

Avainteknologiat ja tulevaisuus

Yhteiskunnallisia tarkasteluja nousevien teknologioiden ja
kvalifikaatioiden yhteyksistä

Opetusministeriön julkaisuja 2003:2

Toni Ahlqvist

Avainteknologiat ja tulevaisuus

**Yhteiskunnallisia tarkasteluja nousevien teknologioiden
ja kvalifikaatioiden yhteyksistä**

Opetusministeriön julkaisuja 2003:2

Toni Ahlqvist



OPETUSMINISTERIÖ

Undervisningsministeriet

MINISTRY OF EDUCATION

Ministère de l'Éducation

Opetusministeriö
Koulutus- ja tiedepolitiikan osasto
Meritullinkatu 10, Helsinki
PL 29, 00023 Valtioneuvosto

<http://www.minedu.fi>

<http://www.minedu.fi/julkaisut/koulutus/index.fi>

Taitto: Teija Metsänperä, opetusministeriö
Yliopistopaino, Helsinki, 2003

ISBN 952-442-487-8 (nid.)
ISBN 952-442-566-1 (PDF)
ISSN 1458-8110

Opetusministeriön julkaisuja 2003:2

Tiivistelmä

Keys to Futures -tutkimus käynnistettiin kauppaja- ja teollisuusministeriön ja opetusministeriön toimeksiannosta ja sen toteutti Teknillisen korkeakoulun Lahden keskus. Tutkimuksessa analysoitiin tulevaisuuden keskeisimpien teknologisten kehityslinjojen (avainteknologiat) yhteiskunnallisia, koulutuksellisia ja ammatillisia vaikutuksia. Tutkimuksessa avainteknologioiksi määriteltiin informaatio- ja kommunikaatioteknologia, bioteknologia sekä materiaali- ja nanoteknologia. Lisäksi tarkasteltiin näiden avainteknologiaryhmien yhdistelmiä ja niiden vaikutuksia.

Keskeisimmiksi tulevaisuuden teknologioiden kehityskohteiksi tutkimuksessa arvioitiin kohdennetut lääkkeet, sensorit, integroitu teknologia, biolääketieteelliset materiaalit, fotoniset materiaalit, 3G-teknologia, älymateriaalit, diagnostiikka ja virtuaalitodellisuus. Avainteknologioiden kehitys ja hyödyntäminen vaikuttavat eri ammatteihin eri tavoin. Kasvania ammatteja ovat mm. biokemisti ja tietojärjestelmäasiantuntija. Väheneviä ammatteja ovat puolestaan mm. toimisto- ja teollisuustyöntekijä. Avainteknologioiden vaikutuksesta syntyy myös uusia ammatteja, kuten bio- ja geoinformaatikko, virtuaalilääkäri, älykotien suunnittelija sekä keinoäly- ja nanoteknologia-konsultti.

Tutkimuksen suositusten mukaan nykyistä koulutus- ja ammattirakennetta tulisi tarkastella kriittisesti teknologisen kehityksen valossa. Esimerkiksi insinöörien määrää tärkeämpi on kysymys siitä, vastaako nykyinen tekninen koulutus tulevaisuuden teknologioiden tarpeeseen. Lisäksi pitäisi analysoida eri teknologioiden yhteisvaikutusta nykyisen koulutus- ja ammattitilanteen muutoksiin sekä valmistautua uusien ammattien syntymiseen. Tutkimustulosten perusteella tulevaisuuden keskeiset ammatillaiset ovat fuusio-osajia, jotka yhdistelevät luovasti yhteiskunnallisia ja teknologisia näkökulmia.

Esipuhe

Sanonnan mukaan rakkaalla lapsella on monta nimeä. Kun ollaan tekemisissä tulevaisuuden tutkimuksen ja erityisesti tulevaisuuden teknologioiden ja niiden yhteiskunnallisten vaikutusten tarkastelun kanssa, niminä voisivat olla teknologian ennakointi, teknologian arviointi, heikot signaalit jne. Jokaisella näistä käsitteistä on oma, hieman muista poikkeava vivahteensa, vaikka ne eivät selvärajaisia olekaan. Lohdullista on, että englannin kielisessä kirjallisuudessa käsitteiden kirjo on vielä moninaisempi. Puhutaanpa asiasta millä nimellä tahansa, sen merkitys on vuosien saatossa korostunut, sillä teknologia koskettaa jo nyt miltei jokaista yhteiskuntaelämän osa-aluetta.

Tulevaisuuden tutkimuksen tarve tuli korostetusti esiin kolmisenkymmentä vuotta sitten, kun trendinomainen, toisen maailmansodan päättymisestä alkanut talouskasvu taittui. Silloin ensimmäiset yritykset alkoivat hyödyntää tulevaisuudentutkimusta ja erityisesti skenaariotarkastelutapaa tukemaan strategianlaadintaprosessiaan. 1990-luvulla myös julkinen sektori kiinnostui yksityisellä sektorilla saaduista kokemuksista. Julkisella sektorilla tämän tyyppistä toimintaa harjoitetaan lähinnä ennakointi-käsitteen alla. Tällä hetkellä julkisella sektorilla Suomessa näyttää olevan meneillään todellinen ennakointi-boomi, mutta nähtäväksi jää, millaiset ovat tämän boomin pysyvät ja pitkäaikaiset vaikutukset eri julkisen sektorin organisaatioiden toimintaan.

Myös tämä tutkimushanke pyrkii osaltaan tukemaan suunnittelua ja päätöksentekoa julkisella sektorilla, tarkemmin sanoen opetusministeriössä. Hanketta on opetusministeriön lisäksi rahoittanut Euroopan Unioni. Tutkimus toteutettiin Teknillisen korkeakoulun Lahden keskuksessa. Hankkeessa tutkijoina on työskennellyt kaksi henkilöä. Anu Raappana oli mukana tutkijana hankkeen käynnistyessä syksyllä 2001. Hänen jäätyään äitiyslomalle touko-kuussa 2002 työtä jatkoi Toni Ahlqvist, joka on myös kirjoittanut käsillä olevan tutkimusraportin. Tutkimuksen tieteellisestä ohjauksesta on vastannut dosentti Mika Mannermaa.

Hankkeesta on Kauppa- ja teollisuusministeriön julkaisusarjassa Studies and Reports 10/2003 julkaistu laajempi englanninkielinen raportti "Keys to Futures. Societal Reflections on Developing Key Technologies and Their Impacts on Human Qualifications", jossa on käsillä olevaa raporttia perusteellisemmin esitelty tutkimuksessa käytettyä metodologiaa ja yksityiskohtaisemmin kuvattu raportissa käsiteltyjen nousevien teknologioiden sisältöjä. Käsillä olevaan raporttiin on sen sijaan pyritty kokoamaan tiivis paketti tutkimuksen keskeisistä tuloksista.

Haluan erityisesti kiittää hankkeen ohjausryhmätyöskentelyyn osallistuneita Olli Poropudasta opetusministeriöstä, Petri Honkasta ja Seppo Kangaspuntaa kauppa- ja teollisuusministeriöstä, Jouni Marttista Varsinais-Suomen työvoima- ja elinkeinokeskuksesta sekä Paavo Löppöstä eduskunnan tulevaisuusvaliokunnasta. Ohjausryhmän kokouksissa käyty keskustelu oli inspiroivaa ja siellä esitetyt ajatukset joskus jopa provosoivia, mutta ne varmasti myös antoivat tutkijoille uusia ajatuksia, ideoita ja suuntaa, johon viedä tutkimusta, eli kaikkea sitä, mitä hyvältä ohjausryhmältä odotetaan. Raportin sisällöstä luonnollisesti vastaa yksinomaan raportin kirjoittaja, eikä se näin ollen edusta tutkimusta rahoittaneiden tai ohjausryhmässä edustettuina olleiden organisaatioiden virallisia kantoja.

Lahdessa 7.8.2003

Tuomo Uotila
Kehityspäällikkö
Teknillinen korkeakoulu
Lahden keskus

Sisältö

Tulevaisuus pähkinänkuoressa: johtopäätökset ja suositukset	8
Visio I. Nousevat avainteknologiat ja teknologiset kehityslinjat	8
Visio II. Avainteknologioiden vaikutukset ammatti- ja koulutusaloihin	10
Visio III. Ammattien tulevaisuus	13
Yleiset suositukset	14
Teoreettinen lähtökohta	14
Empiirinen lähtökohta	15
Tutkimuksen tavoitteet ja toteutus	16
Viitekehystenä yhteiskunnallisen ja teknologisen kehityksen aallot	17
Delfiteknikka ja tulevaisuusbarometri	18
Tulevaisuuden avainteknologioiden systemaattinen jäsenitys	20
Informaatio- ja kommunikaatioteknologia	22
Bioteknologia	24
Materiaali- ja nanoteknologia	26
Tulevaisuuden teknologisia polkuja: ensimmäisen delfikierroksen tulokset	29
Teknologisten teesien uskottavuus	29
Teknologisten teesien ajoittaminen	30
Teknologisten polkujen yhteiskunnallisia vaikutuksia: toisen delfikierroksen tulokset	34
Teknologisten teesien vaikutukset ammatteihin ja koulutusaloihin	35
Tulevaisuusammatit	44
Kirjallisuus ja lähteet	47
Liitteet	50

Tulevaisuus pähkinänkuoressa: johtopäätökset ja suositukset

Visio I. Nousevat avainteknologiat ja teknologiset kehityslinjat

Vuoteen 2015 mennessä keskeisimmät teknologiset kehityslinjat ovat informaatio- ja kommunikaatioteknologia, bioteknologia ja materiaali- ja nanoteknologia¹ (taulukko 1). Bioyhteiskuntaoletuksen mukaisesti informaatio- ja kommunikaatioteknologiasta tulee enenevässä määrin perustyökalu erilaisen bio- ja nanoteknologian tuotteiden tuottamiseksi. Tätä kehityslinjaa korostavat *informaatiomassojen käsittelyyn ja työstämiseen* tähtäävät informaatio- ja kommunikaatioteknologian sovellukset. Tutkimustuloksista edistyksellinen tiedon varastointi, modulaariohjelmistot ja älyagentit korostavat tätä näkökulmaa. Toisena keskeisenä kehityslinjana on *eri aloille sovellettu informaatio- ja kommunikaatioteknologia*. Tästä esimerkkinä ovat tietokoneistettu terveydenhuolto, etäopetus ja etäoppiminen, kaikkialla läsnäoleva tietotekniikka ja virtuaalitodellisuuden sovellutukset. Kehitystyö ei kuitenkaan fokusoidu pelkästään sovelluksiin muilla aloilla, vaan *informaatio- ja kommunikaatioteknologian ala kehittyy* myös itsessään. Erityisesti keinoälyn tutkimus, neuraali-

verkot ja optiset tietokoneet nousivat keskeisiksi kehitysaloiniksi.

Bioteknologian alalla yhteiskunnallisesti keskeisimmät kehityslinjat voi luokitella *bioteknologisiksi prosesseiksi* ja *bioteknologisiksi tuotteiksi*, joskaan rajaus ei lopulta ole näin yksiselitteinen kuin tässä yhteydessä käytetty (taulukko 1). Esimerkiksi tässä jaotellut bioteknologiset prosessit pitävät sisällään niin “ajatuksellisia” malleja (biomimetiikka) kuin selkeitä analyysityökaluja (biosirut). Mielenkiintoinen piirre bioteknologian yhteiskunnallisten vaikutusten tutkimisessa on se, että raja prosessin ja tuotteen välillä on hämärä ja parhaimmillaankin liukuva. Bioteknologian alalla on useita kokonaisuuksia, jotka voidaan määritellä sekä prosessiksi että tuotteeksi näkökulmasta riippuen. Prosesseja voidaan tuotteistaa myymällä tiettyä prosessiosaamista paloittain ja räätälöidysti. “Konkreettiset” bioteknologiset tuotteet, kuten biosirut, voivat taas perustua hyvin pitkälle prosessimaiseen toimintamalliin. Prosessin ja tuotteen välinen rajanveto onkin melko kei-

¹ Tämän vaiheen päätulos, systematisoidut avainteknologiat, esitetään taulukossa 1. Avainteknologioiden rajaaminen, määrittely ja sisällöt kuvataan varsinaisessa raporttitekstissä.

notekoinen, joskin tässä tapauksessa se helpottaa tutkimuksen tulosten ymmärtämistä. Tutkimukseen ja diagnostiikkaan kehitetty biosiruteknologia, luonnollisia biologisia prosesseja imitoivia biometiikka, kloonaukset ja geneettinen muuntelu ovat luokiteltavissa bioteknologisiksi prosesseiksi. Bioteknologisia tuotteita ovat yksiselitteisimmin keinoelimet, kohdennetut lääkkeet ja geeniterapia.

Materiaali- ja nanoteknologian alan yhteiskunnallisesti merkittävät kehityslinjat voi jakaa karkeasti *prosesseihin* ja *toiminnallisiin kokonaisuuksiin*, jotka ovat joko atomistisia tai laitteiden verkkoja (taulukko 1). Prosesseja materiaali- ja nanoteknologian kohdalla on vain yksi eli miniaturisaatio, joka kytkee yhteen niin “ajatuksellisen” prosessin kuin myös konkreettiset sovellutukset. Jatkuva pyrkimys kohti miniaturisaatiota, toimintojen ja laitteiden pientämistä, on myös prosessi joka yhdistää kaikkia kolmea teknologista kehityslinjaa, informaatio- ja kommunikaatioteknologiaa, bioteknologiaa ja materiaali- ja nanoteknologiaa. Toiminnallisista kokonaisuuksista *atomistisia*, yksittäisluonteisia, ovat polttoainekennot ja sensorit. Sensoreita voi kuitenkin käyttää myös laitteiden verkkona, esimerkiksi ympäristöhavainnoinnissa, ja tässä mielessä raja on jälleen liukuva. Selvästi suurin painoarvo materiaali- ja nanoteknologian yhteiskunnallisia vaikutuksia tutkittaessa tulee olemaan *laitteiden verkoilla*. Käsitteellä laitteiden verkko pyritään tavoittamaan materiaali- ja nanoteknologian ajatuksellisesti kiehtova ominaispiirre, joka liittyy ajatukseen loogisesta koneesta tai mekanismista, joka on kuin pintamateriaali ja jonka voi “levittää” kuin pintamateriaalin. Laitteiden verkoista tärkeimmiksi nousivat bioyhteensopivat polymeeripinnat, funktionaaliset polymeerit, älymateriaalit ja suprajohtavat materiaalit.

Tutkimuksessa testattiin empiirisesti seitsemäätoista taulukon 1 pohjalta muodostettua teknologista teesiä, joista yhdeksän teesiä nostettiin esiin varsinaisten yhteiskunnallisten vaikutusten analysoimiseksi jatkossa². Keskeisimmät teesit nostettiin esiin niiden arvioidun uskottavuuden perusteella, ja ne

esitetään tässä uskottavuusjärjestyksessä (ensimmäinen on uskottavin, toinen toiseksi uskottavin jne.). Kolme uskottavinta teesiä arvioiden mukaan olivat *kohdennetut lääkkeet* (tehokkaita täsmälääkkeitä, joissa lääkitys kohdistuu ainoastaan sairaisiin soluihin, käytetään esimerkiksi syövän hoidossa), *sensorit* (ympäristön liikkeitä ja muutoksia seuraavia sensoreita käytetään mahdollisten ympäristömuutosten seurannassa) ja *integroitu teknologia* (toimistoissa, kodeissa ja rakennetussa ympäristössä hyödynnetään informaatioteknologiaa, joka mahdollistaa tehokkaan kommunikaation ja on kaikkialla läsnä). Edellä mainittujen teesien nouseminen uskottavimmiksi heijastelee tutkimuksen taustaoletusta bio-, nano- ja materiaalitekniologioiden noususta yhä keskeisemmiksi ja informaatio- ja kommunikaatioteknologian muuttumisesta enemmänkin kaiken taustalla olevaksi infrastruktuuriksi.

Kolme seuraavaksi uskottavinta teesiä (4–6) olivat *biolääketieteelliset materiaalit* (biolääketieteellisistä materiaaleista tehtyjä siirännäisiä ja ihmisen varaosia käytetään iho- ja elinsiirroissa ja muissa kirurgisissa operaatioissa), *fotoniset materiaalit* (valo tuottavat ja prosessoivat materiaalit korvaavat kuparista tehdyt johteet esimerkiksi informaatiota siirtävissä teknologioissa) ja *3G -teknologia* (nopea tekstin ja kuvien siirtomahdollisuus lisää julkisten palvelujen saavutettavuutta). Keskeisiksi arvioituja teesejä (7–9) olivat myös *älykkäät materiaalit* (seuraavat ja itse itseään korjaavat materiaalit yleistyvät ja vapauttavat ihmistyövoimaa), *diagnostiikka* (nanokokoisia koneita käytetään esimerkiksi tautien diagnostiikassa, lääkkeiden annostelussa ja elintoimintojen seurannassa) ja *virtuaalitodellisuus* (virtuaalitodellisuus mahdollistaa etätyöskentelyn, etälääketieteen ja muita palveluja, jotka lisäävät julkisten palvelujen saavutettavuutta ja edullisuutta)³.

² Kaikki teesit on esitetty varsinaisessa raporttitekstissä.

³ Teknologisista teeseistä kerättiin myös arvioita mahdollisesta toteutumisajankohdasta, jotka on esitetty varsinaisessa raporttitekstissä.

Taulukko 1. Tulevaisuuden systematisoidut avainteknologiat.

