksilla. Ydinvoimaloissa on samantyyppisiä pyöriviä koneita kuin sähkö- ja lämpö- sekä lauhdevoimaloissa ja niitä valvotaan myös värähtely- ja lämpötilamittauksilla. (Kaarela 2011)

Huollosta ja kunnossapidosta on tullut yrityksissä merkittävä toimiala ja kunnonvalvonnassa kehitetään uusia automatisointimahdollisuuksia ja -ratkaisuja sekä etävalvonnan ja -luennan välineitä. Esimerkiksi värähtelymittauksilla voidaan valvoa laitteiden kuntoa, sillä laitteisiin tullut piilevä vika aiheuttaa usein myös laitteen värähtelytason nousemisen. (Jokinen & Arkkio 2004)

4.6 Materiaalit ja prosessit

Myös materiaalitekniikan saralla on odotettavissa suuria kehitysaskelaita. Esimerkiksi aurinkokennoja voidaan viimeaikaisten innovaatioiden mukaan valmistaa nanotekniikan avulla muovista sekä nanohiukkasista. Muovista valmistetut ohutkalvoiset tai jopa maalipohjaiset aurinkoenergiajärjestelmät

ovat halpoja, mutta niiden energiatehokkuus on vielä alhainen. Nanohiukkasista valmistetut kiderakenteiset aurinkopaneelit ovat puolta tehokkaampia muuntamaan auringonvaloa sähköenergiaksi kuin perinteiset menetelmät. (Higgins 2009)

Esimerkiksi General Electric on valmistanut painamalla mm. orgaanisia led-valaisimia. Samalla tekniikalla voidaan heidän mukaansa valmistaa aurinkokennoja ja näyttöjä. Painettuun aurinkokennoon voidaan myös yhdistää akku, jolloin esimerkiksi kännykkää ei tarvitse ladata eikä kaukosäätimeen vaihtaa paristoja. Painettu aurinkokenno on muovista ohutta kennonauhaa, jota on helppo istuttaa eri laitteisiin ja sitä voidaan myös värjätä. (Rantanen 2008)

Alalla tehdään myös kotimaista kehitystyötä, sillä suomalainen teknologiayritys Enfucell Oy on jo tuonut markkinoille SoftBattery® -pehmpariston, joka on ohut ja joustava, 1,5 tai 3, 0 voltin ympäristöystävällinen painettava virtalähde. Paristo voidaan liittää antamaan virtaa erilaisiin kertakäyttöisiin tai lyhyen käyttöajan tuotteisiin ja sovelluksiin kuten mm. logistiikan RFID- ja sensoripohjaiset sovellukset ja älypakkaukset sekä kosmetiikka- ja lääketeollisuuden alalla esimerkiksi parantamaan lääkeaineiden, vitamiinien ym. imeytymistä ihon lävitse. Lähitulevaisuudessa Enfucellin pehmparistoa voidaan soveltaa muun muassa edullisesti valmistettavissa avainkortteissa, näytöissä, mobiilisensoreissa sekä elektronisessa paperissa. (Enfucell)

Paperin lisäksi valmistetaan myös energiaa tuottavia tekstiilejä. Yhdysvaltalaiset tiedemiehet ovat kehittäneet uuden prosessin kyseisten tekstiilien valmistamiseen. E-tekstiilit on tehty sähköä johtaviksi käsittelemällä tavallista puuvilla- tai polyesterikangasta sähköä johtavalla musteella (valmistettu hiili-nano -putkista). Lähitulevaisuudessa esimerkiksi "e-t-paita" voi toimia iPodin virtalähteenä. (ScienceDaily January 2010)

Nanotekniikalla alkaa olla myös ympäristösovelluksia esimerkiksi jätevesien tai saastuneiden maamassojen puhdistuksessa metallioksidien nanopartikkeleiden avulla. Toinen ympäristöteknologian sovellus on rautaoksidihydroksidien nanopartikkeleista valmistettujen keraamisten kalvojen käyttäminen jätevesien puhdistuksessa. Suomalaiset tutkijat ovat myös edistyneet nanoteknologian saralla, sillä vuonna 2006 Teknillisessä korkeakoulussa, nykyisessä Aalto-yliopistossa kehitettiin nanonuppu, joka koostuu fullereenista ja hiilinanoputkesta. Hiilinanoputket ovat sähköisiltä ominaisuuksiltaan erinomaisia ja niitä voi käyttää johteina tai puolijohteina. Lisäksi ne ovat taipuisia ja niillä on erinomainen lämmönjohtokyky. Hiilinanoputkien kemiallinen reagoivuus ei ole kovin hyvä ja siksi hiilinanoputkiin yhdistettiin fullereeni, joka helpottaa reagoivuutta muiden yhdisteiden kanssa. Nanonuppua voidaan käyttää eri sovelluksissa näiden optisten ja elektronisten ominaisuuksiensa johdosta esimerkiksi valmistamalla nanonupuista ja -putkista vahvoja komposiittimateriaaleja kuten vahvaa nanobetonia kasvattamalla moniseinäisiä nanoputkia sementtihiukkasten päälle. Tällaisesta materiaalista valmistettu betoni olisi vahvaa sekä myös sähköä johtavaa, jolloin se sopisi hyvin esimerkiksi lattialämmityksen tekemiseen. Suomalaiset tutkijat ovat nanotekniikan avulla kehitelleet myös erittäin kevyitä tuulivoimalan siipiä sekä hygieenisitä, puhtaana pysyviä pintoja. (Hamilo 2010 b)

Nanoteknologialla tuleekin olemaan suuri merkitys sekä sähkön tuotannossa että sen varastoinnissa ja käytössä. Yhdysvaltalaisen tutkijoiden mukaan nanolanka-akut voivat mullistaa sähkön varastoimisen. Stanfordin yliopistossa Kaliforniassa on kehitetty nanokokoiisiin piilankoihin perustuva uudenlainen akku, joka kykenee varastoimaan energiaa jopa kymmenkertaisen määrän verrattuna samankokoiseen tavalliseen litiumakkuun. Kehitetty akku on myös pieni ja kevyt ja sen tekniikka mah-

dollistaa akun nopean latauksen ja purkamisen. Nanolanka-akkujen kaupallistaminen kestää arvioiden mukaan muutamia vuosia. Kymmenkertaisen energiatihedyn omaavat nanolanka-akut mahdollistaisivat esimerkiksi kannettavat tietokoneet, joita voisi käyttää päiväkausia lataamatta. Samoin akkuja voitaisiin soveltaa myös sähköautoihin, jolloin niillä voisi ajaa lataamatta yhtä pitkän matkan kuin bensa-autoilla tankkaamatta. (Hamilo 2010 a)

Materiaalien mallinnusta ja uusia materiaaleja kehitetään monissa tutkimusyksiköissä. Tällaisia uusia materiaaleja ovat mm. korkean lämpötilan suprajohteet ja magneettiset muistimetallit. Magneettiset muistimetallit muuttavat muotoaan magneettikentässä, venymän ollessa jopa 10 % kappaleen pituudesta. Edelleen kestromagneettien tarkkojen magneettikenttien luominen, käsittely sekä asennus magnetoituna paikalleen kaipaavat vielä kehitystyötä. Edelleen kryogeniikan puolella laitteiden valmistus ei ole yksinkertaista ja oikeiden kyllästysaineiden valinta sekä käyttäytyminen matalissa lämpötilassa vaativat vielä selvittämistä. (Jokinen & Arkkio 2004)

Magnetismia voidaan käyttää myös metallien valmistuksessa mm. metallisulan sekoituksessa, metallin kuumennuksessa, valussa sekä seurata sulan metallin jähmettymistä erilaisin mittalaittein. Edelleen magneettikenttää voidaan käyttää painomusteen poistamiseen erityisesti konttoreiden kopiopapereista, joissa on paramagneettisia tai ferromagneettisia aineita. Joissain tapauksissa edellä kuvattu pelkkä siistaus ei vielä riitä painomusteen poistamiseksi, vaan tarvitaan myös magneettista separointia. Magneetti-impulssitekniikalla voidaan muokata myös metallilevyjä pienissä sarjoissa tai tehtaässä prototyyppinä. (Jokinen & Arkkio 2004)

Nanotieteet ovat vieneet materiaalitutkimuksen 2000-luvulla uudelle tasolle. Kokonaan uusia rakenteita voidaan valmistaa laboratorioissa asettamalla atomeja uudentyyppiseen järjestykseen, ohuimmillaan yhden atomikerroksen nanoputkiin, nanodonitseihiin, nanokalvoihin sekä nanolankoihin. Tällaiset nanorakenteet ovat kuitenkin heppoisia, ne usein vääntyvät, taittuvat tai vääristyvät muodoltaan. Nanohiiliputket ovat yksi nanorakenteiden tutkituimmista muodoista. Nanohiiliputket taipuvat herkästi sillä niiden pituuden ja paksuuden suhde vastaa samaa luokkaa kuin kymmeniä metrejä pitkien hiusten. Tämän vuoksi nanoputkia ei aina käytetä yksin vaan niitä yhdistetään muiden materiaalien kanssa kuten esimerkiksi tehtaässä hiilinanoputkipaperia. (Remes 2011)

Nanoteknologian avulla voidaan valmistaa mm. hiilipohjaisia materiaaleja kuten nanohiilikuituja, -hiiliputkia, -happuja sekä grafeenia ja fullereenia. Suomalaiset ovat hiilinanopohjaisten materiaalien kehittälyssä maailman huipulla sillä esimerkiksi Helsingin yliopiston Teknisen korkeakoulun (TKK, nykyinen Aalto yliopisto) tutkimusryhmä on kehittänyt hiilinanohupun, joka on hiilinanoputkien sekä fullereenin yhdistelmä ja kovelenttinen sidos. Hiilinanopohjaiset materiaalit kuten esimerkiksi hiilinanoputket ovat vahvoja, lämpövakaita korkeisiin lämpötiloihin asti, johtavat lämpöä ja sähköä paremmin kuin perinteiset materiaalit (mm. kupari, molybdeeni). Hiilinanomateriaalit soveltuvat moniin erilaisiin sovelluksiin ja niitä keksitään kaiken aikaa. Hiilinanomateriaaleista voidaan valmistaa esimerkiksi a) läpinäkyviä ja joustavia filmejä, jotka sopivat kosketusnäyttöihin, aurinkokennoihin, b) silikonivapaata läpinäkyvää ja joustavaa elektroniikkaa, kuten ohutfilmipohjaiset transistorit ja sensorit sekä superkondensaattorit, c) monitoimisia sovellusmateriaaleja kuten valon vastaanottajat, varauksen kuljettajat ja säteilyn imijät sekä d) uuden sukupolven rakennemateriaaleja, joita ovat hyvin vahvat, lämpöä ja sähköä johtavat pinnoitteet sekä komposiittimateriaalit. (Kauppinen 2009)

Hiilinanoputkimateriaalista valmistetaan ensimmäisiä sovelluksia jo vuodesta 2013 alkaen (esim. mikrovirtapiirit/transistorit/joustava elektroniikka) ja kehitettävien sovellusten määrä kasvaa tasaisesti koko ajan. Hiilinanoputkien kaupallisten sovellusten markkinat yleistyvät vasta vuoden 2025 - 2030 kieppeillä seuraavasti: (Kauppinen 2009)

- Joustava ja läpikuultava elektroniikka on osa mukana kulkevaa arkipäivää jo vuonna 2025, jolloin hiilinanoputkista valmistetaan ohutfilmitransistoreita, isoja rullattavia näyttöjä, TV-näyttöjä sekä e-kirjoja.
- Johtavia, joustavia ja läpikuultavia filmejä käytetään kosketukseen sekä käden/sormen lähestymiseen perustuvissa ja käyttäjäystävällisissä sovelluksissa esimerkiksi näppäimistöissä, näppäinalustoissa, puhelimissa jne.
- Yleisessä käytössä on ohuesta filmistä valmistettuja laitteita, jotka aistivat lähiympäristöämme sekä kehon toimintojamme kuten lämpötilaa, painetta, ilmansaasteita, auringonsäteilyä, verenpainetta, veren sokeripitoisuutta jne.
- Hiilinanoputket ovat korvanneet metallipohjaisen katalyytin polymeeri-elektrolyytissä polttokennossa mahdollistaen taloudellisten ja ympäristöystävällisten sekä kestävien energiantuotantoon tarkoitettujen polttokennojen valmistamisen.
- Hiilinanomateriaalista valmistetut taloudelliset ja tehokkaat aurinkokennot ovat jokapäiväisessä käytössä.
- Yhdistetty energiantuotanto ja varastointi ovat yleisessä käytössä perustuen joko polttokennon ja superkondensaattorin yhdistelmään tai aurinkokennon ja pariston/akun yhdistelmään.
- Sähköautot ovat korvanneet polttomoottoriautot.
- Vuonna 2030 tarvitaan energiatehokkaita ja ympäristöystävällisiä kuljetusvälineitä, jotka ovat valmistettu hiilinanokomposiittimateriaaleista, jotka ovat myös vahvoja, kevyitä sopien hyvin autoihin ja lentokoneisiin.

Lähitulevaisuudessa elektroninen paperi sekä OLED (Organic Light Emitting Diode)-materiaalista valmistetut joustavat muovipohjaiset materiaalit soveltuvat hyvin taivutettaviin näyttöihin (jotka voidaan tehdä isommiksi kuin itse laitteet) sekä toisaalta isojen jopa seinän kokoisten näyttöpintojen valmistamiseen. OLED materiaali valoo heijastavaa materiaalia, joka valmistetaan useasta päällekkäisestä orgaanisesta kalvosta. OLED säästää sähkövirtaa tai paristojen energiaa sillä näytöissä ei tarvita erillisiä taustavaloja. (Haller 2008). Alle kymmenen vuoden kuluessa televisio siirtyy paneelista arkkiin, jolloin television voi rullata suoraan auki kuin julisteen tai levittää kuin lehden auki (Rantanen 2008).

Suomen panos materiaalitekniikan kehittämisessä ulottuu myös biomateriaaleihin, sillä Aalto-yliopiston teknillisen korkeakoulun kansainvälinen tutkimusryhmä on luonut uusia materiaaleja magneettisesta nanoselluloosasta yhdistämällä kasveja ja puista tai bakteereilla valmistettuja selluloosan nanokuituja sekä magneettisia nanohiukkasia. Tällä tavalla voidaan valmistaa erittäin taipuisia ja huokoisia materiaaleja sekä magneettista nanopaperia, joka on mekaanisesti vahvaa. (Simola 2010)

4.7 Mallinnus ja simulointi

Mallinnusta ja simulointia käytetään paljon Suomen metsä-, energia- ja metallurgisessa teollisuudessa ja vähemmän kemian ja petrokemian teollisuudessa, jotka ovat maailmalla suuria teollisuuden aloja. Mallinnusta ja simulointia käytetään suhteellisen paljon myös työkoneiden ja mobiililaitteiden valmistuksessa, mutta vähemmän ilmailun ja avaruusteknologian saralla sekä autoteollisuudessa, joka maailmalla investoi paljon mallinnukseen ja simulointiin. Mallinnusta ja simulointia käytetään myös rakennusteollisuudessa, bioteknologiassa, teollisuustuotannossa, logistiikassa, materiaalien tutkimuksessa, ympäristön tilan vaikutusten arvioinnissa sekä sotilaallisissa sovelluksissa. (Ventä et. al. 2009) Suomalaisen teollisuuden mallinnukseen ja simulointiin liittyy tulevaisuushaasteita, joita on koottu seuraavaan taulukkoon.

Taulukko 4. Suomalaisen teollisuuden mallinnuksen ja simuloinnin tulevaisuuden haasteita (Ventä et. al. 2009)

Mallinnuksen ja simuloinnin tulevaisuuden haasteita	
Saumattomuus ja monitasoisuus	<p>Mallinnuksen ja simuloinnin saumaton toiminta eri tasoilla ja yksityiskohdissa</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Toiminnan tulee olla saumatonta esim. tuotekehityksen alkuvaiheen käsitteelliseltä tasolta aina yksityiskohtien simuloituvaiheisiin asti sekä mahdollista liikkumisen eri tasojen välillä ➤ Simulointijärjestelmien tulee mahdollistaa simuloinnin tulosten saumattoman vaihdon simulointiprosessissa eri moduulien välillä ➤ Komponentteja ja osia simuloivien ohjelmistojen tulee mahdollistaa mallien algoritmien kehittämisen, lisäyksen, poistamisen sekä tietojenkäsittelyn ajoajan muuttamisen osana laajemman tason mallinnusta
Hajautetut ratkaisut	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tarvitaan hajautettuja simulointimalliratkaisuja ja käytäntöjä, jotka sisältävät myös versioiden ja sekä käytön hallinnan
Yleistettävyyden ja soveltavuuden moninaiseen käyttöön	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tarvitaan yleisiä, yhdistettyjen mallien ladonta- ja muuntamistyökaluja, jotka sopivat erilaisille laitteistoille ➤ Tarvitaan monialaisia ja monipuolisesti luonnontieteellisiä ja fyysikaalisia asioita simuloivia sekä eri tekniikan aloille sopivia ohjelmistoja ➤ Tarvitaan korkeatasoisia työkaluja kappaleen mallinnukseen, hammastukseen, ominaisuuksien muokkaukseen sekä simulaation hallintaan. Työkalujen tulee myös sopeutua helposti erilaisiin suoritusaikoihin ➤ Mallinnuksen työkalujen tulee toimia neutraaleissa ja yleisissä laitteistokokonaisuuksissa, jolloin erityisesti simulointia varten tarkoitettuja laitteita ei tarvitse hankkia erikseen.
Visualisointi	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tarvitaan havainnollistavia tiedon simulointimalleja, jotka hyödyntävät uudenaikaisia tietokonegrafiikan mahdollisuuksia (2-D, 3-D, virtuaalitodellisuus)
Luotettavuus	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tarvitaan parempia yhteyksiä ja kytkentöjä simulaattoreiden (jäljittelylaite) ja eri tekniikan sovellusten välillä ➤ Simulointimallien luotettavuuden (validation) ja tarkastuksen (verification) tuen tulee olla sisäänrakennettu ominaisuus mallinnuksen ja simuloinnin rakenteissa

Magneettiteknologiassa tarvitaan kolmiulotteisia kenttiä ratkaisevia ohjelmia ja erityisesti yhdistettyjä ongelmia ratkaisevia ohjelmistoja, joissa on mukana magneettikentän ratkaiseminen, lämpölaskenta, lujuuslaskenta ja sähköpiirien suunnittelu. Tällä hetkellä lämpömalleja ei hallita vielä riittävän hyvin, jotta yhdistettyjä ongelmia ratkaisevat ohjelmistot voisivat olla toimivia. (Jokinen & Arkkiö 2004)

Uusia laskennallisia menetelmiä ja ohjelmistoja tulee kehittää kestopagneettikoneiden suunnitteluun ja käyttöön. Tarvetta on myös yhdistetyille ohjelmistoille sekä 3D-mallintamiselle. (Jokinen & Arkkiö 2004)