Informaatio- ja kommunikaatioteknologia	Bioteknologia	Materiaali- ja nanoteknologia
Edistysellinen tiedon varastointi <i>(advanced data storage)</i> Keinoäly <i>(artificial intelligence)</i> Tietokoneistettu terveydenhuolto <i>(computerized healthcare)</i> Etäopetus ja etäoppiminen <i>(distance learning)</i> Elektroninen paperi <i>(electronic paper)</i> Modulaariohjelmistot <i>(modular software)</i> Neuraaliverkot <i>(neural networks)</i> Optiset tietokoneet <i>(optical computers)</i> Älyagentit <i>(intelligent agents)</i> Kaikkialla läsnäoleva tietotekniikka <i>(ubiquitous computing)</i> Virtuaalitodellisuuden sovellutukset <i>(applications of virtual reality)</i>	Keinoelimet <i>(artificial organs)</i> Biosirut <i>(biochips)</i> Biomimetikka <i>(biomimetics)</i> Kloonaus <i>(cloning)</i> Geneettinen muuntelu <i>(genetic engineering)</i> Geeniterapia <i>(genetic therapy)</i> Kohdennetut lääkkeet <i>(targeted pharmaceuticals)</i>	Bioyhteensopivat polymeeripinnat <i>(biocompatible polymer surfaces)</i> Polttoainekennot <i>(fuel cells)</i> Funktionaaliset polymeerit <i>(functional polymers)</i> Älymateriaalit <i>(intelligent materials)</i> Miniaturisaatio <i>(miniaturization)</i> Sensorit, havaitsimet <i>(sensors)</i> Suprajohtavat materiaalit <i>(superconducting materials)</i>

Visio II. Avainteknologioiden vaikutukset ammatti- ja koulutusaloihin

Yhdeksän keskeisintä teesiä nousi ensimmäisellä delfikierroksella tärkeimmiksi tulevaisuuden avainteknologioiksi (katso edellä). Näihin teeseihin liittyen asiantuntijoilta kerättiin arvioita ammatti- ja koulutusalojen muutoksista. Tarkoituksena oli tarkastella *yhdeksän uskottavimman avainteknologian yhteiskunnallisia vaikutuksia*. Käytännössä yhteiskunnallisten vaikutusten tarkastelu rajautui erilaisten ammatti- ja koulutusalojen tarkasteluun suhteessa

nouseviin avainteknologioihin. Tutkimuksessa tehtiin oma tiivis luokitus ammatti- ja koulutusaloista tarkoituksena raivata lisää “tilaa” ammatti- ja koulutusrakenteen mahdolliselle muutokselle. Ammatti- ja koulutusalat muodostettiin olemassa olevien luokitusten perusteella (katso varsinainen raportti).

Muodostetut ammatti- ja koulutusalat olivat seuraavat (suluissa oleva esittää kuvassa 10 käytetyn lyhennelmän):

- Arkkitehti/tilan asiantuntija
- Biokemisti/biologi
- Talousasiantuntija
- Ohjelmistoasiantuntija, software
- Tietotekniikka-asiantuntija, hardware
- Matemaatikko/tilastoasiantuntija (matem./tilastoasiantuntija)
- Lääkäri/farmakologi
- Yhteiskunnallinen asiantuntija/psykologi (yhteisk. as./psykologi)
- Opettaja/kasvatuksen asiantuntija (opettaja/kasvatuksen as.)
- Toimistotyöntekijä
- Palveluala/myynti/hoitaja
- Teollisuustyöntekijä, blue collar

Kuvassa 1 esitetään tulkinta avainteknologioiden yhteyksistä ammatti- ja koulutusaloihin. Avainteknologiat on kytketty ammatti- ja koulutusaloihin neljän portaan mukaan:

- 1) frekvenssiltään keskeisimmät ja nousevat,
- 2) frekvenssiltään ei niin keskeiset, mutta nousevat,
- 3) laskevat ja
- 4) frekvenssiltään pienet, mutta mahdollisesti nousevat ammatti- ja koulutusalat. Näitä kutsutaan tässä yhteydessä heikoiksi signaaleiksi.

Kuten kuvasta 1 voi havaita, teesien ja koulutusalojen keskinäisissä yhteyksissä tietotekniikka- ja ohjelmistoala painottuvat lähes joka teesin kohdalla.

- 1) Tulkinta korostaa näkemystä *informaatio- ja kommunikaatioteknologian muuttumisesta infrastruktuuriksi*, joka on keskeinen yleisenä tuotannollisena rakenteena. Informaatio- ja kommunikaatioteknologiaa sovelletaan yhä enemmän eri alojen työkaluna, ja sovellukset muille aloille nousevat entistä keskeisemmiksi. Kilpailuetu ei siis enää synny pelkästään kommunikaation tehostamisen ja alan sisäisen kehityksen kautta, vaan yhä enemmän muiden alojen sovelluksina.

- 2) Teknologiaan liittyvissä ammattirakenteissa korostuu yhä kasvavassa määrin erilaisten osaamisalojen konvergenssi. Syntyykin tarvetta erilaisille *fuusio-osaajille*, jotka koulutus- ja työelämässään yhdistelevät luovasti eri aloja ja osaavat siten työssään hyödyntää useita näkökulmia. Moniosaamisen tehostaminen asettaa erityisiä haasteita koulutusjärjestelmälle esimerkiksi yhteismitallisten tutkintojen ja riittävien vapausasteiden takaamisessa.
- 3) *Yhteiskunta- ja liike-elämän osaaminen korostuvat teknologia-alojen kilpailutekijänä*. Teknologian kehityslinjoiden yhdistyessä fuusioteknologioiksi syntyy lisääntyvää painetta huomioida yhteiskunnalliset ja kaupalliset näkökulmat teknologisen kehitystyön peruslähtökohtina. Teknologioita tulisi tarkastella *sosioteknisinä verkostoina*, yhteiskunnallisten ja teknologisten impulssien yhdistelminä, joiden suunnittelun ja käytön tulisi perustua yhteiskunnallisiin näkökohtiin.
- 4) *Mielenkiintoisena yksityiskohtana voi pitää ajatusta bioalan kulutustuotteista*. Näkemys biotuotteista nousi esiin myös useissa haastatteluissa. Vaikka yksittäisten bioalan kulutustuotteiden luonnetta ei vielä juurikaan tohdittu spekuloida, arvioitiin kuitenkin, että tuotteilla voisi olla erittäin suuria markkinapotentiaaleja. Biotuotteisiin liittyvänä implikaationa voi pitää myös kuvassa 1 heikoksi signaaliksi biolääketieteellisten materiaalien ja diagnostiikan kohdalla määritellyä "teollisuustyöntekijää". Herää kiinnostavia jatkokysymyksiä: Voisiko biolääketieteellisten materiaalien ja diagnostiikan alalta nousta uudenlaisia kulutustuotteita? Tuotetaanko näitä bioyhteiskunnan tehtaissa tulevaisuuden sinikaulustyöläisten voimin? Syntyykö Suomeen bio-Nokiaita?

Kuva 1. Tulosten tulkinta: teknologisten teesien ja ammatti- ja koulutusalojen yhteydet.

Keskeisimmät ja nousevat	Nousevat	Laskevat	Heikot signaalit (mahdollisuudet)
Kohdennetut lääkkeet biokemisti/biologi lääkäri/farmakologi palveluala/myynti/hoitaja talousasiantuntija	matem./tilastoasiantuntija opettaja/kasvatuksen asiantuntija tietotekniikka-asiantuntija	toimistotyöntekijä teollisuustyöntekijä arkkitehti/tilan asiantuntija	ohjelmistoasiantuntija
Sensorit ohjelmistoasiantuntija tietotekniikka-asiantuntija matem./tilastoasiantuntija biokemisti/biologi	arkkitehti/tilan asiantuntija talousasiantuntija palveluala/myynti/ hoitaja yhteisk. asiantuntija/psykologi	teollisuustyöntekijä toimistotyöntekijä	opettaja/kasvatuksen asiantuntija lääkäri/farmakologi
Integroitu teknologia ohjelmistoasiantuntija tietotekniikka-asiantuntija arkkitehti/tilan asiantuntija	talousasiantuntija yhteisk. asiantuntija/psykologi palveluala/myynti/hoitaja matem./tilastoasiantuntija	teollisuustyöntekijä	opettaja/kasvatuksen asiantuntija lääkäri/farmakologi
Biolääketieteelliset mater. biokemisti/biologi lääkäri/farmakologi palveluala/myynti/hoitaja	ohjelmistoasiantuntija tietotekniikka-asiantuntija talousasiantuntija yhteisk. asiantuntija/psykologi	toimistotyöntekijä	teollisuustyöntekijä [!] opettaja/kasvatuksen asiantuntija matem./tilasto-asiant.
Fotoniset materiaalit tietotekniikka-asiantuntija ohjelmistoasiantuntija	talousasiantuntija opettaja/kasvatuksen asiant. matem. / tilastoasiantuntija palveluala/myynti/hoitaja	yhteisk. asiantuntija /psykologi	arkkitehti/tilan asiantuntija lääkäri/farmakologi
3G -teknologiat ohjelmistoasiantuntija tietotekniikka-asiantuntija talousasiantuntija	yhteisk. asiantuntija/ psykologi palveluala/myynti/hoitaja	toimistotyöntekijä teollisuustyöntekijä	opettaja/kasvatuksen as. matem./ tilastoasiantunt. arkkitehti/tilan asiantunt. lääkäri/farmakologi
Älykkäät materiaalit ohjelmistoasiantuntija tietotekniikka-asiantuntija	palveluala/myynti/hoitaja arkkitehti/tilan asiantuntija biokemisti/biologi matem. tilastoasiantuntija talousasiantuntija	teollisuustyöntekijä toimistotyöntekijä	opettaja / kasvatuksen as
Diagnostiikka lääkäri/farmakologi palveluala/myynti/hoitaja biokemisti/biologi	ohjelmistoasiantuntija tietotekniikka-asiantunt. talousasiantuntija	arkkitehti/ tilan asiantuntija	opettaja/kasvatuksen asiantuntija teollisuustyöntekijä [!]
Virtuaalitodellisuus ohjelmistoasiantuntija tietotekniikka-asiantuntija yhteisö. asiantunt./psykologi opettaja/kasvatuksen asiant.	arkkitehti/tilan as. biokemisti/biologi matem./tilastoasiant. talousasiantuntija	toimistotyöntekijä teollisuustyöntekijä	lääkäri/farmakologi biokemisti/biologi

Visio III. Ammattien tulevaisuus

Tutkimuksessa kerättiin myös arvioita hieman korkeellisempien tulevaisuusorientoituneiden ammattien uskottavuuksista ja ajoittumisesta. Tulevaisuusammateista muodostettiin visio kirjallisuuden perusteella. Tavoitteena oli muotoilla ammattinimikkeitä, jotka yhdistelisivät erilaisia teknologisia ja yhteiskunnallisia näkökulmia tulevaisuusorientoituneella, mutta uskottavalla tavalla. Erilaisten muotoilujen jälkeen päädyttiin testaamaan seuraavia ammattinimikkeitä:

- 1. keinoelinten suunnittelija**
(suunnittelee varaelimiä, tehostettuja elimiä jne.)
- 2. tekoälyn konsultti**
(konsultoi organisaatioita kehittyneen robotiikan ja kehittyneen tietotekniikan hyödyntämisessä)
- 3. bioelektroniikan suunnittelija**
(suunnittelee elektroniikan ja biotekniikan välimaastossa olevia ratkaisuja)
- 4. bioinformaatikko**
(työskentelee geneettisen tiedon parissa ja toimii perustutkimuksen ja lääketieteellisuuden välisenä siltana)
- 5. hypekonsultti**
(tekee ennusteita mahdollisista uusista trendeistä markkinointia ja suunnittelua varten)
- 6. kyberluokittelija**
(tarkkailee ja jäsentää alati kasvavan Internetin tietovarantoja)
- 7. geeniterapiakonsultti**
(suunnittelee räätälöityjä geeniterapiaohjelmia)
- 8. geoinformaatikko**
(digitalisoidun maantieteellisen tiedon analyysin ja esittämisen asiantuntija, suunnittelee esimerkiksi paikannusjärjestelmiä mobiiliin tietotekniikkaan)
- 9. nanoteknologiakonsultti**
(konsultoi organisaatioita nanoteknologisten ratkaisujen hyödyntämisessä)
- 10. yksinkertaistusasiantuntija**
(yksinkertaistaa ja suoraviivaistaa organisaation teknologisia ratkaisuja)
- 11. älytalojen suunnittelija**
(räätälöi teknologisia ratkaisuja tulevaisuuden taloihin)
- 12. sosiaalisten verkostojen analyytikko**
(analysoi tiedon ja vallan virtoja organisaatiossa)
- 13. virtuaalilääkäri**
(harjoittaa lääketiedettä virtuaaliodellisuuden avulla, esimerkkinä etälääketiede)
- 14. visualisoinnin asiantuntija**
(erikoistunut informaation ja käyttöliittymien suunnitteluun)
- 15. web-puutarhuri**
(säilyttää ja ruokkii web-saitteja).

Asiantuntija-arvioiden jälkeen *uskottavimmiksi ammattinimikkeiksi nousivat seuraavat*: bioinformaatikko, virtuaalilääkäri, geoinformaatikko, tekoälyn konsultti, älytalojen suunnittelija, visualisoinnin asiantuntija ja nanoteknologiakonsultti. Uskottavimmissa ammattinimikkeissä korostuu ajatus teknologioiden yhdistymisestä. Myös ammattinimikkeiden mahdollinen toteutumisajankohta arvioitiin keräämällä arvioita, minä vuonna kyseessä oleva ammatti on tullut todelliseksi käytännöksi 50 % todennäköisyydellä. Oli myös mahdollista vastata “ei tapahdu”, jos ei uskonut kyseisen ammatin toteutuvan lainkaan. *Nopeimmin toteutuviiksi* ammateiksi arvioitiin seuraavat: hypekonsultti, web-puutarhuri, virtuaalilääkäri, geoinformaatikko, sosiaalisen verkoston analyytikko ja kyberluokittelija. *Hitaimmin toteutuviiksi* arvioitiin seuraavat ammattinimikkeet: keinoelinten suunnittelija, geeniterapiakonsultti, nanoteknologiakonsultti, bioelektroniikan suunnittelija ja tekoälyn konsultti. Seuraavat ammatit saivat korkeimmat *ei tapahdu* -arvot: kyberluokittelija, keinoelinten suunnittelija, hypekonsultti, geeniterapiakonsultti ja web-puutarhuri.

Keskeisenä päätelmänä voi todeta, että ammattien, joilla oli voimakas nykyisyyteen kytkeytyvä mer-

kitys (esimerkiksi kytkennät Internetiin tai mobiiliteknologioiden sovelluksiin) arvioitiin toteutuvan nopeammassa aikataulussa kuin ammattien, joiden merkityksen voi ajatella viittaavan kauemmas tulevaisuuteen (esimerkiksi oletukset biologisen perustutkimuksen tulevaisuudessakin jatkuvasta “hitautesta” ja geneettistä tietoa koskevan eettisen tilanteen epäselvyys).

Yleiset suositukset

Tässä osassa esitetään toimien ja jatkotutkimusten suuntaamiseksi viisi tiivistä suositusta. Johtopäätökset perustuvat tutkimustulosten peilaamiseen opetusministeriön strategiaa ja yleistä yhteiskunnallista kehitystarvetta vasten.

I) Opetuksen käsitettä tulisi laajentaa.

Haastatteluissa korostui voimakkaasti se, että ajankohtaista tietoa yhteiskunnasta, tieteen kehityksestä, ympäristön tilasta ja tutkimuksesta tulisi tuoda klassisen opetuksen rinnalle. Perustason opetuksessa tätä näkökulmaa ei ehkä painoteta tarpeeksi.

II) Tällä hetkellä on kasvava tarve yhdistää yhteiskunnallisia näkökulmia jo teknologian kehittämisen alkuvaiheessa.

Tämä suositus kytkeytyy opetusministeriön strategisesti painottamaan kolmanteen kulttuuriin, jossa teknologian kehitys ja sisältö kietoutuvat yhteen ja jossa tiukka teknismien ja humanismien välinen jako on poistettu. Yhteiskunnan ja teknologian välisten suhteiden tieteellisen tutkimuksen tarve kasvaa voimakkaasti. Tutkimusta voisi toteuttaa perustamalla esimerkiksi tieteidenvälisiä, yhteiskunnan ja teknologian väliseen problematiikkaan keskittyviä maisteri- ja tohtoriohjelmia.

III) Olisi tehtävä kriittisiä ristiintaulukointeja nykyisten ammattiin tähtäävien koulutus- rakenteiden ja tämän raportin tulosten välillä.

Suomessa on paljon keskusteltu insinöörien ja teknisen alan ammattilaisten lukumääristä

ja saatavuudesta. Määrien sijaan tulisi keskittyä seuraavan kysymyksen ratkaisuun: tukeeko nykyinen ammatillinen ja korkeakoulutasoinen tekninen koulutus sisällöllisesti tämän tutkimuksen perusteella nousevia teknologisia kehityskulkuja?

IV) Tulevaisuudessa olisi olennaista keskittyä teknologisten fuusioiden, esimerkiksi bioelektroniikan, vaatimiin koulutusratkaisuihin.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella bioteknologian, nanoteknologian ja informaatioteknologian fuusiot vaativat uudenlaista tieteidenvälistä osaamista. Koulutusrakenteen muutoksen pitäisi vastata tähän haasteeseen.

V) Olisi valmistauduttava täysin uudentyyppisiin ammatteihin.

Kun yhteiskunta ja teknologia sulautuvat ja ovat jatkuvassa muutostilassa, voi syntyä täysin uudentyyppisiä ja ennakoimattomia ammattirakenteita, jotka jakavat ammatillista ja taloudellista kenttää uusien tavoin.

Teoreettinen lähtökohta

Käsillä oleva tutkimus perustuu oletukseen bioyhteiskunnan noususta. Bioyhteiskunta on tulevaisuudentutkija Mannermaan mukaan informaatioyhteiskuntaa täydentävä ja mahdollisesti seuraava yhteiskunnallinen vaihe, joka perustuu bioteknologian nousemisen yhteiskunnallista ja taloudellista kilpailukykyä sääteleväksi teknologiaksi. Bioteknologian yhteiskunnallisia vaikutuksia pohtineiden amerikkalaisten teoreetikoiden Francis Fukuyaman (2002) ja Gregory Stockin (2002) mukaan bioyhteiskunnan ratkaisevat teknologiset läpimurrot syntyvät jo käynnissä olevasta perustutkimuksesta. Siis bioalan tutkimukseen jo tällä hetkellä valjastetut pääomat, tutkijoiden määrä ja tutkimuksen keskinäinen linkkiytyminen muodostavat tehokkaan rakenteen, joka pystyy tuottamaan uusia, jopa mullistavia, innovaatioita.

Jo informaatioyhteiskunnan vaiheessa alkanut teknologian “tunkeutuminen” lähes kaikkeen inhimilliseen toimintaan kiihtyy bioyhteiskunnassa. Erityisesti teknologioiden yhdistymisen ja verkottumisen kautta syntyvät fuusioteknologiat hämärtävät perinteisiä teknologisia kategorioita ja tekevät kehityksen tarkastelusta monimutkaista. Kolmea seuraavaa ongelmakenttää voi kuitenkin pitää keskeisinä bioyhteiskunnan kehitystä pohdittaessa:

1. Läpäisy

Teknologia läpäisee tuotannollisen ketjun kokonaisuudessaan. Teknologia on yhä syvemmällä tuotannollisen toiminnan perusrakenteissa, niin perustutkimuksen lähtökohdissa kuin lopputuotteissakin. Samalla tapaa teknologia alkaa yhä perustavammin läpäistä ihmisten arkea: kännykät, avointen tilojen valvontakamerat, mikropiirein ladatut autot jne.

2. Jännite

Teknologinen kehitys perustuu yhä enemmän jännitteeseen systeemisten kokonaisuuksien ja pirstoutumisen välillä. Teknologiset kehityslinjat yhdistyvät uusiksi solmukohdiksi, fuusioteknologioiksi, jotka muodostavat systeemiä kokonaisuuksia. Toisaalta teknologinen kehitys perustuu entistä suurempaan erikoistumiseen ja pirstoutumiseen käyttäjätarpeiden mukaan. Systeemisten kokonaisuuksien ja pirstoutumisen jännitteen tutkimus ja muuttaminen taloudelliseksi hyödyksi on yksi teknologian yhteiskunnallisen tutkimuksen haasteellisimmista tehtävistä.

3. Sosiotekniset verkostot

Teknologian kehitystä on perinteisesti säädellyt teknokraattinen näkemys: kaikki teknologia kehitetään, mikä voidaan kehittää. Tällöin teknologiset mahdollisuudet, eikä esimerkiksi kansalaisten tarpeet, sanelevat kehityksen ehdot sellaisinaan. Teknologiat tulisi kuitenkin

lähtökohtaisesti nähdä eräänlaisina sosioteknisinä verkostoina, joihin yhteiskunnallisten ja eettisten näkökulmien tarkastelu tulisi olla sisäänrakennettu. Sosioteknisillä verkostoilla viitataan erityisesti sellaisiin teknisiin ja käsitteellisiin läpimurtoihin, joiden perustaan kytkeytyy yhteiskunnallinen paine pohtia kehittämistyön seurauksia ja läpimurtojen mahdollista hyödyntämistä. Esimerkkeinä voivat olla esimerkiksi geneettisesti modifioidut elintarvikkeet ja kloonaminen.

Empiirinen lähtökohta

Tutkimuksen empiirisenä tavoitteena on ollut tulevaisuuden keskeisimpien teknologisten kehityslinjojen määrittely ja niiden yhteiskunnallisten, koulutuksellisten ja ammattillisten vaikutusten analysointi. Tarkoituksena on ollut muodostaa *synteesi* nousevien teknologioiden yhteiskunnallisista vaikutuksista. Tutkimuksen perspektiivi ulottuu vuoteen 2015. Tutkimus toteutettiin kolmivaiheisena, ja vaiheet esitetään kootusti tässä kappaleessa.

Ensimmäinen vaihe oli jaettu kahteen osaan: yleisten teknologisten paradigmojen määrittely haastattelujen ja kirjallisuuden perusteella sekä avainteknologioiden systematisointi haastattelujen avulla perustuen yleisiin paradigmoihin. *Toisessa vaiheessa* keskityttiin avainteknologioiden perusteella muodostettujen teesien uskottavuuden arviointiin sekä edellä mainittujen teknologisten teesien toteutumisajankohdan arviointiin. *Kolmannessa vaiheessa* päätavoitteena oli kerätä asiantuntija-arvioita teknologisten kehityslinjojen vaatimista koulutuksellisista ja ammatillisista muutoksista, jos preliminäärivaiheen ja ensimmäisen delfikierroksen asetelmat toteutuvat. Suomennetussa raportissa ei kuitenkaan ole haastattelujen tuloksia erikseen purkavaa osaa⁴. Tarkemmat tiedot löytyvät varsinaisesta raporttitekstistä. Tässä johtopäätöksiin keskittyvässä kappaleessa on tarkoitus muodostaa *visio* tutkimuksen tuloksiin perustuen.

⁴Tutkimuksesta on julkaistu laajempi raportti *Keys to Futures: Societal Reflections on Developing Key Technologies and Their Impacts on Human Qualifications*. Ministry of Trade and Industry Finland. Studies and Reports 10/2003.

Tutkimuksen tavoitteet ja toteutus

Tämän tutkimuksen yleisenä tavoitteena on ollut arvioida uusien nousevien teknologioiden yhteiskunnallisia ja koulutuksellisia vaikutuksia. Uudet ja nousevat teknologiat on määritelty tässä tutkimuksessa lähinnä informaatio- ja kommunikaatioteknologian, bioteknologian, materiaali- ja nanoteknologian piiriin kuuluviksi ja näiden teknologioiden väliseksi fuusioteknologioiksi. Tutkimuksen tarkemmin määriteltyinä tavoitteina on

- Kirjallisuuden ja asiantuntijahaastattelujen perusteella fokusoida tulevaisuutta koskevat arviot kaikkein merkittävimpiin teknologioihin, esimerkiksi tietoyhteiskunnan sisältöpainotteisuuden korostumisen myötä voimistuviin teknologioihin ja teknologisen konvergenssin (tiedonkäsittelyn ja -välityksen, viihteen, puheen, liikkuvan kuvan jne.) synnyttämiin uusiin teknologioihin.
- Bioyhteiskunnan nousevien teknologioiden analysointi: esimerkiksi biolääketiede, geneettinen muuntelu, nanoteknologia ja näiden yhdistymisestä muodostuvat fuusioteknologiat.
- Arvioida teknologioiden tulevan kehityksen vaikutuksia koulutuksen ja ammattialoihin.

- Esittää johtopäätöksiä ja tuottaa suosituksia ammatillisesti suuntautuneen koulutuksen kehittämiseksi.

Käsillä oleva tutkimus toteutettiin kolmessa vaiheessa (toteutuksen perusteista katso liitteet). *Ensimmäinen vaihe* oli ns. preliminäärinen vaihe, jossa tarkasteltiin teknologisen kehityksen keskeisiä kehityskulkuja ja määriteltiin systemaattiset avainteknologiaryhmät. Pääaineistona ensimmäisessä vaiheessa oli tutkimuskirjallisuus ja asiantuntijahaastattelut. Teknologisten kehityskulkujen yleisellä tarkastelulla pyrittiin luomaan pohja, primäärivisio, avainteknologioiden tarkempaa rajausta varten. Avainteknologiat muodostettiin prosessissa, jonka voi esittää kausaalisenä ketjuna seuraavasti:

- kirjallisuuskartoitus
 - > asiantuntijahaastattelut
 - > teknologistojen ja trendien tarkempi määrittely
 - > avainteknologioiden systemaattinen rajaus

Tärkeimmät kirjalliset lähteet tässä vaiheessa olivat Tekesin raportit ja Yhdistyneiden Kansakuntien julkaiseman nk. Millennium -projektin laajat *State of*

the Future -raportit⁵. Myös muuta kirjallisuutta käytettiin hyväksi⁶.

Ensimmäistä, ns. preliminääristä vaihetta seurasi *toinen vaihe*, delfitekniiikan ensimmäinen kierros, joka toteutettiin valikoiduille asiantuntijoille suunnatulla Internet-pohjaisella kyselyllä. Tarkoituksena oli kerätä asiantuntijankemeyksiä ensimmäisessä vaiheessa rakennetuille teknologisille teeseille. Toisen vaiheen aikana tehtiin myös puolistrukturoituja asiantuntijahaastatteluja. Asiantuntijavalinnassa painotettiin teknologista asiantuntijuutta. *Kolmannen vaiheen* muodosti delfitekniiikan toinen kierros. Tässä vaiheessa testattiin edellisellä kierroksella uskottavimmiksi nousseiden teknologisten teesien yhteiskunnallisia vaikutuksia. Kolmannessa vaiheessa tavoitteena oli päästä empiirisesti käsiksi teknologioiden aiheuttamiin suoriin koulutuksellisiin vaikutuksiin. Lisäksi kolmannessa vaiheessa suoritettiin mahdollisten ns. tulevaisuusammattien kartoitus. Kolmas vaihe suoritettiin myös Internet-pohjaisena asiantuntijakyselynä. Perusjoukoksi valittiin lähinnä yhteiskunnan ja koulutussektorin asiantuntijoita. Kolmanteen vaiheeseen kuului lisäksi puolistrukturoituja asiantuntijahaastatteluita.

Tutkimuksen eteneminen on esitetty kiteytettynä seuraavassa:

Ensimmäinen vaihe

- avainteknologioiden määrittäminen haastattelujen ja kirjallisuuden perusteella
- ensimmäisen delfikierroksen kyselylomakkeen muodostaminen: teknologiset ilmiöt ja teknologiset teesit

Toinen vaihe

- ensimmäisen delfikierroksen tulosten kerääminen ja analyysi: teknologiset ilmiöt ja teknologiset teesit

- asiantuntijahaastattelut: teknologinen orientaatio
- toisen delfikierroksen kysymyslomakkeen muodostaminen: teknologioiden koulutukselliset ja ammatilliset vaikutukset

Kolmas vaihe

- toisen kierroksen tulosten kerääminen ja analyysi: koulutuksellisten ja ammatillisten arvioiden tekeminen keskeisimmiksi nousseiden teknologisten teesien perusteella
- asiantuntijahaastattelut: yhteiskunnallinen orientaatio
- tulosten raportointi englanniksi ja suomeksi

Viitekehiksenä yhteiskunnallisen ja teknologisen kehityksen aallot

Tutkimuksen toteutusta jäsentäneenä viitekehiksenä käytettiin teoriaa yhteiskunnallisen ja teknologisen kehityksen aalloista. Kuten monet teoreetikot ovat eri termein ja määrittelyin esittäneet, teollisuuden teknologinen ja yhteiskunnallinen kehitys on kulkenut kohti informaatioyhteiskunnan vaihetta⁷. Tässä uudessa yhteiskunnallisessa vaiheessa tieto on tuotannollisen kilpailukyvyyn raaka-aine ja lopputuote, jonka käyttöönottoa ja työstämistä ehdollistaa teknologinen imperatiivi. Teknologisen imperatiivin seurauksia ovat esimerkiksi talouden ja kommunikaation verkostoituminen, etäisyyden merkityksen väheneminen ja tila-aika-suhteen muutos⁸. Informaatioyhteiskunnassa keskeinen tuotannollista toimintaa jäsentävä teknologia on informaatio- ja kommunikaatioteknologia ja viime vuosina etenkin bioteknologiaan liittyvät sovellukset (kuva 2).

Mannermaan mukaan informaatioyhteiskunta sisällyttää itseensä "aikaisemmat" yhteiskunnalliset muodot eli maatalous- ja teollisuusyhteiskunnan⁹.

⁵ <http://www.millennium-project.org>

⁶ Ahola & Kuisma 1998, Ahtee et al. 2001, Ball 1998, Hjelt et al. 2001, Hill & Glasgow 1999, Lievonen 1999, Meristö et al. 2002, Rautiainen 1999, Saranummi 2001, Toivonen 2001, Tuomaala et al. 2001, Tuomi 2001 ja Yu & Siegler 2000.

⁷ Katso esimerkiksi Bell 1973, Gershuny 1978, Masuda 1983, Stonier 1983, Castells 1989, Lyon 1988, Harvey 1989, Jameson 1991, Drucker 1993 ja Lash & Urry 1994.

⁸ Castells 1996, 1997 ja 1998.

⁹ Mannermaa 2002.

Esimerkiksi informaatioyhteiskunnan mukana edellisten yhteiskuntamuotojen päälle on syntynyt uudenlainen kasvavien ja nopeutuvien linkkien ja moninaisesti kasautuvan informaation taso¹⁰. Informaatioteknologian nykyisessä kehitysvaiheessa voikin puhua liikkeestä teknologian fyysisestä ulottuvuudesta kohti sosiaalista ulottuvuutta, jossa teknologian käytettävyys ja sovellettavuus sosiaaliseen vuorovaikutukseen nousee pelkkää teknistä puolta merkittävämmäksi¹¹. Informaatioyhteiskunnallisen vaiheen pioneerimaissa, esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Pohjoismaissa, teknologisen kehityksen tuottavuuden painopiste on voimakkaasti siirtynyt kohti sosiaalista ulottuvuutta.

Bioteknologiaa koskevien yhteiskunnallisten visioiden perusteella voidaan luonnostella hypoteesi, jonka mukaan informaatioyhteiskuntaa seuraava teknologinen vaihe onkin jo selkeästi “sikiöasteella”. Mannermaa kutsuu tätä vaihetta bioyhteiskunnaksi. Fukuyaman ja Stockin mukaan suuri osa bioteknologian uusista innovaatioista syntyy tulevaisuudessaakin perustutkimuksen kautta ilman erityisiä teknologisia ponnisteluja, koska panostukset bioteknologiaan ovat jo nyt merkittäviä ja tutkimuksen kriittinen massa on jo olemassa¹².

Bioteknologian perus- ja soveltavaa tutkimusta tehdäänkin jo laajalti kehittyneissä yhteiskunnissa ympäri maailman. Mannermaa on visioinut myös seuraavaa yhteiskuntamuotoa bioyhteiskunnan jälkeen ja kutsuu tätä fuusioyhteiskunnaksi (ks. kuva 2). Fuusioyhteiskuntaa luonnehtiva piirre on systeeminen, kokonaisvaltainen luonne: fuusioyhteiskunnan teknologia perustuu teknologisten rajojen hämärtymiseen ja teknologioiden systeemiseen vuorovaikutukseen. Tutkimusta on kuitenkin vielä paljon tehtävänä ennen kuin mahdollisten bio- ja fuusioyhteiskuntien rakennetta ja toimintaa voidaan tarkemmin kuvailla.

Delfiteknikka ja tulevaisuusbarometri

Tutkimuksen metodina sovellettiin delfiteknikkaa, joka on melko laajalti käytetty tulevaisuudentutkimuksen metodi¹³. Delfiteknikan kolme keskeisintä periaatetta ovat yksinkertaistetusti oletus asiantuntijuudesta, iteraatiot kyselykierrosten välillä sekä suhteellinen riippumattomuus ajasta ja paikasta¹⁴. Delfiteknikan filosofiaan kuuluu palautteen antaminen asiantuntijoille, jonka jälkeen vastauksia on mahdollista muuttaa tai muotoilla. Käytännössä tämä tapahtuu usein suorittamalla vähintään kaksi empiiristä ns. delfikierrosta.

Tulevaisuusbarometri on delfiteknikkaa soveltava asiantuntijamenetelmä. Tulevaisuusbarometrissä tehdään delfiteknikalle tyypilliset oletukset, joiden mukaan tutkimuksen ongelma-alue on puettavissa asiantuntijoille esitettävien kysymysten muotoon, asiantuntemuksella on merkitystä (eli uskotaan, että joku joukko todella tietää aihealueesta enemmän kuin kadunmies), toistot ja palaute parantavat tulosta, anonymiteetti on perusteltua jne. Tulokset eivät anna “eksaktia” tietoa tulevaisuudesta, mutta ne kertovat siitä, millaisia odotuksia alan asiantuntijoilla tällä hetkellä on. Tulevaisuusbarometrit muodostavat hyvän pohjan esimerkiksi skenaario- ja strategiatyöskentelylle¹⁵.

¹⁰ Schienstock & Hämäläinen 2001.

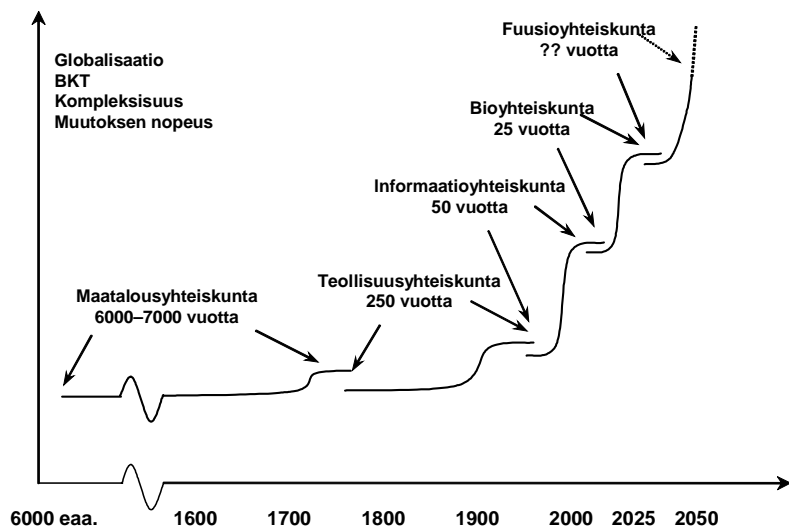
¹¹ Negroponte 2003.

¹² Fukuyama 2002 & Stock 2002.

¹³ Yksityiskohtaisesta delfiteknikan analyysistä katso Kuusi 1999.

¹⁴ Mannermaa 1991.

¹⁵ Mannermaa 1996: 5–6.



Kuva 2. Yhteiskunnallisen muutoksen suuret aallot (Mannermaa 2002).

Tulevaisuuden avainteknologioiden systemaattinen jäsenitys

Tässä kappaleessa esitetään ensimmäisen, ns. preliiminäärisen, vaiheen päätulokset. Päämetodi avainteknologioiden jäsentämisessä oli iteratiivinen teknologialistojen muodostaminen. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että teknologia- ja tulevaisuusalan asiantuntijoista muodostetulle rajatulle asiantuntijaryhmälle lähetettiin laaja kirjallisuuden perusteella muodostettu teknologinen pohjaolettamus, lista, jonka perusteella kukin asiantuntija voi rakentaa oman näkemyksensä. Tämän jälkeen saadut tulokset yhdistettiin uudeksi listaksi, josta oli poistettu päällekkäisyydet. Uusi lista lähetettiin jälleen asiantuntijoille, jolloin voitiin muodostaa yhä tarkentunut näkemys. Tätä prosessia jatkettiin useamman kierroksen ajan, kunnes lopullisen listan katsottiin muodostuneen eikä eriäviä asiantuntijanäkemyksiä enää esitetty. Kyseessä oli siis perinteiseen delfiteknikkaan yhdistetty konsensuksen muodostaminen. Viimeinen lista on esitetään taulukossa 2. Tämä teknologialistan muodostamisprosessi jäseni toisen (1. delfikierros) ja kolmannen vaiheen (2. delfikierros) suorittamista. Taulukon jälkeen esitetään tiivis kooste kunkin teknologian keskeisistä ominaispiirteistä.

Taulukko 2. Ensimmäisen vaiheen päätulos: tulevaisuuden avainteknologioiden systemaattinen jäsenitys.