Vuonna 2015 teollisuudessa käytetään simuloinnissa ja mallinnuksessa laajalti virtuaalitodellisuutta interaktiivisesti asiakkaiden kanssa tuotteiden räätälöinnissä ja massakustomoinnissa. Jäljittelijälaitteet suunnittelevat, rakentavat, testaavat räätälöidyn tuotteen rakenteen aina pilotointivaiheeseen asti. (von Hertzen et. al. 2007)

4.8 Asuminen

Asumisessa voidaan hyödyntää magneettiteknologiaa monipuolisesti sekä rakennus- että kotiautomaation puolella. Seuraavassa luettelossa on joitakin sovellusalueita, joita asumisessa voidaan hyödyntää jo vuoteen 2015 mennessä (Nurmi et. al. 2010 s. 56 – 57):

- Uusia materiaaleja aletaan ottaa käyttöön esim. muovikomposiitit sekä seinämateriaalit
- Uudenlaiset mittaus- ja anturitekniikat kehittyvät esim. MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems), jolla lyhyen kantaman langaton kommunikointi, anturitekniikka, toimilaitetekniikka ja oheiselektronikka voidaan integroida yhdelle hyvin matalan tehonkulutuksen mikropiirille
- Vähälaatuisten eli matalaenergisen energialähteen (esim. aurinkoenergia, jätelämpö ja uusiutuva energia) hyödyntämiseen kykenevät lämmitys- ja jäähdytyslaittejärjestelmät kehittyvät
- Uudenlaiset energian varastoinnin järjestelmät esim. superkondensaattorit kehittyvät
- Hajautetut talotekniikkajärjestelmät yleistyvät esim. lavaaariin integroitu vedenlämmitysyksikkö
- Biometriset ja multimodaaliset tunnistustekniikat käyttöön esim. sormenjälki, kasvojen tunnistus
- RFID -anturitekniikoiden rooli korostuu esim. rakenteisiin upotetut anturit kosteuden mittausta varten

Keskipitkällä aikavälillä vuoteen 2020 mennessä voidaan magneettiteknologiaa hyödyntää asumisessa mm. seuraavilla sovellusalueilla (Nurmi et. al. 2010 s. 56 – 57)

- Uudet materiaalit esim. itsepuhdistavat pinnat, funktionaaliset seinämateriaalit, jotka voivat muuttaa ulkonäköään, kuviointiaan ja energiatarpeen mukaan lämmönläpäisykykyään tai ne voivat toimia aktiivisina mittareina yhdistettynä erilaisiin painetun elektroniikan ratkaisuihin
- Rakenteisiin sulautetun elektroniikan määrä kasvaa
- Langattomat integroidut talotekniset ratkaisut perustuvat langattomien laitteiden ja anturiverkkojen yhteistoimintaan
- Ajantasaiset ja integroidut kiinteistötietopalvelut esim. yhdistää mittaus-, kustannus-, käyttö-, tarkoitus-, kulutus-, huolto-, varaosa-, kunto-, rakenne- ym. tiedot

5. KANSALLINEN MAGNEETTITEKNOLOGIAKLUSTERI 2020

Kansallisen magneettiteknologian tulevaisuutta, tulevaisuuden palveluita, klusterin rakennetta, toimijoita sekä verkostoja hahmoteltiin Magneettiteknologiaklusterin 2020 työkokonaisuuteen sisältyneessä, 31.3.2011 pidetyssä tulevaisuusverstaassa (workshop) sekä tämän jälkeen alan asiantuntijoille suunnatulla sähköisellä kyselyllä. Tulevaisuusverstaaseen osallistui yhteensä 28 alan asiantuntijaa ja kyselyyn vastasi 14 henkilöä.

Kansallisen magneettiteknologian tulevaisuuden vahvoina toiminnan (sekä myös kehitettävänä) alueina vuoteen 2020 mennessä nousivat tulevaisuusverstaan tuotoksissa valmistusketjut ja brändit, energiantuotanto ja varastointi, pyrkimys täyssähköiseen yhteiskuntaan, uusien magneettisten materiaalien kehittäminen sekä magneettinen puhdistus ja erotus. Seuraavassa taulukossa on luonnehdittu tarkemmin näitä magneettiteknologian mahdollisuuksia.

Taulukko 5. Kansallisen magneettiteknologian vahvat toiminta-alueet vuoteen 2020 mennessä

MAGNEETTITEKNOLOGIAN VAHVAT JA KEHITETTÄVÄT ALUEET VUOTEEN 2020 MENNESSÄ	
Valmistusketjut ja brändit	<ul style="list-style-type: none">➤ Lähtökohta: pelko suunnittelun ja tutkimuksen siirtymisestä Aasiaan➤ Tavoitteena on luoda kuva Suomesta energiatuotannon ja -tehokkuuden mallimaana➤ Kehittämisessä tarvitaan koulutus- ja tutkimuslaitosten sekä yritysten R&D toimintojen yhteistyötä, koulutusta sekä verkottumista➤ Kehittämistoiminnan sisältöä luonnehtivat osaamisen kehittäminen, kuumallinen oikeisiin verkostoihin, tuotekehitys, mallinnus, valmistusteknologia sekä piensarjat
Energian tuotanto ja varastointi	<ul style="list-style-type: none">➤ Kehitystä vauhdittavia trendejä ja ajureita ovat: miniatyrisointi, nanoasiat, langattomuus, low/no-power -sovellukset, sensoriverkot, ekotehokkuus, tuulienergian ja aurinkoenergian hyödyntäminen sekä kaupungistuminen➤ Kehittäminen vaatii vahvaa markkinalähtöisyyttä sekä poikkitieteellistä osaamista➤ Verkostot (living labit, kansainvälisyys, veturiyritykset)➤ Kehittämisessä on painotus erityisesti hajautetun energian tuotannon ja varastoinnin ratkaisuisissa, joita kotitaloudet voivat hyödyntää.➤ Sovellusten tulee olla helppokäyttöisiä, nykytoimintaan verrattuna säästöjä mahdollistavia sekä ekologisia. Lisäksi itselatautuvuus, kannettavuus sekä hukkaenergian hyödyntäminen ovat sovelluksissa kilpailukykyä lisääviä tekijöitä➤ Energian tuotannon ja varastoinnin sovellukset voivat perustua sykkeeseen, värähtelyyn, pumppuihin, paineilmaan, vauhtipyörään, akkuihin, polttokennoihin, superkondensaattoreihin, SMES -teknologiaan ym.➤ Kehitettävänä sovellusalueina nähdään eHarvesterit ja generaattorit, energian mekaaninen, sähkökemiallinen ja sähkömagneettinen tuotanto ja varastointi

Täyssähköinen yhteiskunta	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Kehityksen edellytyksinä nähdään magneettiteknologian ekosysteemi ja übermagneetti, joka koostuu valmistus- ja jalostusosaamisen lisäksi teollisen tuotannon, tutkimuksen ja koulutuksen asioista ➤ Übermagneetti ei ole teknologinen sovellus tai osaaminen, vaan on kokonaisvaltainen paradigma, joka keskittyy täyssähköisen yhteiskunnan luomiseen koulutus-, tutkimus- ja elinkeinosektoreita myöten ➤ Tällainen kokonaisvaltainen ajattelutapa luo puitteet hajautetulle sähköntuotannolle, sähkön- ja lämmön yhteistuotannolle, pienille ja tehokkaille sähkökäyttöille, täyssähkötuotteille ja sähkön varastoinnille ja siirrolle
Uusien magneettisten materiaalien kehittäminen	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tavoitteena on magneettisten materiaalien uusien funktionaalisten ominaisuuksien kehittäminen, jolloin kehittämisen keskiössä ovat erityisesti materiaalien ja sähkömagneettisten kenttien välinen vuorovaikutus, sup-rajohtavat sekä kestopagneettiset sovellukset ja energian muuttaminen ja siirto ➤ Työssä tarvitaan verkostoa, johon tarvitaan tutkimuslaitoksia, yliopistoja sekä sovelluskehitysyrityksiä ➤ Eräs edellytys asian kehittymiselle on magneettisten materiaalien yliopistotasoinen koulutus ja tutkimus
Magneettinen puhdistus ja erot-telu	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tuotekehityksen tavoitteena on luoda kiristyvien päästörajojen, vesipu-lan sekä saastuvien vesistöjen maailmassa tehokkaita suodatus- ja erotusjärjestelmiä ➤ Magneettisen puhdistuksen, suodatuksen ja erottelun markkinoita löytyy esimerkiksi Itämeren alueen sekä prosessiteollisuuden jätevesien puhdistuksessa, ylipäättään puhtaan juomaveden aikaansaamisessa, mutta myös ilman pienhiukkasten poistamisessa ➤ Kehittämisessä tarvitaan tutkimuslaitosten ja teollisuuden yhteistyötä (erityisesti sähkölaiteteollisuus ja konepajat) ➤ Yhteistyön lisäksi tarvitaan hankkeita ja tulisieluisia vetäjiä

Magneettiteknologia 2020 -tulevaisuusverstaassa pohdittiin myös tekijöitä, elementtejä ja asioita, joiden varaan kansallisen magneettiteknologian vision tulisi perustua. Tällaisina vision rakennusmoduleina nähtiin mm. energian säästö, kitkaton liikkuminen, osuva koulutus ja tutkimus, osaaminen ja innovaatiot, brändit, (sähkömagneetiikan) tuotteet ja palvelut kotitalouksille, energian ja kustannusten säästö, helppous, ekologisuus, käytettävyys, magneettiekosysteemi, hajautettu energiantuotanto, sähköautot, muistimetallit sekä toiminnalliset materiaalit.