Informaatio- ja kommunikaatioteknologia	Bioteknologia	Materiaali- ja nanoteknologia
Edistysellinen tiedon varastointi <i>(advanced data storage)</i> Keinoäly <i>(artificial intelligence)</i> Tietokoneistettu terveydenhuolto <i>(computerized healthcare)</i> Etäopetus ja etäoppiminen <i>(distance learning)</i> Elektroninen paperi <i>(electronic paper)</i> Modulaariohjelmistot <i>(modular software)</i> Neuraaliverkot <i>(neural networks)</i> Optiset tietokoneet <i>(optical computers)</i> Älyagentit <i>(intelligent agents)</i> Kaikkialla läsnäoleva tietotekniikka <i>(ubiquitous computing)</i> Virtuaalitodellisuuden sovellutukset <i>(applications of virtual reality)</i>	Keinoelimet <i>(artificial organs)</i> Biosirut <i>(biochips)</i> Biomimetikka <i>(biomimetics)</i> Kloonaus <i>(cloning)</i> Geneettinen muuntelu <i>(genetic engineering)</i> Geeniterapia <i>(genetic therapy)</i> Kohdennetut lääkkeet <i>(targeted pharmaceuticals)</i>	Bioyhteensopivat polymeeripinnat <i>(biocompatible polymer surfaces)</i> Polttoainekennot <i>(fuel cells)</i> Funktionaaliset polymeerit <i>(functional polymers)</i> Älymateriaalit <i>(intelligent materials)</i> Miniaturisaatio <i>(miniaturization)</i> Sensorit, havaitsimet <i>(sensors)</i> Suprajohtavat materiaalit <i>(superconducting materials)</i>

Informaatio- ja kommunikaatioteknologia

Edistyneellinen tiedon varastointi

(advanced data storage)

Edistyneellinen tiedon varastointi viittaa informaation tallennuksen muuttuviin teknologioihin. Edistyneellinen tiedon varastointi tarkoittaa erilaisten tiedon arkistointiin, säilyttämiseen ja analysointiin tarkoitettujen keskitettyjen järjestelmien rakentamista¹⁶. Erityisen kiinnostuksen kohteita ovat tehokkaat tietovarastot, tiedon käsittely työkalut, tiedon kaivuu (data mining), visualisointi, dataformaattien yhdistäminen ja informaation yhteistoimivuuden kehittäminen.

Tekoäly

(Artificial Intelligence)

Tekoälyn tutkimuksen voi sanoa syntyneen vuonna 1950 Alan Turingin kuvatessa tietojenkäsittelytieteen uutta agendaa artikkelissa *Computing Machinery and Intelligence*. Uusi agenda perustui ”pelien pelaamiseen, päätöksentekoon, luonnollisen kielen ymmärtämiseen, kielen kääntämiseen, teoreemojen todistamiseen, [...] tiedon salaukseen ja koodien purkamiseen”¹⁷. Turing on myös kuuluisa samana vuonna määrittelemästään testistä tietotekniikan ”älykkyyden” testaamiseksi. Kurzweilin (1999: 373) mukaan kyse on ”proseduurista [...] jolla voi määrittellä onko jokin systeemi (yleensä tietokone) saavuttanut ihmistasoisen älykkyyden perustuen siihen, pystyykö systeemi uskottelemaan ihmiselle olevansa ihminen”. Käytännössä tekoälyllä tarkoitetaan periaatteessa vuorovaikutteista kommunikointia tietokoneiden kanssa, esimerkiksi puheen, kosketuksen tai eleiden avulla.

Tietokoneistettu terveydenhuolto

(computerized healthcare)

Tietokoneistettu terveydenhuolto viittaa automatisoituihin tai mobiileihin terveydenhuoltoteknologioihin. Tietokoneistettuun terveydenhuoltoon voi laskea myös etälääketieteen kehittyvän kentän. Teoriassa etälääketieteen sovellutukset mahdollistavat esimerkiksi New Yorkissa sijaitsevan lääkärin suorittaman leikkauksen fyysisesti Pariisissa sijaitsevalle potilaalle. Toinen esimerkki etälääketieteestä on asiantuntijahaastattelussa esiinnoussut kotisairaala. Kotisairaala perustuu etäauttamiseen, jossa lääkärit ja hoitajat ovat potilaan lähellä jatkuvasti, joskaan ei fyysisesti. Tietokoneistettu terveydenhuolto voi kehittyä myös sensoreiden, mobiiliteknologian ja tehostetun todellisuuden (enhanced reality)¹⁸ kautta. 3D virtuaalimallinnusta voi hyödyntää esimerkiksi potilaan tilan etäanalyysissä tai potilaan talon rakenteen (kotisairaalaan ”fyysisyyden”) tarkkailussa.

Etäopetus ja etäoppiminen

(distance learning)

Etäopetus ja etäoppiminen voidaan määrittellä tietämyksen ja taitojen hankkimiseksi informaatioteknologian avulla siten, että opettaja ja oppilas ovat fyysisesti eri paikoissa¹⁹. Etäopetus viittaa yleisemmin kommunikaatioteknologioiden etäkäyttöön, esimerkiksi interaktiiviseen etäkonferenssiin, jossa voi käyttää kahdenkeskistä tai monenkeskistä sovellutusta.

Elektroninen paperi

(e-paper)

Xeroxin tutkija Nick Sheridon keksi elektronisen musteen 1970-luvulla tehdessään kokeita erilaisten näyttöjen kanssa²⁰. Idea perustui mikroskooppisiin

¹⁶ <http://www.media.mit.edu/>

¹⁷ Kurzweil 1999: 68.

¹⁸ Tehostettu todellisuus (enhanced reality) viittaa virtuaalitodellisuuden sovellukseen, jossa oikeaan ympäristöön upotetaan virtuaalisia objekteja. Näitä objekteja voi seurata ja käyttää esimerkiksi erillisten lasien avulla.

¹⁹ <http://www.usdla.org>

²⁰ <http://zdnet.com.com/2100-11-517601.html?legacy=zdn&chkpt=zdnntop>

palloihin, jotka olivat puoliksi mustia, puoliksi valkoisia. Kun pallot sähköistettiin, ne kääntyivät ja näin muodostui mustavalkoinen mosaiikki. Kuva tai teksti muodostui jänniterakenteiden määrittelyn kautta. Kuva tai teksti pysyy "paperilla" niin kauan, kunnes jänniterakennetta jälleen muutetaan. Tämä on myös yksinkertaistettuna elektronisen paperin pääidea²¹.

Modulaariohjelmistot

(modular software)

Ohjelmistomoduulin voi määrittellä laajemman ohjelman osaksi, jota voi kehittää, suunnitella ja testata itsenäisesti ilman laajempaa ohjelmistoa. Tämä tarkoittaa myös sitä, että ohjelmistosysteemin voi yhdistää tai purkaa aiheuttamatta itse ohjelmiston toiminnalle mitään muutoksia²². Modulaarinen tapa tehdä ohjelmistoja on yleistymässä sovellettavuutensa takia.

Neuraaliverkot

(neural networks)

Neuraaliverkkojen idea kumpuaa ihmisen aivojen rakenteen ja prosessien simuloimisesta ja tutkimuksesta. DARPA:n neuraaliverkkotutkimuksen mukaan "neuraaliverkko on systeemi, joka koostuu useista kohtuullisen yksinkertaisista rinnakkain toimivista prosessielementeistä, joiden toiminta määrittyy verkon rakenteen, yhteyksien voimakkuuden ja laskentaprosessien luonteesta"²³. Neuraaliverkon toiminta ei perustu binäärisen digitaalilaskennan periaatteille, vaan prosessielementtien välisiin yhteyksiin. Verkoston rakenne on siis koko prosessia säätelevä tekijä. Neuraaliverkkojen periaatteita sovelletaan nykyisin äänentunnistussysteemeissä, kuvantunnistusjär-

jestelmissä, teollisuusrobotiikassa, lääketieteellisessä visualisoinnissa, tiedon kaivuussa (data mining) ja avaruusteknologiassa.

Optiset tietokoneet

(optical computers)

Optisten tietokoneiden kehittäminen perustuu piisiruihin pohjautuvan teknologian fyysisen rajan lähestymiseen, koska komponentteja ei voi enää ahtaa pienempään tilaan kuumenemisen vuoksi. Optinen tietokone käyttää näkyvää valoa tai infrapunavaloa digitaalisten operaatioiden suorittamiseen eikä sähkövirtaa, jonka nopeus on vain noin 10 prosenttia valon nopeudesta²⁴. Sähkövirran hitaus on yksi perussyys optisen kuidun kehittämiseen. Yleisesti optisen tietotekniikan kehittäjät arvioivat, että optinen tietokone olisi vähintään kymmenen kertaa nopeampi kuin elektroninen tietokone²⁵.

Älyagentit

(intelligent agents)

MIT:n medialaboratorion ohjelmistoagenttien ryhmä määrittelee agentin seuraavasti: ne ovat "tietokonesysteemejä, joille voi delegoida tehtäviä" ja ne "eroavat tavallisesta ohjelmistosta siten, että agentit ovat pitkäikäisiä, puoliautonomisia, proaktiivisia ja sopeutuvia"²⁶. Feldmanin ja Yun (1999) mukaan yleisiä älyagenttien määrittämisen kriteereitä ovat: autonomia (käyttäjä ja agentti tekevät yhteistyötä), sopeutuminen (agentit oppivat olemaan vuorovaikutuksessa toimintaympäristön kanssa ja toimimaan tehokkaammin) ja mobiliteetti (agentit pystyvät liikkumaan eri ympäristöihin suorittamaan annettuja tehtäviä, esimerkiksi WWW:n eri portaalien välillä).

²¹ <http://www.media.mit.edu/micromedia/elecpaper.html>

²² http://www.pcwebopaedia.com/TERM/m/modular_architecture.html

²³ <http://www.ida.his.se/ida/enns/>; <http://www.inns.org/inns/>; <http://www.cis.hut.fi/research/>

²⁴ Optinen tietokone ei kuitenkaan pysty kilpailemaan futuristisempien, kvanttitekniikkaan perustuvien, tietokoneiden kanssa. Vielä ei kuitenkaan ole varmaa, voiko laajamittaista kvanttietokoneita teknisesti edes toteuttaa. Pienempiä "koneita" on jo rakennettu, joskin niiden teho ja muisti ovat aivan minimaalisia.

²⁵ <http://abcnews.go.com/sections/tech/DailyNews/photons990521.html>

²⁶ <http://agents.media.mit.edu/>

Kaikkialla läsnäoleva tietotekniikka

(ubiquitous computing)

Kaikkialla läsnäoleva tietotekniikka on Mark Weiserin vuonna 1988 Xerox PARCin tietotekniikkalaboratoriossa luoma viitekehys²⁷. Alkuperäisessä muotoilussa tavoitteena oli kytkeä käyttäjä samanaikaisesti “satoihin eri skaaloilla oleviin tietokoneisiin”. Perusajatuksena oli tehdä tekniikasta näkymättömiä, jotta tekniikka jäsenyisi osaksi jokapäiväisiä toimia. Ennen Weiserin vision toteuttamista (olettaen, että se on teknisesti mahdollista) tulisi kuitenkin keskustella sen monista yhteiskunnallisista ja eettisistä vaikutuksista. Erityisesti pitäisi keskustella siitä, ovatko ihmiset valmiita olemaan jatkuvasti satojen näkymättömien laitteiden seurattavina.

Virtuaalitodellisuuden sovellutukset

(applications of virtual reality)

Virtuaalitodellisuuden sovellutuksia voi hyödyntää laajasti eri ympäristöissä ja eri toiminnoissa. Perinteinen näkemys virtuaalitodellisuudesta korostaa sen mahdollisuuksia spatiaalisessa mallinnuksessa, esimerkiksi aluesuunnittelussa ja molekyylien rakenteiden mallinnuksessa. Nopeasti kehittyvä virtuaalitodellisuuden sovellus on niin sanottu tehostettu todellisuus (enhanced reality). Tehostettu todellisuus tarkoittaa virtuaalisten objektien lisäämistä ja upottamista oikeisiin ympäristöihin. Esimerkkinä voisi olla vaikkapa kävely muinaisilla rauniolla, jossa virtuaalilasit ja virtuaalipuku päällä voi katsella muinaisten rakennusten virtuaalisia malleja niiden oikeassa ympäristössä. Toinen tehostetun todellisuuden varma sovellusalue on viihde: tulevaisuuden pelit sekoittavat todellisuutta ja virtuaalisuutta siten, että pelaaja voi kulkea oikeassa ympäristössä ja samalla kokea virtuaalista seikkailua, jahdata virtuaalisia vihollisia. Perinteistä virtuaalitodellisuutta voi soveltaa laajasti esimerkiksi tutkimuksessa²⁸.

Bioteknologia

Keinoelimet

(artificial organs)

Keinoelinten kehittämistä voi tulevaisuudessa tulla lupaava bioteknologian sovellus. Erilaisia keinoelimiä tai keinoelimiin rinnastettavia sovelluksia on toki jo sovellettu lääketieteessä, parhaina esimerkiksi keinoveri, veripumput, verensiirto, keinosydän, keinosydänläpät, hemofiltratio ja keino munuaiset. Bioteknologia voi kuitenkin tuoda aivan uuden ulottuvuuden keinoelinten kehittämiseen. Elimiä voisi ainakin teoriassa valmistaa “mittatilaustyönä” esimerkiksi potilaan omista kantasoluista.

Biosiru

(biochips)

Biosiru on “lasilastu, johon on kirjailtu tuhansia nukleiinihapposekvenssejä käytettäväksi geneettisessä analyysissä”³⁰. Biosiru on siis tutkimuslaite, jolla voidaan läpikäydä nopeasti suuria genomimassoja ja usealla rinnakkaisella prosessilla. Nykyään biosirut ovat diagnostisia työkaluja, mutta tulevaisuuden sirulaboratorioiden ennustetaan tekevän kokeita, esimerkiksi ne voisivat analysoida verinäytteitä jonkun analyttisen periaatteen mukaan. Jo nyt biosirujen ympärille on syntynyt alihankintatyyppistä yritystoimintaa. Esimerkiksi Suomeenkin on jo syntynyt bioalalle suunnattuja kvantitatiivisia analyysipalveluja tuottavia pk-yrityksiä.

²⁷ <http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html>; <http://archive.ncsa.uiuc.edu/Cyberia/VETopLevels/VR.Apps.GrandChal.html>

²⁸ <http://archive.ncsa.uiuc.edu/Cyberia/VETopLevels/VR.Apps.GrandChal.html>

²⁹ <http://www.nlm.nih.gov/hmd/manuscripts/asaio/icao.html>

³⁰ Gates 1998

Taulukko 3. Esimerkkejä biomimetikan sovelluksista (mukailten <http://www.biomimicry.org/>).

Biomimeettiset materiaalit	Mahdollisia sovellusaloja
<p>Delfiinin ja hain iho</p> <p>Elastiini, proteiini sydänlihaksessa</p> <p>Hämähäkin tuottama silkkimäinen kuitu</p>	<p>Painetta kestävä runkomateriaali sukellusveneisiin ja lentokoneisiin.</p> <p>Älymateriaalit – materiaalit ja kuidut, jotka reagoivat ja joustavat kuumuuden, valon tai kemiallisten olosuhteiden muutosten seurauksena.</p> <p>Kuituja voisi valmistaa ilman kuumuutta, korkeaa painetta tai kemikaaleja. Kuidut ovat kestävämpiä, kimmoisampia ja joustavampia kuin tällä hetkellä valmistettavat. Voisi hyödyntää esimerkiksi siltojen kaapeleissa, suojavarusteissa ja lääketieteellisissä ompeleissa.</p>
Biomimeettiset prosessit	Mahdollisia sovellusaloja
<p>DNA</p> <p>Neuronit</p> <p>Valoon reagoivat purppurabakteerit</p>	<p>“Sormustintietokoneet” – DNA:n tiivis rakenne ja itseään korjaavat ominaisuudet voisivat johtaa täysin uudenlaisiin tietotekniikan mahdollisuuksiin.</p> <p>“Palapelitietotekniikka” – prosessori, joka perustuu toisiinsa yhteensopiviin orgaanisiin molekyyliihin.</p> <p>Orgaaninen tietokoneen muisti – kytkin, joka perustuu valon muutokseen.</p>

Biomimetikka

(biomimetics)

Biomimetikka on enemmänkin epistemologinen lähestymistapa kuin erillinen bioteknologian osa. Biomimetikka viittaa lyhykäisesti elämän imitointiin, lähestymistapaan, jossa yritetään soveltaa luonnossa esiintyviä rakenteita ja ratkaisuja ihmisen ongelmiin. Biomimetikka onkin paitsi teknologisia sovelluksia inspiroiva tutkimushaara, myös eräänlainen eettinen periaate. Sitä voi lähestyä kolmella tavalla: luonnon prosessien mallintaminen, niiden eettinen arvostus ja evoluution luomista ratkaisuisista oppiminen³¹. Biomimetikan periaatteet liittyvät sekä materiaaleihin ja prosesseihin, joista seuraavassa lyhyt kooste (taulukko 3).

Kloonaus

(cloning)

Kloonaus on yksi puhutuimpia teemoja pohdittaessa bioteknologian yhteiskunnallisia seurauksia. Human Genome -projektin tutkijoiden mukaan kloonaus tarkoittaa “geenien ja kromosomien palasten kopiointia kokonaisten, geneettisesti identtisten eläinten tuottamista varten”³². Kloonaus on tästä syystä arvokas metodi tutkimukselle. Modernein bioteknologisin menetelmin on mahdollista kloonata esimerkiksi nisäkkäitä: hiiriä, lampaita ja lemmikkieläimiä. Tutkimuksen yhteydessä tehtyjen asiantuntijahaastattelujen aikana kerättiin näkökulmia kloonaukseen. Useimmat haastatellut asiantuntijat näkivät, että kloonaus tulee kuitenkin olemaan melko mar-

³¹ <http://www.biomimicry.org/>; <http://www.bfi.org/Trintab/spring01/biomimicry.htm>).

³² <http://www.ornl.gov/hgmis/elsi/cloning.html>

ginaalinen yhteiskunnallinen ilmiö. Useat haastatellut painottivat myös, että luonnon evoluution mitataavassa kloonauksessa ei tule olemaan kovinkaan merkittävä asia.

Geneettinen muuntelu

(genetic engineering)

Geneettisellä muuntelulla tarkoitetaan tässä yhteydessä geenisegmenttien vaihtamista eliölajista toiseen. Geneettinen muuntelu käsittää useamman tekniikan, joiden avulla DNA:ta voi leikata joko satunnaisesti tai ennalta määrättyistä kohdista. Kun leikatut segmentit on eristetty, voidaan segmentissä olevia geenejä tutkia, monistaa ja siirtää toisiin geenisegmentteihin. Tästä syystä geneettisellä muuntelulla arvellaan olevan suuria vaikutuksia esimerkiksi kasvinjalostuksessa. On esimerkiksi mahdollista kehittää superkasveja, joilla on huomattavasti korkeampi satoisuus kuin edeltäjillään.

Geeniterapia

(genetic therapy)

Ajatus geeniterapiasta kytkeytyy tiiviisti geneettisen muuntelun ideaan. Geeniterapialla voidaan tarkoittaa esimerkiksi geneettisen sairauden hoitoa "istuttamalla" terveitä geenejä sairaiden tilalle. Geeniterapiaa on kahta perustyyppiä: kantasoluterapiaa ja somaattista terapiaa. Kantasoluterapialla viitataan hoitoihin, jotka tehdään ihmisen omiin kantasoluihin perustuen. Kantasolut ovat eräänlaisia ihmisen perussoluja, jotka kykenevät muuntautumaan minkä tahansa kudoksen soluksi. Somaattinen terapia viittaa hoitoihin, jotka koskevat muita kuin kantasoluja. Somaattiseen terapiaan liittyviä kliinisiä kokeita on tehty vakavien perinnöllisten sairauksien hoitoja varten. Kantasoluterapiaa ei ole vielä (ainakaan virallisesti) sovellettu, pääasiassa sen herättämien moninaisten eettisten ongelmien vuoksi.

Kohdennetut lääkkeet

(targeted pharmaceuticals)

Ajatus kohdennetuista lääkkeistä on myös linkki jatkumossa geneettisen muuntelun ja geeniterapian kanssa. Geneettiset teknologiat ovat keskeisiä kohdennettujen lääkkeiden kehittämisessä, koska geenit säätelevät lääkkeiden metaboliaa. Kohdennettujen lääkkeiden tähtäminen perustuu yleensä joihinkin tiettyihin soluseinämän proteiinien tuntemukseen³³. Rääätelöityjen lääkkeiden kehitys on muodostunut omaksi tutkimusalakseen, jota kutsutaan farmakogenetiikaksi. Tällä hetkellä kohdennettujen lääkkeiden tutkimus ja kehitys liittyy keskeisesti syövän hoitojen kehittämiseen, kuten niin moni muukin lääketieteen edistysaskeleista.

Materiaali- ja nanoteknologia

Bioyhteensopivat materiaalit

(biocompatible materials)

Bioyhteensopivat materiaalit ovat yksi keskeisimpiä nousevia teknologioita bioteknologian ja materiaali-tekniikan rajapinnalla. Bioyhteensopivat materiaalit ovat synteettisiä materiaaleja, joita voi toimivasti ja turvallisesti yhdistää biologiseen materiaaliin. Yksi tärkeimmistä bioyhteensopivien materiaalien tutkimuskohteista liittyy kahden eri materiaalityypin, orgaanisen ja epäorgaanisen, välisiin pintareaktioihin. Keskeinen sovellusala pintareaktioiden tutkimuksessa on ollut lääketiede. Esimerkkinä lääketieteellisestä sovelluksesta voisi mainita fotolitografisen tutkimuksen, jossa selvitettiin veren proteiinien sitoutumista erilaisten synteettisten materiaalien pintoihin. Keskeinen tutkimuskohde on myös turvallisen ja toimivan kudoksen rakentaminen osittain tai kokonaan synteettisestä bioyhteensopivasta materiaalista³⁴.

³³ <http://www.sciencenews.org/20020914/bob9.asp>

³⁴ Baltimore 2001, 42–55; Lievonen 1999, 51–52; Ball 1998, 9–24; <http://www.mpip-mainz.mpg.de/documents/projects98/C3.htm>

Polttoainekennot

(fuel cells)

Polttoainekennot ovat elektrokemiallisia energian muuntolaitteita, jotka muuntavat esimerkiksi vedyn ja hapen vedeksi tuottaen samalla sähköä ja lämpöä. Käytännössä polttoainekkenno muistuttaa akkua, jota voi ladata samalla kun siitä otetaan virtaa. Ero on siinä, että polttoainekkenno ei käytä prosessiin sähköä, vaan vetyä ja happea³⁵. Polttoainekkennoista voi löytää myös toisenlaisia määritelmiä. Toinen lähde kertoo, että polttoainekkenno eroaa akusta siinä mielessä, että se ei tarvitse uudelleenlatausta. Sen sijaan polttoainekkenno on kuin generaattori, joka tuottaa energiaa niin pitkään kuin polttoainetta riittää. Polttoainekennot ovat erittäin lupaava teknologia, joka tulevaisuudessa voinee korvata fossiilisiin polttoaineisiin perustuvat energianlähteet. Tällöin kyseeseen voisivat tulla vaihtoehtoiset ratkaisut polttomoottoreille.

Funktionaaliset polymeerit

(functional polymers)

Funktionaaliset polymeerit kytkeytyvät läheisesti bioyhteensopiviin ja niin sanottuihin älymateriaaleihin (ks. alla). Funktionaaliset polymeerit viittaavat itseorganisoituviin materiaaleihin, jotka muuttavat rakennetta tai muotoaan jonkun ärsykkeen (esimerkiksi valo tai sähkövaraus) perusteella. Funktionaaliset polymeerit rakennetaan manipuloimalla materiaalin perusrakennetta (molekyyliketjujen pituutta, muotoa tai geometriaa) kemiallisesti tai muulla tavoin. Antoniettin (2003) mukaan "lopullisena tavoitteena on kyky kontrolloida polymeerien rakennetta ja vuorovaikutusta nanotasolla". Tällöin kyseeseen tulee erityisesti polymeerien yhteistoininnan säätely tai molekyylien välisten informaatiovirtojen säätely.

Älymateriaalit

(intelligent materials)

Älymateriaalit voi yleisesti määritellä materiaaleiksi, jotka reagoivat fyysiseen stimulaatioon ilman erityistä informaation prosessointijärjestelmää. Älymateriaaleiksi voidaan kutsua myös materiaaleja, joilla on poikkeuksellisen moneen tarkoitukseen sopivia ominaisuuksia, hyvä kierrätettävyys tai hyvä palautumiskyky (esimerkiksi jos materiaalin pitää kestää veynymistä). Älymateriaaleja voi käyttää hyväksi lääketieteessä, bioteknologiassa ja teollisissa prosesseissa. Arkisempiakin sovelluksia on luvassa: esimerkiksi kankaat voivat tulevaisuudessa olla "älykkäitä" ja muuttaa kosteuden läpäisykykyään ilman kosteuden mukaan³⁶.

Miniaturisaatio

(miniaturization)

Miniaturisaatio viittaa teknologian pienentämisen tutkimukseen ja pienempään tilaan sopivan teknologian suunnitteluun sekä tuotantoon kehittynein materiaali- ja nanoteknologian menetelmin. Miniaturisaatiota edustaa esimerkiksi erilaisten nanomoottoreiden, nanoputkien ja nanopumppujen kehittäminen. Nanomoottorit ovat "100 000 kertaa pienempiä kuin nuppineulan pää" ja niiden arvioidaan muodostavan perustan tietokoneille, jotka ovat "1 000 kertaa tehokkaampia kuin tämän päivän laitteet"³⁷. Miniaturisaatiolla on runsaasti sovellusmahdollisuuksia lääketieteessä. Yksi mahdollinen sovellus on esimerkiksi videopilleri, joka sisältää miniatyyrisen kameran, patterin ja lähettimen. Informaatio- ja kommunikaatioteknologian alalla on toinenkin miniaturisaatioon pakottava tekijä: asiakkaat, joihin Mooren kuuluisa "laki" ja tehokas markkinaprosessi on laajalti lyönyt ennakkokäsityksen jatkuvasti pienenevästä teknologiasta³⁸.

³⁵ <http://howstuffworks.com/fuel-cell1.htm>

³⁶ Greaves 1997; http://www.tekes.fi/uutisia/uutis_tiedot.asp?id=1769

³⁷ <http://www.lucnet.com/press/0800/000809.bla.html>

³⁸ Conway 2001

Sensorit, havaitsimet

(sensors)

Sensorit ovat reaaliaikaisen ja informaatiojärjestelmien "rajapinnalla" olevia miniatyyrisiä laitteita, jotka mittaavat jonkun laitteen tai prosessin tarkkuutta³⁹. Sensoreita voi soveltaa esimerkiksi ympäristön tarkkailuun, kaasujen havainnointiin ja teollisten prosessien tarkkailuun. Sensorien tuotannossa yhdistyvät materiaaliteknologian eri osa-alueet, esimerkiksi bioyhteensopivuus, erikoistoiminnallisuus ja materiaalien älytoiminnot. Molekyylibiologian, mikrofabrikaation ja mikroelektroniikan yhdistyksessä keinoelimiä valvovien biosensoreiden *in vivo* -tuotanto (tuotanto kehossa) tulee mahdolliseksi.

Suprajohtavat materiaalit

(superconducting materials)

Suprajohtavat materiaalit ovat materiaaleja, jotka johtavat ja kuljettavat sähköä miltei täysin ilman vastusta ja energiakatoa. Suprajohtaville materiaaleille on paljon sovellusaloja. Esimerkiksi käyttämällä suprajohtavasta materiaalista tehtyjä johtoja tietokoneista tulisi huomattavasti nopeampia ja ne tarvitsisivat vähemmän energiaa toimiakseen⁴⁰.

³⁹ <http://www.microsens.ch/summary1.htm>

⁴⁰ <http://www.nsf.gov/od/lpa/news/publicat/nsf0050/materials/tomorrow.htm>

Tulevaisuuden teknologisia polkuja: ensimmäisen delfikierroksen tulokset

Tässä kappaleessa esitellään ensimmäisen delfikierroksen tulokset. Asiantuntijahaastattelut ja teknologistat toimivat pohjana toisen vaiheen, eli ensimmäisen delfikierroksen, kysymyslomakkeen suunnittelussa. Kysymyslomake jaettiin kolmeen osioon: teknologisten ilmiöiden merkityksen arviointi, teknologiseen kehitykseen liittyvien teesien uskottavuuden arviointi ja näiden teknologisten teesien ajoittaminen. Vastaajien lukumäärä ensimmäisellä kierroksella jäi melko alhaiseksi (n = 32), mikä asettaa rajoituksia saatujen arvioiden yleistämiselle. Delfitekniiikan peruseriaatteet eivät kuitenkaan vaadi suuria vastaajajoukkoja, koska asiantuntijuus näyttelee keskeistä roolia delfitekniiikassa. Tavoitteena ei ole siis tilastollisesti merkitsevän otoksen kokoaminen, vaan *ennalta valittujen asiantuntijoiden mielipiteiden kokoaminen ymmärrettävään muotoon ja näiden mielipiteiden yhteneväisyyksien ja erojen analysointi*. Tällöin voidaan hyvinkin käyttää apuna esimerkiksi hajontalukuja ja muita tilastollisia menetelmiä, mutta otoksen koolla ei ole sinänsä merkitystä. Jopa 10–15 asiantuntijan otos voi olla riittävä, mikäli asiantuntijat on hyvin valittu. Ensimmäisen delfikierroksen tulokset toimivat toisen delfikierroksen lähtökohtana. Ensimmäisen delfikierroksen tu-

loksilla on siis kaksinkertainen funktio: ne ovat sinällään itsenäisiä empiirisiä tuloksia ja ne myös jäsentävät seuraavan kierroksen empiirisiä tuloksia.

Ensimmäisen kierroksen kysymyslomakkeen täyttö tapahtui kolmivaiheisesti: taustatietojen antaminen, asiantuntemuksen määrittäminen ja kysymyksiin vastaaminen. Asiantuntemuksen määrittelyssä käytettiin apuna vastaajien omia määrittelyjä aloilta. Ennakkomäärittelyn ja asiantuntijoiden oman määrittelyn perusteella määriteltiin informaatio- ja kommunikaatioteknologian, bioteknologian ja materiaali- ja nanoteknologian asiantuntijaryhmät. Ensimmäisen kierroksen aikajänne on niin sanotusti hyvin pitkän aikavälin tarkastelu vuoteen 2015.

Teknologisten teesien uskottavuus

Ensimmäisen delfikierroksen keskeinen tulos oli niin sanottujen teknologisten teesien arviointi. Tässä esitetään teknologisten teesien uskottavuuden arvioinnin tulokset (kuva 3). Teknologiset teesit muodostettiin preliminäärisessä vaiheessa määriteltyjen systematisoitujen avainteknologioiden perusteella

hyväksikäyttäen asiantuntijahaastatteluja ja tutkimuskirjallisuutta. Teesien tavoitteena oli luonnehtia määriteltyjä avainteknologioita lyhyin ja mahdollisimman havainnollisin kuvailuin. Teesit esitettiin siten, että ensin määriteltiin teesin yleinen teknologinen kehys, jota seurasi spesifi lyhyt luonnehdinta ja kuvailu. Teknologiset teesit on lueteltu alla (ensimmäisellä rivillä on teknologinen kehys, jota seuraa tarkempi kuvailu).

Teesien uskottavuuden arviointi tapahtui seuraavalla asteikolla: 5 = erittäin uskottava, 4 = uskottava, 3 = vaikea sanoa, 2 = epäuskottava, 1 = erittäin epäuskottava. Yhdeksän uskottavinta teesiä kaikkien asiantuntijoiden mukaan olivat kohdennetut lääkkeet, sensorit, integroitu teknologia, biolääketieteelliset materiaalit, fotoniset materiaalit, 3-G teknologia, älymateriaalit, diagnostiikka ja virtuaalitodellisuus (kuva 3). *Näitä yhdeksää edellä mainittua teesiä käytettiin toisen delfikierroksen suorittamisen perustana.* ICT-asiantuntijat arvioivat kaikkein uskottavimmiksi teesit koskien biolääketieteellisiä materiaaleja ja integroitua teknologiaa. Bioasiantuntijoiden mu-

kaan kohdennetut lääkkeet ja sensorit ovat kaikkein uskottavimmat teesit. Materiaali- ja nanoasiantuntijoiden mukaan kohdennetut lääkkeet ja integroitu teknologia olivat kaikkein uskottavimmat teesit.

Teknologisten teesien ajoittaminen

Viimeisenä osana ensimmäisellä delfikierroksella pyydettiin arvioita teknologisten teesien toteutumisajankohdasta. Määritelmän mukaan asiantuntijoilta pyydettiin arviota vuodesta, jolloin teesin toteutumistodennäköisyys on vähintään 50 %. Jos teesin toteutumiseen ei uskonut lainkaan, oli mahdollisuus vastata "ei toteudu". Teesien ajoittamisosiossa ei kokonaisjoukkoa jaettua lainkaan asiantuntijaryhmiin. Tulokset on esitetty kuvassa 4.

Teesit, joilla oli pienimmät mediaanit (nopeimmin toteutuvat) olivat *informaatioteknologia* (kehittynyt informaatioteknologia korvaa paperin toimistoissa) ja *integroitu teknologia* (toimistoissa, kodeissa

1. Fotoniset materiaalit

Materiaalit, jotka tuottavat ja prosessoivat valoa, tulevat korvaamaan kuparista tehdyt johteet esimerkiksi informaation siirtoteknologioissa.

2. Älymateriaalit

Materiaalit, jotka seuraavat ja korjaavat itse itseään yleistyvät ja vapauttavat ihmistyövoimaa materiaalien seurannasta.

3. Biolääketieteelliset materiaalit

Biolääketieteellisistä materiaaleista tehtyjä siirrännäisiä ja ihmisen "varaosia" tullaan käyttämään iho- ja elinsiirroissa ja muissa kirurgisissa operaatioissa.

4. Rikkoutumattomat materiaalit

Kulutuslaitteiden käyttöiän kasvu rikkoutumattomien materiaalien hyödyntämisen seurauksena.

5. Uudet polymeerit

Uusien polymeerien hyväksikäyttö teollisuudessa esimerkiksi sähkön johteina ja sähkön varastoina tuottavuuden tehostamiseksi.

6. Nanoteknologia

Kovia ja elastisia nanoputkia käytetään esineissä, jotka vahingoittuvat helposti. Esimerkiksi sähkölaitteissa nanoputkia voidaan käyttää estämään vaurioita ja pidentämään niiden käyttöikää.

7. Sensorit

Ympäristön liikkeitä ja muutoksia seuraavia sensoreita aletaan käyttää mahdollisten ympäristöuhkien seurannassa.

8. Diagnostiikka

Nanokokoisia koneita käytetään esimerkiksi tautien diagnostiikassa, lääkkeiden annostelussa ja elintoimintojen seurannassa.

ja rakennetussa ympäristössä hyödynnetään yleisesti informaatioteknologiaa, joka mahdollistaa tehokkaan kommunikaation ja on läsnä ”kaikkiällä”, ns. ubicomp -teknologia). Teesit, joilla oli suurimmat mediaanit (hitaimmin toteutuvat) olivat *älykkäät materiaalit* (materiaalit, jotka seuraavat ja korjaavat itse itseään yleistyvät ja vapauttavat ihmistyövoimaa materiaalien seurannasta) ja *geenimanipulaatio* (perinnöllisten sairauksien ehkäisy ja hoito geeniteknikan avulla).

Teesit, joiden toteutuminen arvioitiin kaikkein epävarmimmaksi (suluissa on esitetty ei toteudu -vastanneiden prosentuaalinen osuus kaikista vastanneista): *informaatioteknologia* (kehittynyt informaatioteknologia korvaa paperin toimistoissa) (35%), *soluteknologia* (kloonausta käytetään lapsettomuuden hoitoon (30%), *rikkoutumattomat materiaalit* (kulutuslaitteiden käyttöiän kasvu rikkoutumattomien materiaalien hyödyntämisen seurauksena) (20%) ja *virtuaalitodellisuus* (virtuaalitodellisuus mahdollistaa etätyöskentelyn, etälääketieteen ja muita palveluja, jotka lisäävät julkisten palvelujen

saavutettavuutta) (15 %). Ei toteudu -vastaukset heijastelevat edellä mainittujen teesien erityisen kaksijakoista luonnetta. Esimerkiksi informaatioteknologia -teesi arvioitiin kaikkein nopeimmin toteutuvien teesien joukkoon, ja kuitenkin se on myös selvästi kaikkein epäuskottavin. Paperiton toimisto on kaiketi positiivinen utopia, joka voinee olla lähellä, mutta jonka toteutumiseen on kuitenkin lopulta vaikea uskoa. Soluteknologiaa koskeva tulos heijastelee kloonauksen keskeistä eettistä dilemmaa: monet ovat jo kovassa vauhdissa ihmisen kloonamiseen tähtäävässä kilpajuoksussa, vaikka eettiset ja juridiset kysymykset ovat vielä täysin auki. Tilanne avaakin eräänlaisen mahdollisuuksien teknologisen ikkunan: kun jokin teknologinen innovaatio toteutuu ennen laajaa yhteiskunnallista keskustelua, siitä tulee realiteetti, joka ei tällöin enää olekaan potentiaalinen mahdollisuus. Tämä muuttaa eettisen ja juridisen keskustelun luonnetta huomattavasti ja antaa etulyöntiaseman innovaattoreille ja innovaation diffuusioteorian mukaisille ensimmäisille omak-sujille.