Verstaassa luotiin myös muutamia **visiolausekkeita** kuvaamaan kansallista magneettiteknologiaa matkalla kohti vuotta 2020. Tällaisia lauseita olivat mm.:

-
- Magneetti muuttaa maailmaa
 - Puhdas tulevaisuus kaikille
 - Magneeteilla uutta virtaa teollisuuteen
 - Magneeteilla töihin
 - Energiatuotannon regeneraatio (hajauta ja hallitse)
 - Tehdään pienistä suurta – sähköautolla kotiin
 - Magneettiteknologiaa joka tupaan
 - Energiaa säästämällä kitkattomasti osaamisesta brändiksi
-

Alan asiantuntijoille suunnatulla sähköisellä kyselyllä kartoitettiin kansallisen magneettiteknologian klusteria, asiakkaita, palveluita ja työnjakoa 10 – 20 vuoden aikajänteellä eli vuosille 2020 – 2030. Kyselyn mukaan magneettiteknologiaklusterin toimijoiden joukko voisi olla suurikin, edustaen itse substanssin edustajien (magnetismi ja magneettiteknologia) lisäksi myös mm. muotoilijoita, arkkitehtuurin edustajia, markkinoinnin ja viestinnän osaajia sekä suunnittelutoimistoja. Vaikka toimijoiden joukko klusterissa on suuri, pitäisi tätä ”sateenvarjoa” koordinoida suhteellisen suppea, esimerkiksi 5 – 10 toimijan ydinjoukko. Kyselyn mukaan klusterin konkreettisia toimijoita voisivat olla:

Taulukko 6. Kansallisen magneettiteknologiaklusterin toimijoita 2020

Magneettiteknologiaklusterin toimijat 2020	
Yritykset	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Alansa huippua edustavat ja integroituja ratkaisuja tarjoavat, uutta teknologiaa kehittävät ja hyödyntävät yritykset ➤ Yritykset, joilla on omaa kehitystyötä ➤ Alihankintayritykset ➤ Magneetteja valmistava teollisuus: kesto- ja sähkömagneettisekä suprajohdevalmistajat ➤ Muiden magneettisten materiaalien valmistajat ➤ Magneetteja ja magneettisia materiaaleja tuotteissaan käyttävät yritykset (=asiakkaat) mm. lääke-, elintarvike-, meri-, kuljetusväline-, instrumentti-, prosessi- ja kemian-, sähkömoottori-, elektroniikka-, vaate-, kaluste- ja pakkausteollisuus, koneenrakennus, sähkö- ja energiayhtiöt, terveyden- ja sairaanhoito ym.
Yliopistot ja korkeakoulut	<ul style="list-style-type: none"> ➤ mm. alan perustutkimus, mallintaminen sekä monifysiikkatehtävien analysointi
Tutkimuslaitokset	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tutkimuslaitokset, joissa tutkitaan tai joiden tutkimus sivuaa magneettiteknologiaa
Suunnittelutoimistot ja alan konsultit	<ul style="list-style-type: none"> ➤ mm. mekaniikkasuunnittelu, lujuuslaskenta, mittaus- ja säätötekniikka
Kunnat ja valtio sekä julkinen suunnittelu	<ul style="list-style-type: none"> ➤ esim. tiet, kaavoitus, palvelut
Riskirahoittajat	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Tekes, Sitra tms.
Arkkitehdit ja muotoilijat	
Markkinoinnin osaajat	

Kyselyn avulla kartoitettiin myös kansallisen magneettiteknologiaklusterin tehtäviä seuraavien 10 – 20 vuoden tähtäimellä. Kyselyn mukaa suuri tehtävä voisi olla kehittää uutta teknologiaa ja tehdä Suomesta suurvalta alan tekniikan valmistajana. Käytännössä tämä voisi merkitä nykyisten magneettisten materiaalien kehittämistä edelleen paremmiksi ja myös uusien materiaalien kehitystä sekä uusiutuvan energian käyttömahdollisuuksien kehittämistä. Konkreettisina tehtävinä kyselyssä mainittiin:

Taulukko 7. Magneettiteknologiaklusterin tehtäviä 2020

Magneettiteknologiaklusterin tehtävät 2020
<p>Tiedotus, edunvalvonta ja verkottuminen</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Viestinnän ja yhteistyön lisääminen sekä tuottajien että asiakkaiden välillä ➤ Linkki teollisuuden ja yliopistojen välillä ➤ Alan kansainvälisen kehityksen seuraaminen ➤ Tehdä ja julkaista raportteja ➤ Ylläpitää tietokantaa alan toimijoista ym. ➤ Solmia suhteita kotimaisiin ja ulkomaisiin toimijoihin ➤ Toimialayhdistyksen perustaminen esim. Teknologiateollisuus ry:hyn
<p>Alan tutkimus ja koulutus</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Alan innovaatioiden ja kaupallisesti menestyvien tuotteiden tuottaminen ➤ Tutkimuksen edistäminen ja tutkimusprojektit (kotimaa, EU) ➤ Tutkimusohjelman käynnistäminen esim. Tekesiin ➤ Alan korkeakoulutasoinen koulutus ➤ Seminaarit ja kurssit
<p>Yritystoiminnan tukeminen</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Magnetismia käyttävän teollisuuden tukeminen ➤ Nostaa Suomi nousuun ja kehittää uusi Nokia ➤ Uusien magneettiteknologiaa soveltavien yritysten synnyttäminen Suomeen
<p>Mallinnus-, suunnittelu- ja erikoispalveluiden tarjonta</p>

Kyselyn mukaan kansallisen magneettiteknologiaklusterin työnjakoa ei välttämättä ole hyvä jakaa maantieteellisten tai alueellisten keskittymien pohjalta, vaikka tällaisia keskittymiä näyttäisikin jossain määrin Suomessa olevan. Klusterin työnjaon voisi ennemminkin tehdä tehtävien ja toimintojen mukaan siten, että riittävä osallistuminen, osaaminen ja yhteistyö ovat toimivia klusterin verkostossa. Klusterin osallistujat voidaan jakaa työnjaollisesti seuraaviin ryhmiin:

Taulukko 8. Magneettiteknologiaklusterin työnjako 2020

Magneettiteknologiaklusterin työnjako 2020
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Teoreettista tutkimusta tekevät tutkimuslaitokset <ul style="list-style-type: none"> ○ fysiikka, kemia, nano- ja materiaalitekniikka ➤ Soveltavaa tutkimusta tekevät tutkimuslaitokset <ul style="list-style-type: none"> ○ sähkönkäyttö-, energia-, mittaus- ja liikennetekniikka, koneenrakennus, automaatio, lääketieteen vastaavat ➤ Magneetteja tuottavat ja niiden valmistusta sekä valmistusvälineitä kehittävät yritykset ➤ Magneetteja hyödyntäviä laitteita valmistavat ja huoltavat yritykset ➤ Integroituja järjestelmiä valmistavat yritykset ➤ Korkeamman tason suunnittelua tekevät tahot kuten lääketieteen, muotoilun ja taiteen alalla

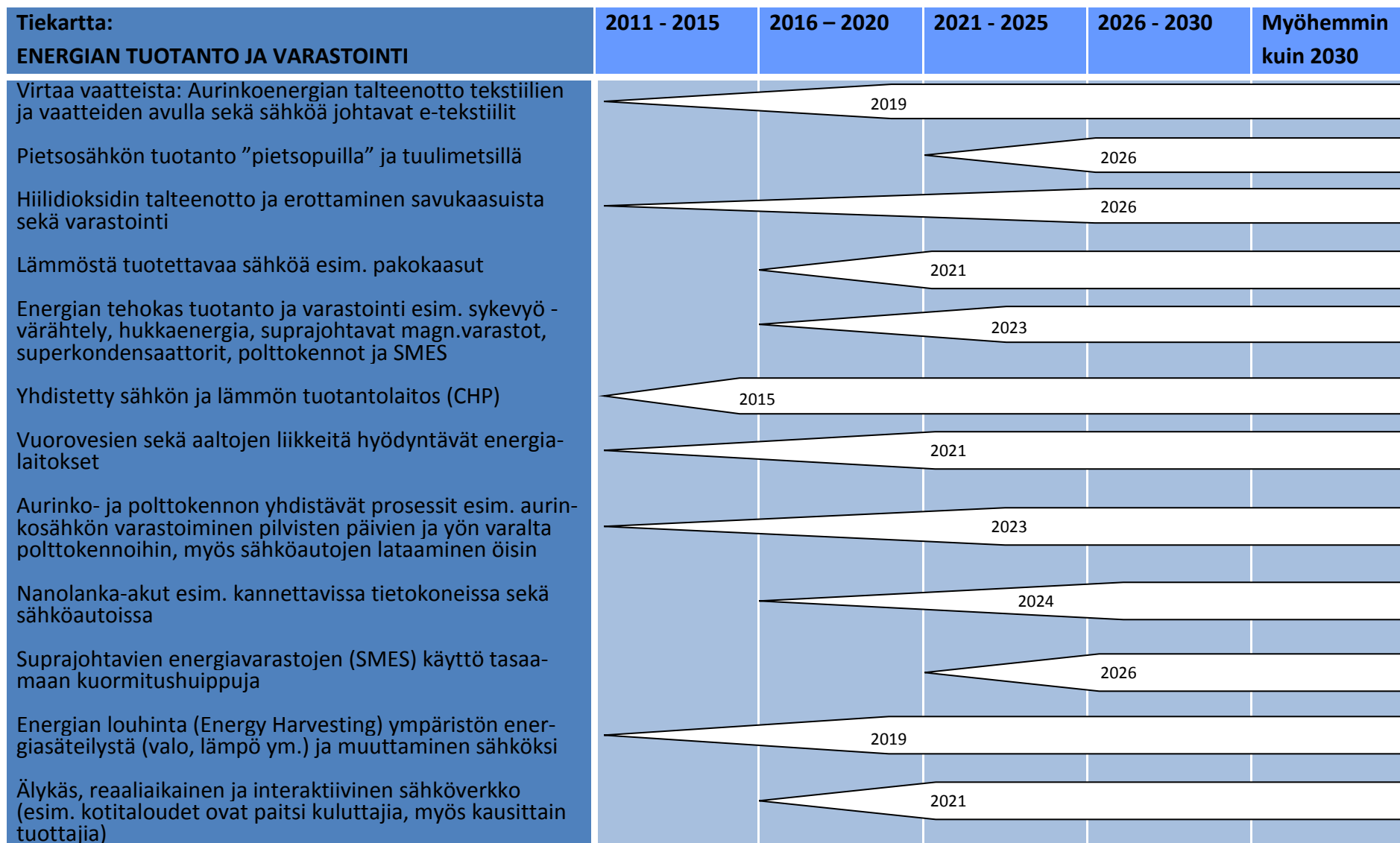
6. TIEKARTAT

Tiekartta on hyvin joustava suunnittelun, oppimisen ja kommunikoinnin väline, jossa itse prosessi ja osallistuminen on tärkeämpää kuin tiekartta. Tiekartta voi saada erilaisia muotoja, mutta yleensä se on aikaan sidottu teknologioita, tuotteita, resursseja, trendejä, markkinoita ym. tarkasteleva kuvio, jossa on useita eri tasoja. Tiekartan tasot sisältävät parhaimmillaan sekä kaupallisen että teknologisen näkökulman tiekartan painotuksesta ja tarkoituksesta riippuen (Tiekartoista enemmän tämän tutkimuksen kappaleessa 2.5. s. 19 - 24).

Tämän tutkimuksen, Magneettiteknologiaklusteri 2020 tiekartta on laadittu kirjallisuusselvityksen, tulevaisuusverstaan sekä asiantuntijakyselyn pohjalta. Tämän tutkimuksen tiekartan laadinnan tarkoituksena on toisaalta ymmärtää teknologioiden sekä toisaalta magneettiteknologiaa käyttävien sovellusten kehitystä, jolloin tiekarttojen tarkastelussa huomioidaan sekä teknologinen että kaupallinen näkökulmasta. Seuraavilla sivuilla on esitetty Magneettiteknologia 2020 tiekartta, joka koostuu viidestä osasta:

1. Energiantuotanto ja varastointi
2. Koneet ja laitteet
3. Magneettiset materiaalit ja prosessit
4. Terveysteknologia
5. Sensorit ja järjestelmät

Huomioitavaa, että tiekarttojen nuolikuvioissa näkyvä vuosiluku (nuolen sisällä) kertoo arvioidun vuoden, jolloin kyseinen asia voisi olla yleisesti käytössä. Luku edustaa asiantuntijakyselystä saatua vuosilukua, jolloin asiantuntijoiden enemmistön (yli 50 % vastanneista) mielestä kyseinen teknologia tai sovellus on teknologisesti mahdollinen sekä kaupallisesti kannattavaa toimintaa.



Kuva 5. *Energian tuotannon ja varastoinnin tiekartta*

Tiekartta:	2011 - 2015	2016 – 2020	2021 - 2025	2026 - 2030	Myöhemmin kuin 2030
KONEET JA LAITTEET					
Vihreät älykkäät sähkö- ja polttokennoautot			2024		
Suprajohtavien sähkökoneiden sovellukset laivoissa, junissa ym. kulkuneuvoissa			2026		
Vierivän moottorin sovellukset esim. robottien nivelmoottoreissa ja tuulimyllyjen roottorin lapojen säädöissä	2020				
Magneettilaakerit laitteistojen saamiseksi tärinättömäksi sekä tiloihin, joissa laakereiden rasvoista ja öljyistä on haittaa esim. lentokoneet		2020			
Koneet ilman pyöriviä ja liikkuvia osia esim. ydinvoimalat, joissa reaktoria säättävät kaasut ja nesteet ja generaattorin korvaa lämpösähköelementti, laivoissa propulsiomoottori ja lentokoneissa patoputkimoottori				2032	
Täysin magneettittoman induktiosähkömoottorin uusi tuleminen (yleistyy magneettien hinnan noustessa jyrkästi)			2023		
Hitaasti pyörivät vaihteettomat sähkökoneet esim. tuuli-voimaloiden generaattorit sekä laivojen potkurit	2014				
Magneettiset puhdistus-, erotus- ja suodatusjärjestelmät		2018			
Simuloinnissa ja mallinnuksessa hyödynnetään laajalti virtuaalitodellisuutta interaktiivisesti asiakkaiden kanssa. Jäljittelijälaitteet suunnittelevat, rakentavat, testaavat räätälöidyn tai massakustomoidun tuotteen rakenteen aina pi-lottivaiheeseen asti.	2015				

Kuva 6. Koneet ja laitteet tiekartta

Tiekartta: MAGNEETTISET MATERIAALIT	2011 - 2015	2016 – 2020	2021 - 2025	2026 - 2030	Myöhemmin kuin 2030
Nanoteknologiset painettavat aurinkoenergiaa talteen ottavat kalvot käytettäväksi esim. maaleissa ja rakenteissa kuten talon seinät, katot ja ikkunat		2019			
Magneettisten öljyjen kehittäminen, joilla voidaan aikaansaada tiiviys ilman tiivisteitä			2024		
Uudet pulverimetallurgiset sovellukset kuten magneettisydämet sekä kolmiulotteiset ratkaisut			2022		
Magneettisten muistimetallien hyödyntäminen erilaisissa rakenteissa kuten autojen koreissa				2027	
Hiilipohjaisten nanomateriaalien käyttö ohutfilmipohjaisissa transistoreissa, sensoreissa, superkondensaattoreissa sekä tv-näytöissä ja e-kirjoissa			2024		
Elektronisesta paperista sekä OLED -materiaalista (Organic Light Emitting Diode) valmistetut joustavat näyttöpinnat kuten arkkitelevisio			2021		
Asumisen uudet magneettiteknologiaa hyödyntävät materiaalit kuten esimerkiksi itsepuhdistavat pinnat, funktionaaliset, ulkonäköään, kuviointiaan ja lämmönläpäisykykyään muuttavat seinämateriaalit ym.				2026	
Hiilinanoputkimateriaalista valmistetut mikrovirtapiirit, transistorit ym. joustava elektroniikka ovat yleisesti kaupallisessa käytössä				2025	

Kuva 7. Magneettisten materiaalien tiekartta

Tiekartta: TERVEYTEKNOLOGIA	2011 - 2015	2016 – 2020	2021 - 2025	2026 - 2030	Myöhemmin kuin 2030
Lääkeaineiden kuljetus elimistössä: syötävä elektroniikka nieltävän lääkkeen yhteydessä, jossa elektroniikka tehtävänsä tehtyään liukenee mahahappojen ansiosta mm. syöpälääkkeen vieminen sairaaseen soluun, muun terveen kehon osien siitä kärsimättä				2026	
Leikkausrobottien käyttö kirurgiassa (myös nanokokoiset robotit)			2022		
Magneettiresonanssikuvauslaitteen käyttö esimerkiksi puututkimuksessa sekä elintarviketeollisuudessa ruoan kypsytymisen seurannassa			2021		
Kuivamuuntajien käyttö röntgenlaitteissa perinteisten yksiköiden koon pienentämiseksi ja keventämiseksi sekä korvaamaan öljyjäähdytteiset muuntajat		2020			
Ihmisten varaosat kuten sydän, keinokeuhkot, munuaiset ja maksa				2029	

Kuva 8. Terveysteknologian tiekartta

Huom! Ihmisten varaosia kyetään tutkimusten ja kirjallisuuden mukaan valmistamaan jo vuoteen 2020 mennessä (ks. tämän tutkimuksen s. 38 - 39), mutta niiden käyttö yleistyy myöhemmin.

Tiekartta: SENSORIT JA JÄRJESTELMÄT	2011 - 2015	2016 – 2020	2021 - 2025	2026 - 2030	Myöhemmin kuin 2030
Kunnonvalvonnan sensorien, värähtelymittauslaitteiden, etävalvonnan- ja luennan välineiden ym. kehittäminen alkavien vikojen havaitsemiseksi esimerkiksi voimalaitosten koneet					
Magneettiteknologian hyödyntäminen rakennus- ja koti-automaatiossa hyödyntämällä MEMS -järjestelmiä (Micro-Electro-Mechanical Systems) esimerkiksi lyhyen kantaman langaton kommunikointi, anturitekniikka ja toimilaitte- sekä oheiselektroniikka integroidaan yhdelle matalan tehonkulutuksen mikropiirille					
RFID -teknologia on laajalti käytössä yhdessä lämpötilaa, kosteutta, korroosiota ym. mittaavien sensorien kanssa sekä yritysten välisten materiaalien seurannassa					
RFID -teknologia on laajalti käytössä integroiduissa sensoreriverkoissa ja verkot ovat käyttäjälle näkymättömiä					

Kuva 9. Sensorit ja järjestelmät tiekartta

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin magneettiteknologiaklusteriin vaikuttavia trendejä ja kartoitettiin mahdollisia kehityskulkuja ja sovellusalueita. Työmme keskittyy avaamaan uusia näköaloja magneettiklusterin jäsenille ja muistuttamaan siitä, että vahvasti B2B-orientoituneen sektorin toiminnalle on hyvin avartavaa pohtia B2C- näkökulmaa, erityisesti kuluttajuuteen ja kuluttajakäyttäytymiseen vaikuttavia suuria trendejä, joiden vaikutus tulee tuntumaan hyvin voimakkaana myös teknologioiden kehittämisessä.