9. Biomimetiikka

Imitoimalla ja soveltamalla luonnollisia prosesseja esimerkiksi paperin tuotannossa vähennetään ympäristöriskejä.

10. Geenimanipulaatio

Perinnöllisten sairauksien ehkäisy ja hoito geeniteknikan avulla.

11. Kohdennetut lääkkeet

Tehokkaita, kohdennettuja lääkkeitä käytetään esimerkiksi syövän hoitoon siten, että lääkitys kohdistuu ainoastaan syöpäsoluihin.

12. Soluteknologia

Kloonausta käytetään lapsettomuuden hoitoon.

13. Biotuotteet

Biotuotteita käytetään esimerkiksi maaperän ja veden puhdistukseen.

14. Integroitu teknologia

Toimistoissa, kodeissa ja rakennetussa ympäristössä hyödynnetään yleisesti informaatioteknologiaa, joka mahdollistaa tehokkaan kommunikaation ja on läsnä ”kaikkiällä” (ns. ubicomp -teknologia).

15. Virtuaalitodellisuus

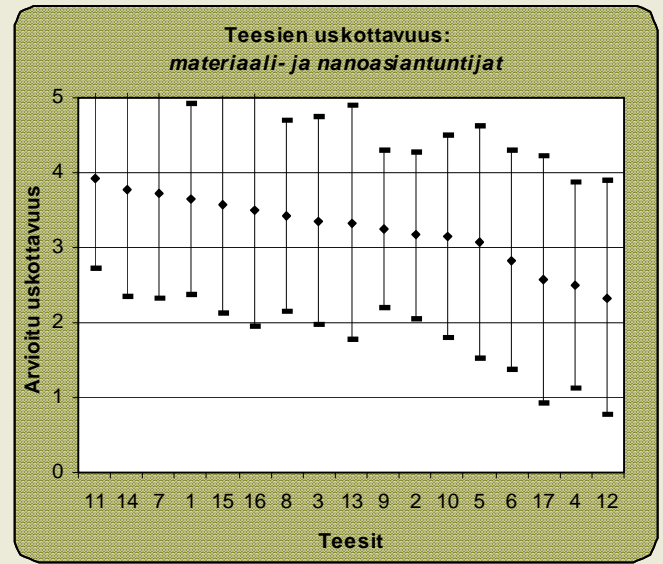
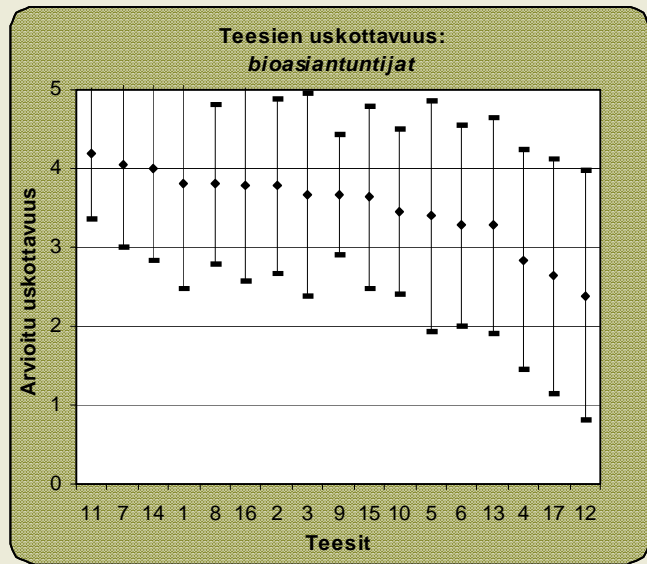
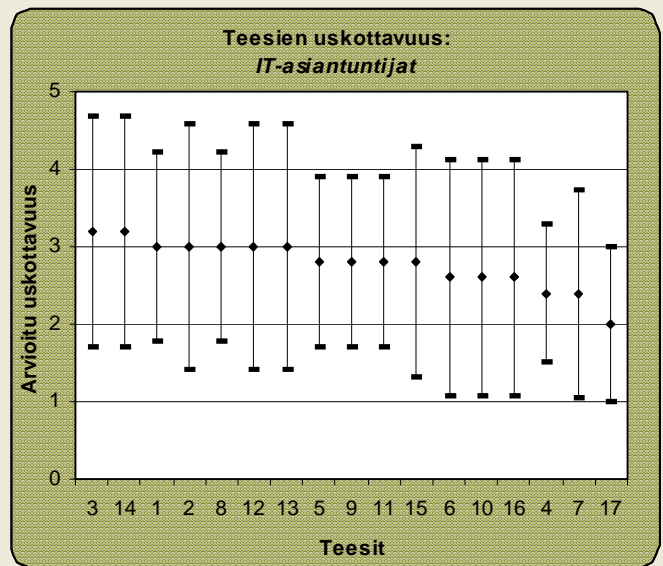
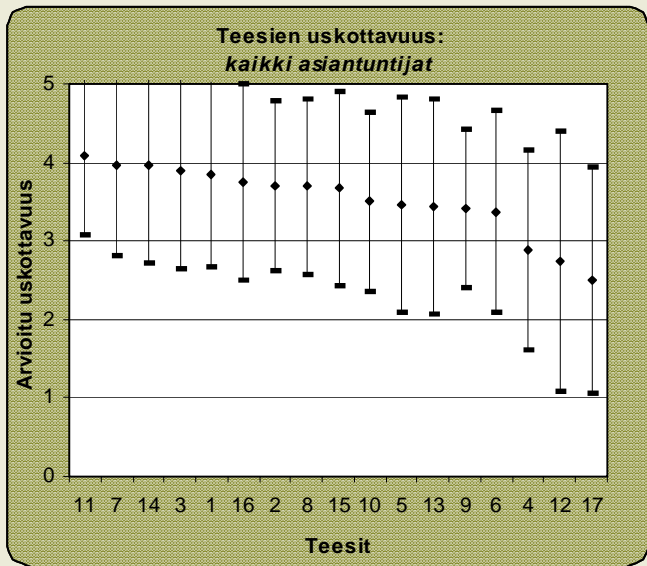
Virtuaalitodellisuus mahdollistaa etätyöskentelyn, etälääketieteen ja muita palveluja, jotka lisäävät julkisten palvelujen saavutettavuutta ja edullisuutta.

16. 3-G -teknologia

Mahdollisuus nopeaan tekstin ja kuvien siirtoon lisää julkisten palvelujen saavutettavuutta.

17. Informaatioteknologia

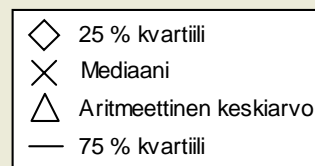
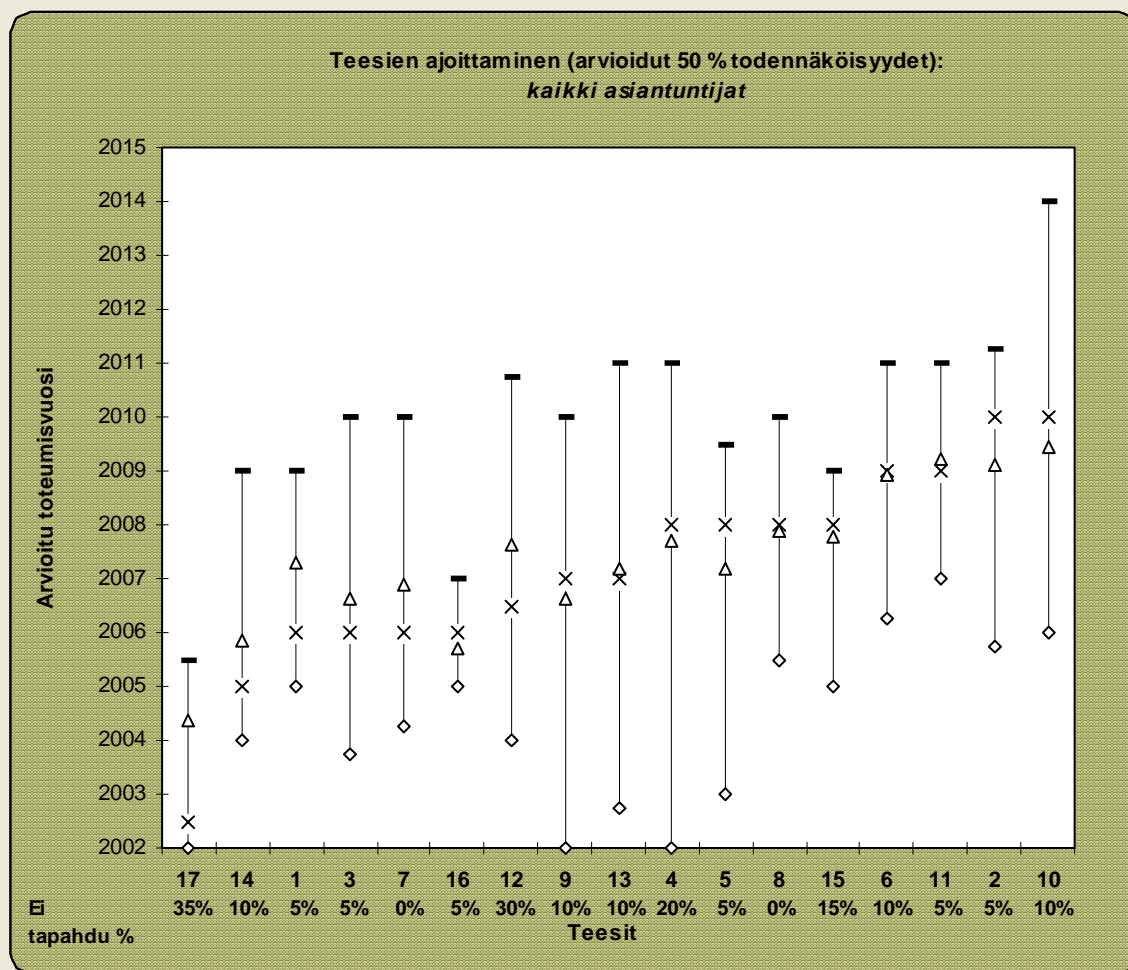
Kehittynyt informaatioteknologia korvaa paperin toimistoissa.



5 = erittäin uskottava	4 = uskottava	◆ Aritmeettinen keskiarvo
3 = vaikea sanoa	2 = epäuskottava	— Keskiahajonta
1 = erittäin epäuskottava		

Kuva 3. Teknologisten teesien uskottavuus.

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 1. Fotoniset materiaalit | 10. Geenimanipulaatio |
| 2. Älymateriaalit | 11. Kohdennetut lääkkeet |
| 3. Biolääketieteelliset materiaalit | 12. Soluteknologia |
| 4. Rikkoutumattomat materiaalit | 13. Biotuotteet |
| 5. Uudet polymeerit | 14. Integroitu teknologia |
| 6. Nanoteknologia | 15. Virtuaalitodellisuus |
| 7. Sensorit | 16. 3-G -teknologia |
| 8. Diagnostiikka | 17. Informaatioteknologia |
| 9. Biomimetiikka | |



Kuva 4. Teknologisten teesien toteutumisen ajoittaminen.

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------|
| 1. Fotoniset materiaalit | 10. Geenimanipulaatio |
| 2. Älymateriaalit | 11. Kohdennetut lääkkeet |
| 3. Biolääketieteelliset materiaalit | 12. Soluteknologia |
| 4. Rikkoutumattomat materiaalit | 13. Biotuotteet |
| 5. Uudet polymeerit | 14. Integroitu teknologia |
| 6. Nanoteknologia | 15. Virtuaalitodellisuus |
| 7. Sensorit | 16. 3-G -teknologia |
| 8. Diagnostiikka | 17. Informaatioteknologia |
| 9. Biomimetikka | |

Teknologisten polkujen yhteiskunnallisia vaikutuksia: toisen delfikierroksen tulokset

Ensimmäisen delfikierroksen päätavoitteen voi muotoilla seuraavasti: asiantuntija-arvioiden kerääminen koskien tulevaisuuden keskeisiä teknologioita ja teknologisen kehityksen suuntaviivoja. Toisen delfikierroksen päätavoitteen voi muotoilla edellistä mukaillen seuraavasti: asiantuntija-arvioiden kerääminen ensimmäisellä kierroksella nousseiden keskeisten teknologioiden yhteiskunnallisista vaikutuksista, erityisenä painopisteenä ammatit ja koulutushaarat. Yhdeksän uskottavinta teknologista teesiä valittiin toisen kierroksen perustaksi (katso seuraava kappale).

Toinen delfikierros toteutettiin myös Internet-pohjaisena kyselynä. Toisella kierroksella painotettiin yhteiskunnallista asiantuntijuutta ja siksi asiantuntijat valittiin erityisten yhteiskunnallisten positiuslistojen perusteella. Nämä listat olivat World Futures Studies Federation -lista, World Futures Society -lista, tämän tutkimuksen alustavia tuloksia esitelleen Futukeys -session osallistujat World Futures Society -kongressissa Philadelphiassa, UNU Millennium -lista, FPI (Futures Professionals Internatio-

nal) -lista, suomalaisilta ministeriöiltä ja esimerkiksi TEKESiltä tähän tarkoitukseen saadut nimet. Toisella delfikierroksella oli mukana 40 asiantuntijaa.

Kysymyslomakkeessa oli kolme osiota: teknologisten teesien vaikutukset professioihin ja koulutushaaroihin, muodostettujen tulevaisuusammattien uskottavuuden arviointi ja näiden tulevaisuusammattien ajoittaminen (arvio, jolloin kyseessä olevasta nimikkeestä tulee 50 % todennäköisyydellä ”oikea” ammatti tai ammatillinen käytäntö). Kysymyslomake täytettiin antamalla taustatiedot ja vastaamalla kysymyksiin. Toisella delfikierroksella ei enää käytetty erityisiä teknologisia ryhmäjakoja ja aineisto analysoitiin kokonaisuutena. Tämä johtui toisen kierroksen perusolettamuksesta, eli siitä, että asiantuntijuuden arvioitiin olevan yhteiskunnallinen, eikä erityisiä teknologisia jakoja enää tarvittu. Kysymysten aikaperspektiivi on sama kuin ensimmäisellä delfikierroksellakin eli vuoteen 2015.

- **Kohdennetut lääkkeet**
Tehokkaita, kohdennettuja lääkkeitä käytetään esimerkiksi syövän hoitoon siten, että lääkitys kohdistuu ainoastaan syöpäsoluihin.
- **Sensorit**
Ympäristön liikkeitä ja muutoksia seuraavia sensoreita aletaan käyttää mahdollisten ympäristöuhkien seurannassa.
- **Integroitu teknologia**
Toimistoissa, kodeissa ja rakennetuissa ympäristössä hyödynnetään yleisesti informaatioteknologiaa, joka mahdollistaa tehokkaan kommunikaation ja on läsnä "kaikkialla" (ns. ubicomp -teknologia).
- **Biolääketieteelliset materiaalit**
Biolääketieteellisistä materiaaleista tehtyjä siirrännäisiä ja ihmisen "varaosia" tullaan käyttämään iho- ja elinsiirroissa ja muissa kirurgisissa operaatioissa.
- **Fotoniset materiaalit**
Materiaalit, jotka tuottavat ja prosessoivat valoa, tulevat korvaamaan kuparista tehdyt johteet esimerkiksi informaation siirtoteknologioissa.
- **3-G -teknologia**
Mahdollisuus nopeaan tekstin ja kuvien siirtoon lisää julkisten palvelujen saavutettavuutta.
- **Älymateriaalit**
Materiaalit, jotka seuraavat ja korjaavat itse itseään yleistyvät ja vapauttavat ihmistyövoimaa materiaalien seurannasta.
- **Diagnostiikka**
Nanokokoisia koneita käytetään esimerkiksi tautien diagnostiikassa, lääkkeiden annostelussa ja elintoimintojen seurannassa.
- **Virtuaalitodellisuus**
Virtuaalitodellisuus mahdollistaa etätyöskentelyn, etälääketieteen ja muita palveluja, jotka lisäävät julkisten palvelujen saavutettavuutta ja edullisuutta.

Teknologisten teesien vaikutukset ammatteihin ja koulutusaloihin

Toisen delfikierroksen ensimmäinen osio perustui ensimmäisellä kierroksella esiinnousseisiin yhdeksään uskottavimpaan teknologiseen teesiin. Teesit on esitetty yllä ensimmäisen kierroksen mukaisessa uskottavuusjärjestyksessä.

Asiantuntijoilta kerättiin arvioita ammateista tai koulutusaloista, joihin edellä mainitut yhdeksän teknologiaa vaikuttavat eniten vuoteen 2015 mennessä. Vaikutus arvioitiin seuraavalla asteikolla: 3 = alalla toimivien ihmisten määrä on kasvanut huomattavasti, 2 = alalla toimivien ihmisten määrä on lisääntynyt, 1 = alalla toimivien ihmisten määrä on lisääntynyt hieman, 0 = alalla toimivien ihmisten määrä on pysynyt samana, -1 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt hieman, 2 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt ja -3 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt huomattavasti. Luokittelun pääideana oli saada mahdollisim-

man nyanssoituja tuloksia siten, että kysymys on mahdollisimman yksiselitteinen ja helppo vastata.