Raporttimme lopussa ovat tiekartat, joihin on koottu Suomen magneettiklusterin asiantuntijoiden arviot eri sovellusalueiden toteutumisen ja yleistymisen ajankohdista. Niitä ei pidä ottaa kiveen kirjoitettuna totuutena, ne ovat kirjaimellisesti asiantuntija-arvioita sovellusalueiden kehityksestä. Asiantuntijakyselyn pohjalta luotiin tiekartat viidelle eri teemalle: 1. Energian tuotanto ja varastointi, 2. Koneet ja laitteet, 3. Magneettiset materiaalit, 4. Terveysteknologia ja 5. Sensorit ja järjestelmät. Energian tuotannon ja varastoinnin alalla asiantuntijat uskoivat seuraavien sovellusalueiden realisoituvan raportin tarkastelukaudella (vuoteen 2020 mennessä): Aurinkoenergian talteenotto tekstiilien avulla, yhdistetyt sähkön ja lämmön tuotantolaitokset, ja energian louhinta ja muuttaminen sähköksi. Hyvin pian tarkastelukauden sisällä uskottiin lisäksi seuraavien sovellusalueiden syntyyn: Lämmöstä tuotettavan sähkön sovellusalueet, vuorovesien ja aaltojen energiaa hyödyntävät energialaitokset ja älykäs ja reaaliaikainen sähköverkko, jossa esimerkiksi kotitaloudet ovat perinteisen kuluttajaroolinsa lisäksi myös kausittain tuottajia.

Koneita ja laitteita käsittelevässä tiekartassa asiantuntijat uskoivat seuraavien sovellusalueiden mahdollistuvan tarkastelukaudella: Vierivän moottorin sovellukset, magneettilaakeroinnin lisääntyminen, hitaasti pyörivät sähkökoneet ja magneettiset puhdistus-, erotus- ja suodatusjärjestelmät. Myös täysin magneettittomien induktiosähkömoottoreiden uskottiin yleistyvän uudelleen merkittävästi pian tarkastelukauden jälkeen. Mikäli magneettien hintakehitys jatkuu rajuna, saattavat kokonaan kestopagneettittomat moottorit yleistyä nopeastikin. Magneettisten materiaalien alalla asiantuntijat uskoivat nanoteknologiaa hyödyntävien, painettavien ja aurinkoenergiaa talteen ottavien kalvojen yleistyvän vuoteen 2020 mennessä. Pian tarkastelukauden jälkeen realisoituvien materiaalisovellusten listaan asiantuntijat lisäsivät myös elektronisen paperin.

Terveysteknologioita käsittelevän tiekartan sovellusten uskottiin vaativan pidemmän tarkastelukauden ennen yleistymistään. Asiantuntijoiden arvion mukaan ainut terveysteknologinen sovellusalue, joka yleistyy pian tarkastelukauden jälkeen, on MRI-laitteiden käyttö esimerkiksi puututkimuksessa ja elintarviketeollisuudessa. Sensoreita ja järjestelmiä koskevassa tiekartassa uskottiin kunnon- ja etävalvonnan sekä etäluennan sovellusten merkittävään lisääntymiseen vuoteen 2020 mennessä. Asiantuntijat uskovat myös RFID-teknologian yleistymiseen ja lisääntymiseen muutaman vuoden kuluessa.

Tiekarttojen ja raportin tiivistyksenä voidaan listata muutamia selkeitä kehityskohteita, joihin magneettiklusterin toimijoiden kannattaisi huomiotaan suunnata. Eräänä työmme punaisena lankana voidaan nähdä niukentumisen vaikutus kuluttajuuteen ja teknologioiden kehittämiseen. Tulevaisuu-

den sloganiksi tuntuu hyvin monella sektorilla sopivan ”vähemmällä enemmän”. Tämä koskee erityisesti energian tuotantoa, johon joudutaan jatkossa suuntaamaan entistä enemmän huomiota. Kokonaisenergiankulutuksen vähentäminen merkitsee sähköenergian kulutuksen kasvua ja tällainen ”täys-sähköinen” yhteiskunta vaatii runsaasti hyvin suunniteltuja ja tehokkaasti toimivia laitteita, mikä luo suuret markkinat kotimaiselle magneettiosaamiselle. Suomessa on pohjaa työkonevalmistukselle ja kokemusta autoteollisuudesta, joten suomalaisen sähköauton valmistusmahdollisuuksia tulisi selvittää edelleen.

Energiantuotanto hajautetusti, pienissä yksiköissä ja innovatiivisten materiaalien avulla saattaa luoda magneettiteollisuudelle merkittäviä markkinamahdollisuuksia ja sovellusalueita. Pienet tuotantoyksiköt, joilla esimerkiksi kotitaloudet voisivat tuottaa omaan käyttöönsä riittävästi sähköenergiaa, ovat valtavan potentiaalinen sovellusalue. Erityisesti suuren väestönkasvun maissa, joissa suuria väkijoukkoja asuu sähköverkon ulkopuolella, on valtava potentiaalinen kysyntä tällaisille sovelluksille. Energiantuotannon lisäksi teollisuudessa näkyy selvänä trendi, jossa pyörivistä osista halutaan eroon. Taustalla on halu vähentää kunnossapidon ja huollon tarvetta ja kustannuksia sekä luoda entistä luotettavampia ja vakaampia kunnonvalvontaan ja ohjaukseen liittyviä sensorijärjestelmiä.

Erityisesti valmistavan teollisuuden kannalta on tärkeää määritellä, mikä rooli harvinaisilla maametalleilla on Suomen magneettiklusterin toiminnassa. Kiinan hallitessa valtaosaa maailman harvinaisten maametallien resursseista ja Yhdysvaltain, Australian ja Japanin jakaessa loput kakusta on syytä pohtia, voidaanko harvinaisten maametallien kitkattomaan saatavuuteen luottaa myös tulevaisuudessa. Magneettiteknologian kehittymistä merkittävästi edesauttavien materiaali- ja nanoteknologioiden kehitystä on syytä seurata tarkkaan, sillä parhaassa tapauksessa tätä harvinaista resurssia voidaan niiden avulla jopa korvata. Toistaiseksi suurvaltojen satsaus omavaraiseen tai ainakin kilpailevasta blokista riippumattomaan harvinaisten maametallien toimitusketjuun antaa olettaa, että varmuutta harvinaiset maametallit korvaavan materiaalin markkinoille tulosta ei ole. Sähköisten laitteiden jatkuva lisääntyminen tuo harvinaisille maametalleille useita käyttökohteita ja kilpailee siten kestomagneetteihin liikenevästä osuudesta. Tilannetta on syytä seurata ja tietoja päivittää säännöllisesti.

Viimeisenä, vaan ei vähäisimpänä seikkana, magneettiklusterin menestys riippuu ensiluokkaisesta osaamisesta. Alan huippuosaamisen syntyminen on hankalaa, jos teknillisissä oppilaitoksissa ja korkeakouluissa ei pääse perehtymään magneettiteknologiaan. Ensimmäisiä askelia täsmäkoulutuksen suuntaan otetaan esimerkiksi Tampereen teknillisen yliopiston Porin yksikössä, jossa on jo tarjolla magneettimateriaaleja käsitteleviä kursseja. Tämä on hyvä alku, jonka tueksi tulisi luoda lisää alan koulutusta ja huippututkimusta. Magneettiklusterilla on hyvät mahdollisuudet luoda huomattava määrä uusia työpaikkoja ja liiketoimintaa, kunhan perusedellytyksestä, eli osaamisesta huolehditaan.

LÄHTEET

- Ahvenainen, Marko & Hietanen, Olli & Huhtanen, Heikki (2009b) Tulevaisuus paketissa. Tutujulkaisu 2/2009. Tulevaisuuden tutkimuskeskus. Turun kauppakorkeakoulu: Turku
- Albright, Richard (2002) Roadmapping Frameworks: Science and Technology Roadmaps to Product-Technology Roadmaps. The Albright Strategy Group. Saatavilla netistä: www.albrightstrategy.com. Luettu 22.10.2010
- Alignent Software (2005) White Paper: A New Breed of Manufacturing: Driving Innovation with Strategic Roadmapping. Saatavissa netistä www.alignent.com. Luettu 22.10.2010
- Allan, Roger (2004) The Future of Sensors. Saatavilla netistä: <http://electronicdesign.com/article/components/the-future-of-sensors8326.aspx>. Luettu 8.7.2011
- Andersen, Per Dannemand & Jörgensen, Birte Holst & Lading, Lars & Rasmussen, Birgitte (2004) Sensor foresight – Technology and market. Technovation 24 (2004) pp. 311 – 230. Saatavilla netistä www.elsevier.com/locate/technovation. Luettu 22.10.2010
- Arnold Magnetics. Permanent Magnet Application Guide. Arnold Magnetic Technologies Corporation. Saatavilla netistä <http://www.arnoldmagnetics.com/Content1.aspx?id=4627>. Luettu 21.12.2010
- Behrman & Ratnam (2010) Lynas Says Rare Earth Demands to Grow at 9 % a Year. Saatavilla netistä <http://www.bloomberg.com/news/2010-10-25/lynas-corp-says-global-demand-for-rare-earths-to-expand-at-9-annually.html> Luettu 31.1.2011
- Blank, R. (2009) Recent Developments for High Performance R-Fe-B Magnets. VAC Vacuumschmelze. Esitysmateriaali seminaarista Magnetic Materials in Electrical Machine Applications 2009, 4.-6.11.2009: Pori, Finland. Saatavilla netistä <http://www.prizz.fi/linkkitiedosto.aspx?taso=2&id=415&sid=726>. Luettu 21.12.2010
- Cetron, Marvin J. (2009) Timeline for the Future. Potential Developments and Likely Impacts. The Futurist. March-April 2009. Saatavilla netistä http://www.wfs.org/Dec09-Jan10/MA2009_Cetron.pdf. Luettu 21.12.2010
- Clagett, Terry K. (2007) The Global Permanent Magnet Market. Esitysmateriaali 2007 Magnetics Conference. Lincolnshire Marriot, Chicago, IL. April 4 & 5, 2007. Materiaali saatavissa netistä www.WebMagnetics.com. Luettu 4.1.2011
- Coe, J. M. D. (2001) Magnetism in future. Journal of Magnetism and Magnetic Materials 226 – 230 (2001) p. 2107 – 2112. Elsevier Science. Saatavilla netistä www.elsevier.com/locate/jmmm. Luettu 16.11.2010
- Constantinides, S. (1995) Novel Permanent Magnets and Their Uses. Presented at the MRS Conference and Exposition, San Francisco, May 1995. Saatavilla netistä <http://www.arnoldmagnetics.com/Content1.aspx?id=4828>. Luettu 21.12.2010
- Constantinides, Steve (2003) Magnet Selection. Presented at Sintered & Bonded NdFeB Magnets 2003 seminar held in October 15-17, 2003. Saatavilla netistä www.arnoldmagnetics.com. Luettu 10.12.2010
- Cordier (2011) U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, January 2011
- DeGregorio, G. (2000) Technology Management via a Set of Dynamically Linked Roadmaps. Proceedings of the 2000 IEEE Conference. Albuquerque: New Mexico. pp. 184-190

- Diehlman, Steve (2011) Too Rare: Toyota Hybrids, EVs Moving Away From Magnet Motors. Source: The Wall Street Journal. Saatavissa netistä: <http://wot.motortrend.com/toyota-evs-hybrids-could-new-rare-mineral-free-electric-motors-23953.html>. Luettu 21.1.2011
- Dillow (2010) New Nanocomposite Magnets Could Reduce the Demand for Rare Earth Elements. Saatavilla: <http://www.popsci.com/science/article/2011-01/new-nanocomposite-magnets-could-reduce-demand-rare-earth-elements> Luettu 31.1.2011
- Enfucell Oy:n kotisivut <http://www.enfucell.com/>. Luettu 16.3.2011
- EREC (2008) Renewable Energy Technology Roadmap 20 % by 2020. European Renewable Energy Council. November 2008. Saatavilla netistä www.erec.org. Luettu 8.12.2010
- Foo, Juniper (2010) YeZ car sucks in CO₂ , exhales oxygen. Crave-CNET News. Saatavissa netistä: http://www.news.cnet.com/8301-17939_105-20005538-1.html
- Forsell, Peter (2010) Fysiikan peleihin kuuluu magneettinen monopoli. Artikkelitiede lehdessä 1/2010 s. 44 - 47
- Fowler, Kim R. (2009) The Future of Sensors and Sensor Networks. Survey Results Projecting the Next 5 Years. © 2009 IEEE. Saatavilla netistä <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=04801766>. Luettu 13.4.2011
- Friedewald, Michael & Da Costa, Olivier (2003) compiled and edited. Science and Technology Roadmapping: Ambient Intelligence in Everyday Life. European Science and Technology Observatory. June 2003
- Garcia, Marie L. (1997) Introductory to Technological Roadmapping. The Semiconductor Industry Association's Technology Roadmapping Process. SAND97-0666. Sandia National Laboratories. Albuquerque. NM. Garcia, Marie L. and Bray, O. "Fundamentals of Technology
- Gindy, Nabil N.Z. & Cerit, Bu" lent & Allan Hodgson (2006) Technology roadmapping for the next generation manufacturing enterprise. School of Mechanical, Materials and Manufacturing Engineering, University of Nottingham, Nottingham, UK. Saatavilla netistä: <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1550279&show=abstract>. Luettu 8.12.2010
- Glaser, Steven D. & Li, Hui & Wang, Ming L. & Ou, Jinping & Lynch, Jerome (2007) Sensor technology innovation for the advancement of structural health monitoring: a strategic program of US-China research for the next decade. Smart Structures and Systems. Vol. 3. No. 2 (2007). pp 221 – 244.
- Gordon, Theodore J. (2009) Science and Technology Roadmapping. The Millenium Project. Futures Research Methodology – V3.0
- Haavisto, Minna & Paju, Martti (2008) Ovatko harvinaiset maametallit käymässä harvinaisiksi? Materia 1/2008 s. 18 - 22. Saatavilla netistä <http://www.prizz.fi/linkkitiedosto.aspx?taso=3&id=756&sid=784>. Luettu 8.12.2010
- Haavisto, Minna (2007) Esitysmateriaali 8.11.2007: Magneettiset materiaalit. Prizztech Magneettiteknologiakeskus. Saatavilla netistä <http://www.prizz.fi/linkkitiedosto.aspx?taso=2&id=181&sid=491>. Luettu 19.2.2011
- Halal, William E. (2009) Forecasts of a new economic boom in 2015. TechCast Article Series. TechCast virtual think tank. Saatavissa netistä: <http://www.techcast.org>. Luettu 18.2.2011
- Halal, William E. (2011) Alternative Energy. TechCast virtual think tank. Saatavissa netistä: <http://www.techcast.org>. Luettu 18.2.2011
- Haller, Michael (2008) Interactive displays and next-generation interfaces. Research Report. Emerging technologies for learning. Volume 3(2008). Becta
- Hamilo, Marko (2010 a) Nano. Ihanan tehokas hyötysuhde. Tiede 11/2010 s. 16-17

- Hamilo, Marko (2010 b) Uutta kamaa molekyyliautoista nanonuppuihin. *Tiede* 11/2010 s. 22 – 23
- Helle, Aino (toim.) 2004 Teollisuuden käynnissä pidon prognostiikka. VTT Symposium 236 materiaali. VTT 2005: Espoo
- Hietanen, Olli & Lauttamäki, Ville & Vehmas, Jarmo & Heikkilä, Juha & Lehmann-Chadha, Martin (2006) Jätealan megatrendit ja haasteet Euroopassa. Loppuraportti. Turun kauppakorkeakoulu. Tulevaisuuden tutkimuskeskus. Tutu-julkaisu 5/2006
- Hietanen, Olli (2005) Vanhasta taloudesta uuteen – ja uudesta digitaaliseen talouteen. Teoksessa Antti Kasvio & Tommi Inkinen & Hanna Liikala (toim.) 2005. Tietoyhteiskunta. Myytit ja todellisuus. Tampere: Tampere University Press
- Higgins, James M. (2009) Your Solar-Powered Future. It's Closer Than You Thought. *The Futurist*. May – June 2009. World Future Society. U.S.A
- Ikäheimo, Jouni (2004) New Roles for permanent magnet technology. ABB Special Report. May 2004 s. 37 - 40
- Jokinen, Tapani & Arkkio, Antero (2004) Selvitys magneetteja tuotteissaan käyttävän suomalaisen teollisuuden tutkimuksen ja tuotekehityksen tarpeista ja mahdollisuuksista. Tekesin tilaama raportti. Julkaistu 19.4.2004. Saatavilla netistä www.tekes.fi/fi/document/43259/selvitys_magneetteja_pdf tai tätä kautta http://www.tekes.fi/fi/community/Julkaisut_ja_uutiskirjeet/333/Julkaisut/1367#. Luettu 16.11.2010
- Järviö, Jorma (2004) Kunnossapito. Kunnossapitoyhdistys ry.: Rajamäki. KP-Media Oy
- Kaarela, Olli (2011) Älykkäät anturit ja etävalvontajärjestelmät kunnonvalvonnassa. Opinnäytetyö. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Oulun seudun ammattikorkeakoulu 26.5.2011
- Kaivo-oja, Jari (2011) Sairaalan- ja terveydenhoidon ammattien tulevaisuus Suomessa. Hoitotieteen vuosikirjassa julkaistava artikkeli. Vielä julkaisematon.
- Kameoka, A., Kuwahara, T. & Li, M. (2003) Integrated Strategy Development: An Integrated Roadmapping Approach. Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). Portland: Oregon. pp. 370-379
- Kangasniemi, Tuomas (2008) Suprajohtavat rautayhdisteet avasivat kokonaan uuden tutkimusalan. *Tekniikka & Talous* nettilehti <http://www.tekniikkatalous.fi/tk/article150856.ece>. Luettu 30.11.2010
- Kankaanpää, Harri (2007) Pehmeämagneettiset materiaalit. Kurssimateriaali magneettisista materiaaleista 8. – 9.11.2007. Prizztech Magneettiteknologiakeskus. Saatavissa netistä <http://www.prizz.fi/tulostussivu.aspx?taso=4&id=498>. Luettu 21.3.2011
- Kappel, T.A. (2001) Perspectives on Roadmaps: How Organisations Talk about the future. *Journal of Product Innovation Management*. Vol. 18. No. 1, pp. 39-50
- Kauppinen, Esko L. (2009) Carbon Nanomaterials: Nanotubes and Nanobuds and Graphene towards new products 2030. Forecast Seminar material February 13, 2009. Helsinki University of Technology (TKK): Helsinki
- Kirveenummi, Anna & Saarimaa, Riikka & Mäkelä, Johanna (2008) Syödään leväpullia pimeässä. Tähtikartastoja suomalaisten ruoan kulutukseen vuonna 2030. Tulevaisuuden tutkimuskeskuksen julkaisu. Turku: Tulevaisuuden tutkimuskeskus, Turun yliopisto
- Kostoff, R.N. & Schaller, R.R. (2001) Science and Technology Roadmaps. *IEEE Transactions on Engineering Management*. Vol. 48, No. 2, pp. 132-143
- Kuopion yliopiston (Itä-Suomen yliopiston) Fysiikan laitoksen luentomateriaali. Fysiikan laboratoriotyöt 2, osa II. Hysteresis ja Hall-ilmiö. Saatavissa netistä http://venda.uku.fi/studies/courses/FLT2/tyoohjeet/hysteresis_ja_hall.pdf. Luettu 28.2.2011