Ammatteja ja koulutusaloja kuvaava lista rakennettiin toisen kierroksen yhteydessä pääasiassa Tilastokeskuksen ja työministeriön tuottamien eri luokitusten pohjalta. Oman luokituksen muodostamiseen päädyttiin sen jälkeen, kun todettiin Tilastokeskuksen ja työministeriön tuottamat luokitukset joko liian yksityiskohtaisiksi tai liian staattisiksi tämän tutkimuksen tavoitteita silmällä pitäen. Käytetty ammatti- ja koulutusalaista muodostettiin yhdistelemällä ja sovitamalla erilaisia koulutukseen ja ammatteihin liittyviä yleisiä kategoriointeja. Listan muodostamisessa oli kaksi päätavoitetta: ensimmäisenä tavoitteena oli korostaa erityisesti tietointensiivisissä rakenteissa ja tietoyhteiskunnassa keskeisiä ammatillisia ja koulutuksellisia toimintoja ja toisena tavoitteena oli saada jonkinlainen tulevai-

suusorientaatio kyseiseen listaan. Tämä tarkoittaa sitä, että liian yksityiskohtaiset ammatilliset nimikkeet ja koulutushaarat hylättiin ja tilalle otettiin toiminnan luonnetta kuvaavia nimikkeitä, joiden alle uppoutuu useita spesifejä ammatteja. Tällöin päästään tilanteeseen, jossa työn nimi ei rajaa tuloksia. Lista näyttäisikin huomattavan erilaiselta, mikäli raportin tavoitteena olisi arvioida vaikkapa proteiinitutkimuksen tulevaisuutta. Tällöin lista olisi huomattavasti spesifimpi. Pitkällisten muotoilujen ja johtoryhmässä käytyjen keskustelujen jälkeen lista näytti seuraavalta:

1. Arkkitehti / spatiaalisen (tilan) asiantuntija
2. Biokemisti / biologi
3. Talousasiantuntija
4. Ohjelmistoasiantuntija "software"
5. Tietotekniikka-asiantuntija "hardware"
6. Matemaatikko / tilastoasiantuntija (matem. / tilastoasiantuntija)⁴¹
7. Lääkäri / farmakologi
8. Yhteiskunta-asiantuntija / psykologi (yhteisk. as. / psykologi)
9. Opettaja / kasvatuksen asiantuntija (opettaja / kasvatuksen as.)
10. Toimistotyöntekijä
11. Palveluala / myynti / hoitaja
12. Teollisuustyöntekijä "blue collar"

Ammatti- ja koulutusalojen (AK) idea oli yhdistää erilaisia elementtejä, jotka arvioitiin keskeisiksi tietointensiivisten ammattirakenteiden piirteiksi kirjallisuuden ja ensimmäisen delfikierroksen haastattelujen perusteella. Seuraavassa esitetään lyhyt kuvaus jokaisesta AK:sta. Ensimmäinen on arkkitehti / spatiaalisen (tilan) asiantuntija. Tilan asiantuntijoiden tarpeesta esitetään kaksi esimerkkiä. Ensiksi, teknologian suunnittelu ja tuottaminen tapahtuu aina väistämättä *jossakin* paikassa, ja tietoyhteiskunnassa tämä jossakin on yhä yleisemmin jonkinlainen kasauma, verkosto erilaisia yrityksiä tai toimintoja. Näiden kasaumien rakentumisen, muutoksen ja kehityksen logiikka, teknologian tuottamisen konk-

reettinen tilallisuus, on keskeinen prosessi kaiken teknologian tuottamisen taustalla niin tieto- kuin bioyhteiskunnassakin. Toisena esimerkkinä tilallisen asiantuntemuksen tarpeesta ovat virtuaalitodellisuuden ja 3D-ympäristöjen kehittäminen, joita voi hyödyntää esimerkiksi monenlaisen suunnittelun, lääketieteen ja tietysti viihteen aloilla.

Toinen AK viittaa traditionaalisempaan biologian / biokemistin rooliin ja yhä kasvavaan molekulaarisen tiedon tuottamisen ja analysoinnin tarpeeseen bioyhteiskunnassa. Kolmas AK viittaa myös melko traditionaaliseen ymmärrykseen asiantuntemuksesta taloustieteessä tai liiketaloustieteissä. Neljäs ja viides AK korostavat tietoteknologian kaksiteräistä osaamista. Kuudes AK viittaa voimakkaasti kasvavaan matemaattisen ja tilastollisen ymmärryksen tarpeeseen bioyhteiskunnassa. Matemaattista perustietämystä tarvitaan jo luonnontieteellisessä perustutkimuksessa, kuten myös tehokkaissa laskentajärjestelmissä. Esimerkiksi proteomiikan, geenien yhteistoiminnan ja systeemibiologian tutkimus vaatii kehittyneitä matemaattista ja tilastollista osaamista, jotta todella isoja aineistoja pystytään käsittelemään. Tästä on esimerkkinä myös uusien ammattinimikkeiden synty, kuten bioinformatikko. Bioalalle onkin jo syntynyt alihankintayrityksiä, jotka tarjoavat erikoistuneita tilastollisia analyysipalveluja. AK:t seitsemän, kahdeksan ja yhdeksän viittaavat jälleen melko traditionaaliseen ymmärrykseen ko. aloista. Kasvava tarve globaalin tason yhteiskunnallisten ja kulttuuristen prosessien ymmärrykselle todennäköisesti asettanee uusia vaatimuksia yhteiskunnalliselle ja sosiaaliselle asiantuntemukselle. Kategoriat kymmenestä kahteentoista viittaavat teollisen ja palveluyhteiskunnan perusammatteihin, jotka ovat aina edustettuina uusien yhteiskuntamuotojen rakentamisessa. Amatit eivät poistu, mutta niiden sisältö ja suorittaminen muuttuvat osittain teknologisen muutoksen myötä.

Toisen delfikierroksen ensimmäisen tulokset on esitetty kuvissa 5, 6 ja 7. Aineisto on kuvissa järjestetty suuruusjärjestykseen ensisijaisesti frekvenssien ja toissijaisesti aritmeettisten keskiarvojen mukaan,

⁴¹ Sulkeissa esitetään ne ammatti- ja koulutusaloista käytetyt lyhennelmät, joita käytetään tutkimuksen alussa olevan johtopäätösoosan kuvassa 1.

mikäli frekvenssit olivat yhtäsuuret. Frekvenssi tarkoittaa tässä yhteydessä kaikkien annettujen vastausten lukumäärää ammatti- ja koulutusaloja kohden. Vastaukset voivat olla siis positiivisia, neutraaleja tai negatiivisia. Tämä merkitsee sitä, että korkea frekvenssi ei suoraviivaisesti viittaa suureen merkityksen muutokseen, koska vaikutus voi olla siis positiivinen, negatiivinen tai neutraali. Korkea frekvenssi viittaa annettujen vastausten absoluuttiseen lukumäärään. Tämä tarkoittaa, että ne AK:t, joilla on korkeimmat frekvenssit (vasemmalla graafissa) ovat tilastollisesti merkittävimpänä. Frekvenssi -kuviossa esitetään teeseittäin järjestettynä jokaisen ammatin absoluuttiset frekvenssit ja teknologisten teesien vaikutukset -kuviossa esitetään asiantuntijoiden arvioimat vaikutukset. Johtopäätöksissä muodostetut heikot signaalit ovat aineistoon perustuvia tulkintoja, jotka perustuvat niihin ammatti- ja koulutusaloihin, joilla on melko matalat frekvenssit, mutta suuri arvioitu muutos tulevaisuudessa (katso kuva 1). Koko osion perusajatus on skenaariomainen: esitettyjä tuloksia voi tarkastella eräänlaisina tulevaisuuden optioina, mikäli kyseessä oleva teknologinen teesi toteutuu ja sillä on laajempia yhteiskunnallisia seurauksia. Jos esimerkiksi seuraava melko epätodennäköinen lause ”tutkijat lopettavat kohdennettujen lääkkeiden tutkimuksen kokonaan” toteutuisi, niin silloin ensimmäisen teesin esittämät tulokset eivät olisi enää merkityksellisiä.

Kuvassa 5 esitetään tulokset kolmen ensimmäisellä delfikierroksella uskottavimmaksi nousseen teesin kohdalta (katso myös kuva 1). Ensimmäisen kierroksen uskottavin teesi oli *kohdennetut lääkkeet* (tehokkaita täsmälääkkeitä, joissa lääkitys kohdistuu ainoastaan sairaisiin soluihin, käytetään esimerkiksi syövän hoidossa). Tähän teesiin yhdistettynä suurimmat frekvenssit olivat seuraavilla ammatti- ja koulutusaloilla: biokemisti / biologi, lääkäri / farmakologi, palveluala / myynti / hoitaja ja talousasiantuntija. Arvioidut muutokset ammatti- ja koulutusaloissa olivat mielenkiintoiset, sillä kaikkien muiden alojen kuin arkkitehti / spatiaalisen (tilan) asiantuntijan, toimistotyöntekijän ja teollisuustyöntekijän arvioitiin kasvattavan ”populaatiotaan”. Eri-tyisen kiinnostavana nousee esille tietotekniikka-asiantuntijoiden eli hardwareosaamisen arvioitu tar-

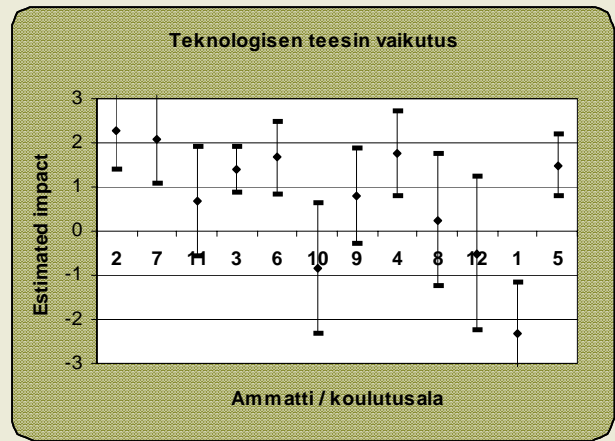
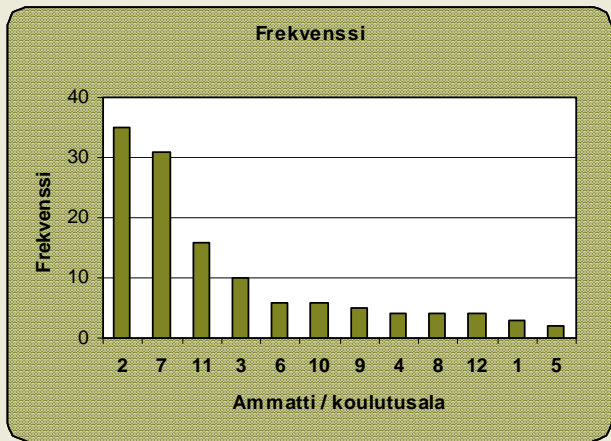
ve. Toiseksi uskottavin teesi oli *sensorit* (ympäristön liikkeitä ja muutoksia seuraavia sensoreita käytetään mahdollisten ympäristömuutosten seurannassa). Suurimmat frekvenssit olivat AK:lla ohjelmistoasiantuntija, tietotekniikka-asiantuntija, matemaatikko / tilastoasiantuntija ja biokemisti / biologi. Näiden AK:n arvioitiin yhä nousevan tulevaisuudessa. Muut nousevat AK:t olivat: arkkitehti / spatiaalisen (tilan) asiantuntija, talousasiantuntija, palveluala / myynti / hoitaja ja yhteiskunta-asiantuntija / psykologi. Tärkeimmät heikot signaalit olivat opettaja / kasvatuksen asiantuntija ja lääkäri / farmakologi. Kolmas teesi uskottavuuden mukaan oli *integroitu teknologia* (toimistoissa, kodeissa ja rakennetussa ympäristössä hyödynnetään informaatioteknologiaa, joka mahdollistaa tehokkaan kommunikation ja on läsnä ”kaikkialla”). Tähän teesiin yhdistettynä ohjelmistoasiantuntija, tietotekniikka-asiantuntija sekä arkkitehti / spatiaalisen (tilan) asiantuntija olivat frekvensseiltään suurimmat. Näiden em. AK:en arvioitiin myös lisäävän merkitystään tulevaisuudessa. Seuraavat AK:t olivat heikkoja signaaleja: talousasiantuntija, yhteiskunta-asiantuntija / psykologi, matemaatikko / tilastoasiantuntija ja opettaja / kasvatuksen asiantuntija.

Tulosten esittely jatkuu kuvassa 6 uskottavuudeltaan neljännen, viidennen ja kuudennen teesin kohdalla. Neljäs teesi oli *biolääketieteelliset materiaalit* (biolääketieteellisistä materiaaleista tehtyjä siirännäisiä ja ihmisen varaosia käytetään iho- ja elinsiirroissa ja muissa kirurgisissa operaatioissa). Korkeimmat frekvenssit olivat seuraavilla AK:lla: biokemisti / biologi, lääkäri / farmakologi ja palveluala / myynti / hoitaja. Näiden AK:en arvioitiin kasvavan myös tulevaisuudessa. Keskeisimmät uudet nousijat ovat ohjelmistoasiantuntija ja tietotekniikka-asiantuntija. Biolääketieteellisten materiaalien yhteydessä nousi esiin erittäin mielenkiintoinen heikko signaali: teollisuustyöntekijät. Heikkoihin signaaleihin tulee kuitenkin suhtautua tässä yhteydessä varauksella pienen frekvenssin vuoksi. Teollisuustyöntekijöiden määrän nousu on kuitenkin siksi mielenkiintoinen, että se antaa eväitä seuraavaan spekulointiin: Voisiko biolääketieteellisten materiaalien tai joidenkin muiden bioyhteiskunnalle luonteenomaisten tuotteiden tuotanto saavuttaa massatuotannon tason?

Synnyttääkö bioyhteiskunta uudenlaista laajamittaista ja standardisoitua tuotannollista toimintaa? Uskottavuudessa viides teknologinen teesi oli *fotoniset materiaalit* (valo tuottavat ja prosessoivat materiaalit korvaavat kuparista tehdyt johteet esimerkiksi informaatiota siirtävissä teknologioissa). Keskeisimmät tähän fotonisten materiaalien teesiin kytkeytyvät AK:t ovat ohjelmistoasiantuntija ja tietotekniikka-asiantuntija. Viidenteen teesiin yhdistettynä asiantuntijat arvioivat nousua tapahtuvan tietotekniikan alalla tulevaisuudessa. Heikkona signaalina on tilan eksperttien nousu. Kuudentena teesinä oli *3G-tekniologia* (nopea tekstin ja kuvien siirtomahdollisuus lisää julkisten palvelujen saavutettavuutta). Ohjelmistoasiantuntijoiden ja tietotekniikka-asiantuntijoiden määrän arvioitiin tämän teesin toteutuessa kasvavan huomattavasti. Lisäksi talousasiantuntijoiden määrän arvioitiin kasvavan, kenties potentiaalisten kulutus- ja markkinasovellusten myötä. Keskeisimmät nousijat ovat yhteiskunta-asiantuntija / psykologi ja opettaja / kasvatuksen asiantuntija.

Kuvassa 7 esitetään ensimmäisen osion kolme viimeistä teesiä eli teesit 7, 8 ja 9. Seitsemänneksi uskottavin teesi ensimmäisellä delfikierroksella oli *älymateriaalit* (materiaalit, jotka seuraavat ja korjaavat itse itseään yleistyvät ja vapauttavat ihmistyövoimaa materiaalien seurannasta). AK:t, joihin teesin arvioidaan vaikuttavan eniten, ovat: teollisuustyöntekijä, ohjelmistoasiantuntija ja palveluala / myynti / hoitaja. AK:n arvioidut muutokset olivat kiinnostavia.

Nousijoiksi arvioitiin palveluala / myynti / hoitaja (vaikkakin suurella keskihajonnalla), tietotekniikka-asiantuntija sekä talousasiantuntija. Näiden heikkojen signaalien perusteella voisi jatkaa villiä spekulointia: tulos voisi indikoida älykkäiden materiaalien laajaa käyttöpotentiaalia hyvin monissa tuotteissa. Uskottavuudeltaan kahdeksas teesi oli *diagnostiikka* (nanokokoisia koneita käytetään esimerkiksi tautien diagnostiikassa, lääkkeiden annostelussa ja elintointojen seurannassa). Seuraavilla AK:illa oli suurimmat frekvenssit: lääkäri / farmakologi, palveluala / myynti / hoitaja ja biokemisti / biologi. Näiden AK:en arvioitiin nousevan myös tulevaisuudessa. Uusia nousijoita olivat ohjelmistoasiantuntija, tietotekniikka-asiantuntija, talousasiantuntija ja matemaatikko / tilastoasiantuntija. Heikot signaalit ovat tämän teesin kohdalla erittäin kiinnostavat: opettaja / kasvatuksen asiantuntija ja teollisuustyöntekijä. Yhdeksäs ja viimeinen teesi oli *virtuaalitodellisuus* (virtuaalitodellisuus mahdollistaa etätyöskentelyn, etälääketieteen ja muita palveluja, jotka lisäävät julkisten palvelujen saavutettavuutta ja edullisuutta). Yhdistettynä em. teesiin suurimmat frekvenssit olivat ohjelmistoasiantuntijan, tietotekniikka-asiantuntijan, yhteiskunta-asiantuntijan / psykologin ja opettajan / kasvatuksen asiantuntijan AK:illa. Näiden alojen arvioitiin myös tulevaisuudessa kasvavan. Oleellisimmat heikot signaalit olivat: arkkitehti / spatiaalisen (tilan) asiantuntija, matemaatikko / tilastoasiantuntija, talousasiantuntija ja biokemisti / biologi.



1. Kohdennetut lääkkeet.

Tehokkaita, kohdennettuja lääkkeitä käytetään esimerkiksi syövän hoitoon siten, että lääkitys kohdistuu ainoastaan syöpäsoluihin.

Kuvat 5–7. Teknologisten teesien vaikutus ammatteihin / koulutusaloihin.