- Madrigal, Alexis (2007) Sensors of the Future Will Create The Matrix. Saatavilla netistä <http://www.wired.com/wiredscience/2007/12/sensors-of-the/>. Luettu 16.5.2011
- Mikkonen, Henry & Miettinen, Juha & Jantunen, Erkki & Kokko, Voitto & Riutta, Erkki & Sulo, Petri & Komonen, Kari & Lumme, Veli-Erkki & Kautto, Juha & Heinonen, Kari & Lakka, Sami & Mäkeläinen, Risto (2009) Kuntoon perustuva kunnossapito. Mikkonen, Henry (toim.) Kunnossapitoyhdistys Promaint: Helsinki. KP-Media Oy
- Minesto (2010) News and Press Releases. Saatavilla netistä <http://www.minesto.com/news-2> tai http://www.minesto.com/files/cms/uploaded_files/2011-02-28_pr-carbon-trust-20110228.pdf. Luettu 31.5.2010 sekä 2.3.2011
- Morse, Gardiner (2009) On the Horizon Six Sources of Limitless Energy. Harvard Business Review. September 2009 s. 66 – 67
- Nohynek, Petri & Lumme, Veli Erkki (2004) Kunnonvalvonnan värähtelymittaukset. 2. täydennetty painos. Kunnossapitoyhdistys ry.: Rajamäki, KP-Media Oy
- Nurmi, Timo & Vähätalo, Mikko & Saarimaa, Riikka & Heinonen, Sirkka (2010) Ubitrendit: Tulevaisuuden ubiteknologiat. Kehityskulkuja, sovelluksia, trendejä ja heikkoja signaaleja. Tutu-ejulkaisuja 4/2010. Tulevaisuuden tutkimuskeskus. Turun yliopisto 2010
- Penttinen, Jyrki (2001) GPRS-tekniikka. Verkon rakenne, toiminta ja mitoitus WSOY: Helsinki.
- Phaal, R. & Farrukh, C.J.P. & Probert, D.R. (2004) Customizing Roadmapping. Research – Technology Management 47 (2), pp. 26-37
- Phaal, R., Farrukh, C. & Probert, D. (2005) Developing a Technology Roadmapping System. Proceedings of the Portland International Conference on Management of Engineering and Technology (PICMET). Portland: Oregon. pp. 99-111
- Prizz Uutiset (2008a). Magnets make the world go around. Saatavilla netistä <http://www.prizz.fi/linkkitiedosto.aspx?taso=3&id=750&sid=784>. Luettu 8.12.2010
- Prizz Uutiset (2008b). NdFeB-magneetit pelastavat maailman. Saatavilla netistä <http://www.prizz.fi/linkkitiedosto.aspx?taso=3&id=755&sid=784>. Luettu 8.12.2010
- Prizz Uutiset (2009) Suprajohtava energiavarasto. Saatavilla netistä <http://www.prizz.fi/linkkitiedosto.aspx?taso=4&id=487&sid=501>. Luettu 14.1.2011
- Pyyskänen, Seppo (2007) Teollisuuden laiteverkot. Suomen automaatioseura ry. Picaset Oy: Helsinki
- Rantanen, Kalevi (2008) Elektroniikkaa biljoonapainoksi. Artikkelitiede-lehdessä 10/2008.
- Repo, Hanna (2010) Kone saa tunteet. Kauppalehti 18.1.2010, sivut 16-17
- Remes, Mika (2011) Nanopallit uuteen järjestykseen. Artikkelitieteentekniikka-lehdessä. CSC – Tieteen tietotekniikan keskus Oy:n sidosryhmälehti Helmikuu 1/2011. s. 8 – 9: Espoo
- Riikonen, Tellervo (2010) Nano mullistaa lääketieteen. Ohjus tähtää syövän ytimeen. Tiede 11/2010 s. 20 -21
- Rovio, Teemu & Viljamaa, Jonna (2008) Suprajohtava generaattori tuulivoimalassa. Tampereen teknillinen yliopisto seminaarimateriaali 8.2.2008 Seminaaripäivä, Pori
- Santa-Nokki, Timo (2007) Pehmeämagneettiset materiaalit. Kurssimateriaali magneettisista materiaaleista 8. – 9.11.2007. Prizztech Magneettiteknologiakeskus. Saatavissa netistä <http://www.prizz.fi/tulostussivu.aspx?taso=4&id=498>. Luettu 21.3.2011
- Saslow Wayne (2002) Electricity, Magnetism and Light - Elsevier. Academic Press. Saatavilla netistä <http://www.elsevier.com>. Luettu 4.1.2011
- ScienceDaily (2010) Plug Your iPod Into Your T-Shirt for Power. January 25, 2010. Web address: <http://www.sciencedaily.com/releases/2010/01/100120113556.htm>
- Senturia, S. (2001) Microsystem Design. Kluwer Academic Publishers, Boston

- Simola, Kaisa (2010) Uusia materiaaleja magneettisesta nanoselluloosasta. Uutinen saatavilla netistä <http://www.tekniikkatalous.fi/tk/nanotekniikka/article481237.ece>. Luettu 9.2.2011
- Taleb, Nassim (2007) Musta Joutsen - Erittäin epätodennäköisen vaikutus. Helsinki: Terra Cognita
- The Futurist – Outlook 2011 in The Futurist. November – December 2010. World Future Society. U.S.A
- Tiede-lehden uutiskirje 21.4.2010. Saatavilla netistä <http://www.tiede.fi/uutiskirje>. Luettu 17.2.2011
- Tiede-lehti 5/2010. Kalevi Rantasen artikkeli Pyörä matkalla museoon.
- Turunen, Antti (2010) Remote Condition Management. Wind Systems Magazine. June 2010
- Tähtinen, Leena (2007) Suprajohteilla vihreää teknologiaa. Tiede-lehden uutiskirje 1.6.2007. Saatavilla netistä: <http://www.tiede.fi/uutiskirje>. Luettu 17.2.2011
- US Geological Survey (2008) Papp, John F.; Bray, E. Lee; Edelstein, Daniel L.; Fenton, Michael D.; Guberman, David E.; Hedrick, James B.; Jorgenson, John D.; Kuck, Peter H.; Shedd, Kim B. ja Tolcin, Amy C.
- Valopilkku. Turku Energian asiakaslehti 2/2010
- Ventä, Olli & Taskinen, Pekka & Keränen, Janne toim. (2009) Multi-disciplinary challenges of Modeling and Simulation in Finnish Industry. Tekes-Masi technology program esitysmateriaali. Agora, Jyväskylä, Finland 16.3.2009
- von Herten, Mikael & Timonen, Juhani & Huuhka, Pekka (2007) Update of GIGA-VAMOS-Technology Roadmap. Oy Swot Consulting Finland Ltd. Technology Review 206/2007. Tekes: Helsinki 2007
- Wikipedia/Hans Christian Oersted, Saatavilla http://fi.wikipedia.org/wiki/Hans_Christian_%C3%98rsted Luettu 30.8.2011

AIKAISEMPIA TUTU-eJULKAISUJA

- 8/2011 Kaivo-oja, Jari: Futures of Innovation Systems: Towards Better Innovation Quality With New Innovation Management Tools
- 7/2011 Lauttamäki, Ville (ed./toim.): Peeks into the Future - Kurkistuksia tulevaisuuteen. Stories of Possible Futures Written for massidea.org. Kooste massidea.org sivustolle syöte-tyistä tulevaisuustarinoista.
- 6/2011 Hoffrén, Jukka - Kaivo-oja, Jari & Aho, Samuli: Erään keskeisen tulevaisuuden yhteis-kuntapoliittisen päätöksenteon ja seurantamittarin lähtökohdat. Yhteenveto BKT:n käsitteellisestä ja teoreettisesta kritiikistä.
- 5/2011 Auffermann, Burkhard & Kaskinen, Juha (editors): Security in Futures - Security in Change. Proceedings of the Conference "Security in Futures - Security in Change", 3-4 June 2010, Turku, Finland.
- 4/2011 Heinonen, Sirkka - Keskinen, Auli & Ruotsalainen, Juho. RIIHI - radikaalit innovaatiot ilmastonmuutoksen hillitsemiseksi. RIIHI-tulevaisuusklinikan tulokset.
- 3/2011 Rubin, Anita & Siivonen, Katriina: Kärjet tekevät aina reikiä seiniin, muuten ilma um-mehtuu. Osallisuuden luova voima.
- 2/2011 Heinonen, Sirkka & Ruotsalainen, Juho: Kestävä monipaikkaisuus. Sitran Tulevaisuuskli-nikan 10.12.2010 tulokset.
- 1/2011 Turunen, Jenny -Snäkin, Juha-Pekka - Panula-Ontto, Juha -Lindfors, Heikki -Kaisti, Hanna -Luukkanen, Jyrki - Magistretti, Stefano & Mang, Chinda. Livelihood resilience and food security in Cambodia - Results from a Household Survey.
- 8/2010 Lauttamäki, Ville & Heinonen, Sirkka: Vähäisten päästöjen Suomi 2050. Raportti ilmas-to- ja energiapoliittisen tulevaisuusselonteon skenaario-työstä.
- 7/2010 Varho, Vilja & Joki, Laura: Suomen liikennesektorin tulevaisuus. Ensimmäisen Delfoi-kerroksen perusteluja.
-

TUTU-eJULKAISUJA 9/2011

Timo Nurmi, Mikko Vähätalo & Riikka Saarimaa

MAGNEETTITEKNOLOGIAKLUSTERI 2020

ISBN 978-952-249-127-5

ISSN 1797-132



Turun yliopisto
University of Turku