Ammatit / koulutusalat

- | | |
|---|---|
| 1. Arkkitehti / spatiaalisen (tilan) asiantuntija | 7. Lääkäri / farmakologi |
| 2. Biokemisti / biologi | 8. Yhteiskunta-asiantuntija / psykologi |
| 3. Talusasiantuntija | 9. Opettaja / kasvatuksen asiantuntija |
| 4. Ohjelmistoasiantuntija "software" | 10. Toimistotyöntekijä |
| 5. Tietotekniikka-asiantuntija "hardware" | 11. Palveluala / myynti / hoitaja |
| 6. Matemaatikko / tilastoasiantuntija | 12. Teollisuustyöntekijä "blue collar" |

3 = alalla toimivien ihmisten määrä on kasvanut huomattavasti

2 = alalla toimivien ihmisten määrä on lisääntynyt

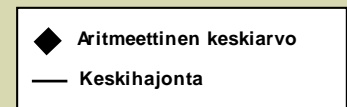
1 = alalla toimivien ihmisten määrä on lisääntynyt hieman

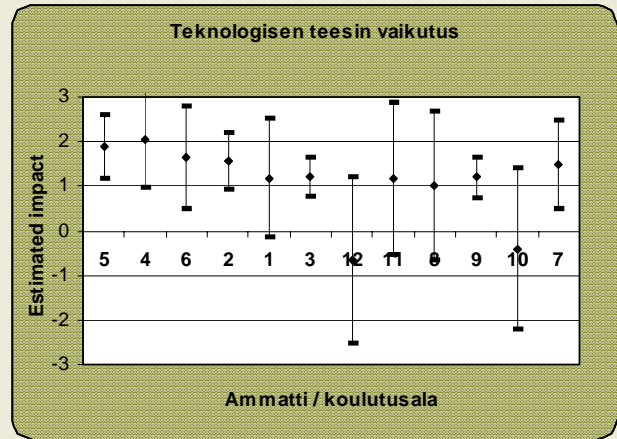
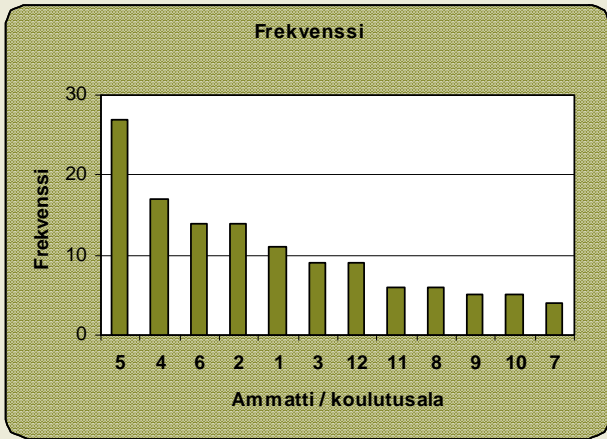
0 = alalla toimivien ihmisten määrä on pysynyt samana

-1 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt hieman

-2 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt

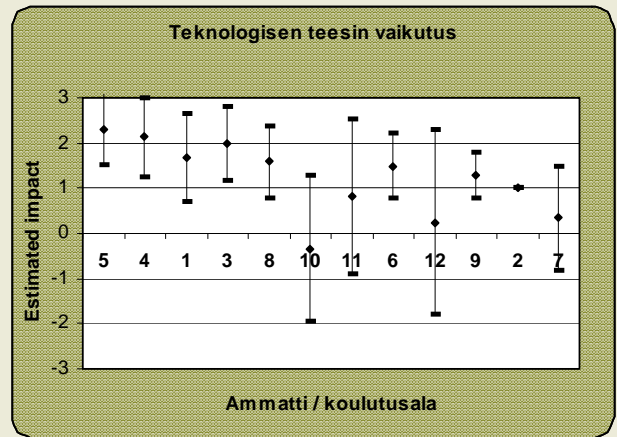
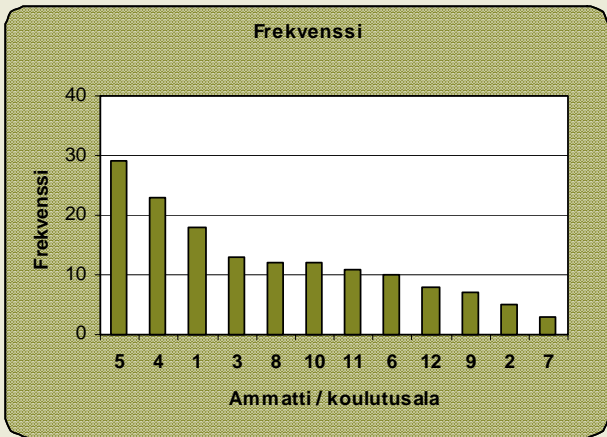
-3 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt huomattavasti





2. Sensorit.

Ympäristön liikkeitä ja muutoksia seuraavia sensoreita aletaan käyttää mahdollisten ympäristöuhkien seurannassa.



3. Integroitu teknologia

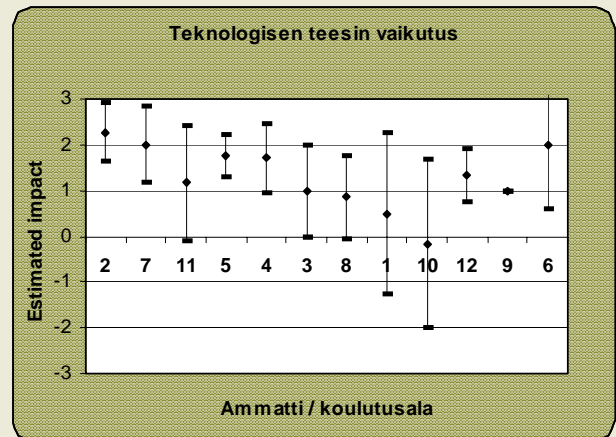
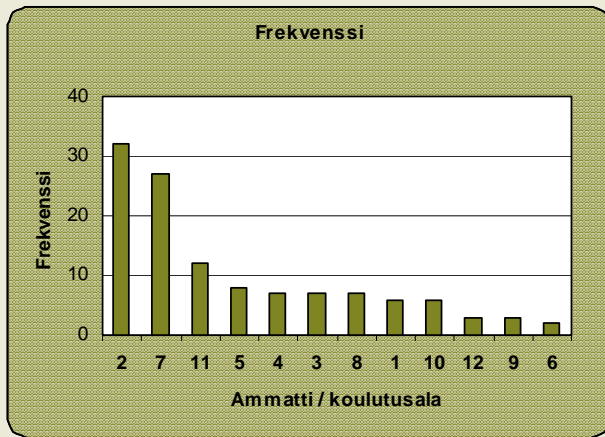
Toimistoissa, kodeissa ja rakennetussa ympäristössä hyödynnetään yleisesti informaatioteknologiaa, joka mahdollistaa tehokkaan kommunikaation ja on läsnä "kaikkialla" (ns. ubicomp -teknologia).

Kuvat 5–7. Teknologisten teesien vaikutus ammatteihin / koulutusaloihin.

Ammatit / koulutusalat

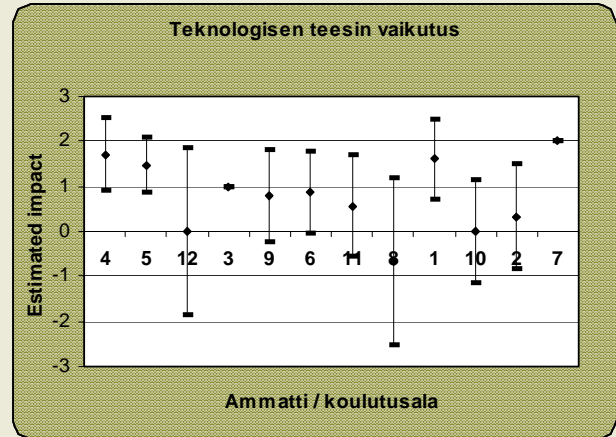
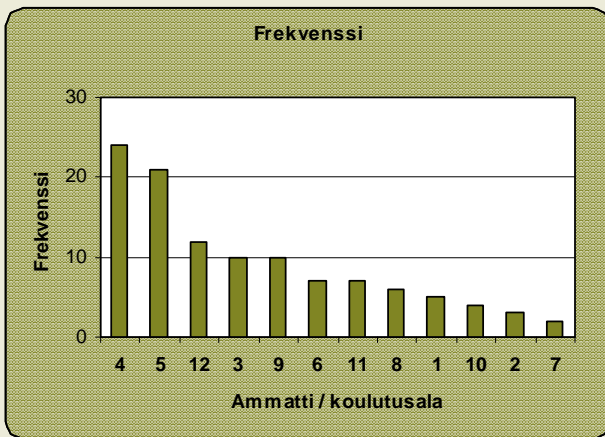
1. Arkkitehti / spatiaalisen (tilan) asiantuntija
2. Biokemisti / biologi
3. Talousasiantuntija
4. Ohjelmistoasiantuntija "software"
5. Tietotekniikka-asiantuntija "hardware"
6. Matemaatikko / tilastoasiantuntija

7. Lääkäri / farmakologi
8. Yhteiskunta-asiantuntija / psykologi
9. Opettaja / kasvatuksen asiantuntija
10. Toimistotyöntekijä
11. Palveluala / myynti / hoitaja
12. Teollisuustyöntekijä "blue collar"



4. Biolääketieteelliset materiaalit

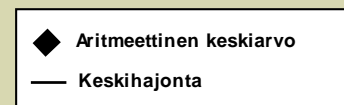
Biolääketieteellisistä materiaaleista tehtyjä siirrännäisiä ja ihmisen "varaosia" tullaan käyttämään iho- ja elinsiirroissa ja muissa kirurgisissa operaatioissa.

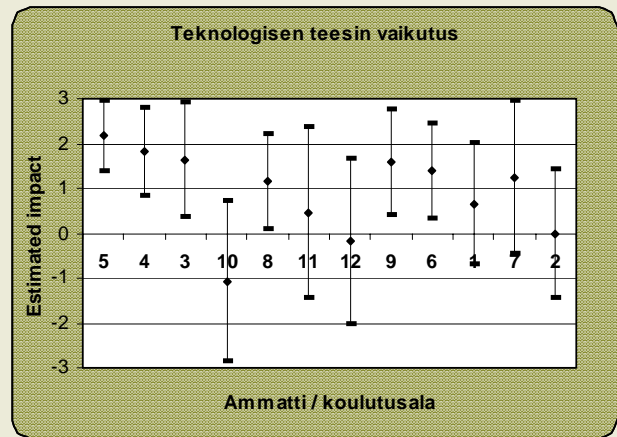
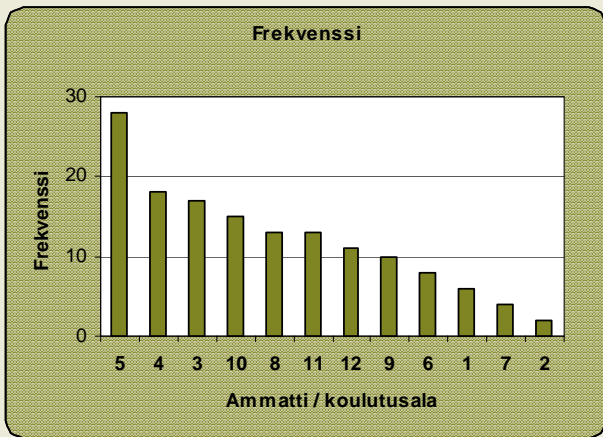


5. Fotoniset materiaalit

Materiaalit, jotka tuottavat ja prosessoivat valoa, tulevat korvaamaan kuparista tehdyt johteet esimerkiksi informaation siirtoteknologioissa.

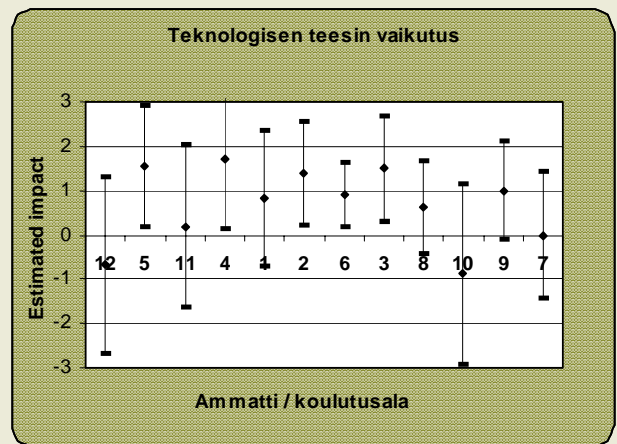
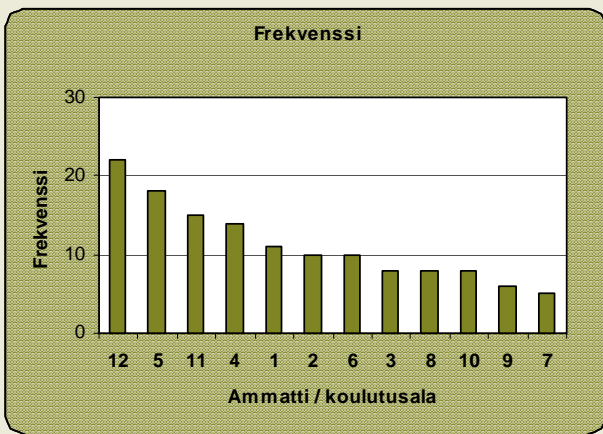
- 3 = alalla toimivien ihmisten määrä on kasvanut huomattavasti
- 2 = alalla toimivien ihmisten määrä on lisääntynyt
- 1 = alalla toimivien ihmisten määrä on lisääntynyt hieman
- 0 = alalla toimivien ihmisten määrä on pysynyt samana
- 1 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt hieman
- 2 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt
- 3 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt huomattavasti





6. 3-G -teknologia

Mahdollisuus nopeaan tekstin ja kuvien siirtoon lisää julkisten palvelujen saavutettavuutta.



7. Älymateriaalit

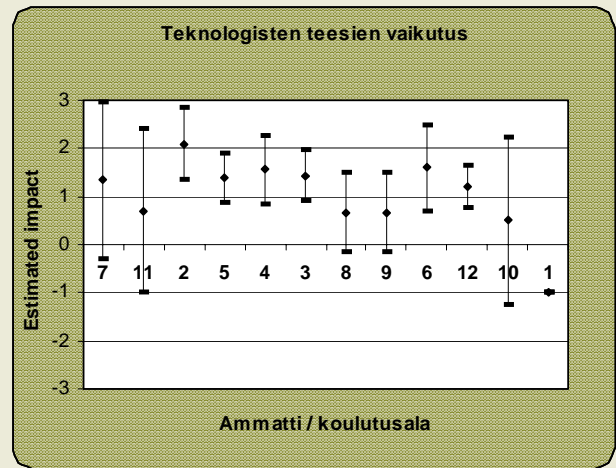
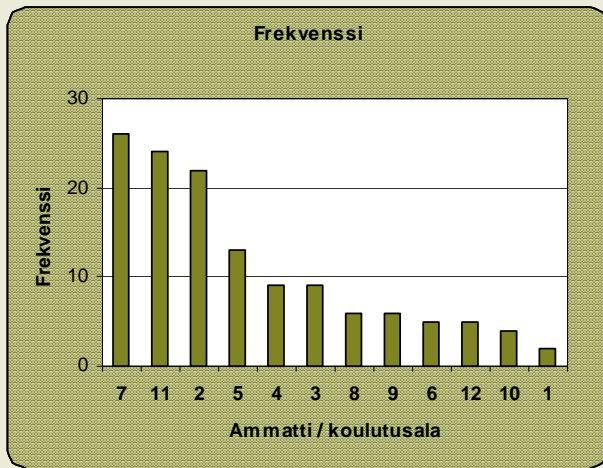
Materiaalit, jotka seuraavat ja korjaavat itse itseään yleistyvät ja vapauttavat ihmistyövoimaa materiaalien seurannasta.

Kuvat 5–7. Teknologisten teesien vaikutus ammatteihin / koulutusaloihin.

Ammatit / koulutusalat

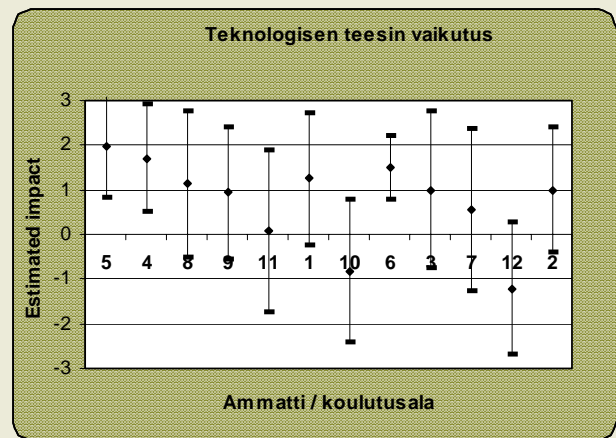
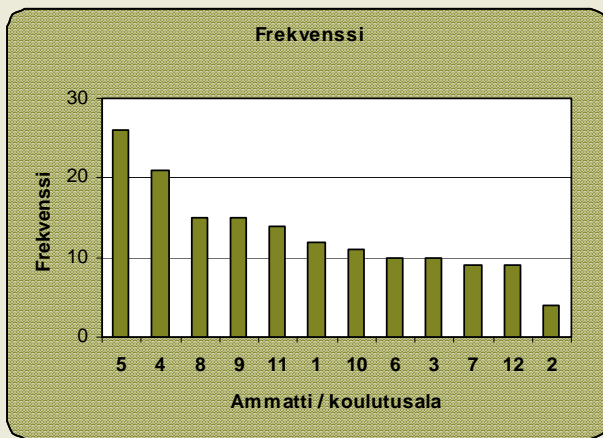
1. Arkkitehti / spatiaalisen (tilan) asiantuntija
2. Biokemisti / biologi
3. Talousasiantuntija
4. Ohjelmistoasiantuntija "software"
5. Tietotekniikka-asiantuntija "hardware"
6. Matemaatikko / tilastoasiantuntija

7. Lääkäri / farmakologi
8. Yhteiskunta-asiantuntija / psykologi
9. Opettaja / kasvatuksen asiantuntija
10. Toimistotyöntekijä
11. Palveluala / myynti / hoitaja
12. Teollisuustyöntekijä "blue collar"



8. Diagnostiikka

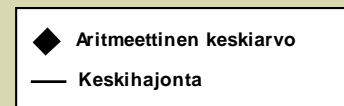
Nanokokoisia koneita käytetään esimerkiksi tautien diagnostiikassa, lääkkeiden annostelussa ja elintoimintojen seurannassa.



9. Virtuaaliodellisuus

Virtuaaliodellisuus mahdollistaa etätyöskentelyn, etälääketieteen ja muita palveluja, jotka lisäävät julkisten palvelujen saavutettavuutta ja edullisuutta.

- 3 = alalla toimivien ihmisten määrä on kasvanut huomattavasti
- 2 = alalla toimivien ihmisten määrä on lisääntynyt
- 1 = alalla toimivien ihmisten määrä on lisääntynyt hieman
- 0 = alalla toimivien ihmisten määrä on pysynyt samana
- 1 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt hieman
- 2 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt
- 3 = alalla toimivien ihmisten määrä on vähentynyt huomattavasti



Tulevaisuusammattit

Toisen delfikierroksen jälkimmäisen osion tavoitteena oli tulevaisuusorientoituneesti tarkastella muuttuvia ammatti- ja koulutusrakenteita (kuva 8). Tulevaisuusammattien testaamisen perusidea pohjautuu *The Futurist* -lehdessä esitettyyn artikkeliin⁴². Kaksi nimikettä on otettu suoraan tuon artikkelin kuvailuista (hypekonsultti ja web-puutarhuri) ja muut nimikkeet on johdettu kirjallisuuden perusteella. Ideana oli rakentaa mahdollisimman uskottavia uusia ammatteja, jotka voisivat olla mahdollisia tulevaisuuden käytäntöjä.

Erilaisten vaihtoehtojen joukosta tiivistetyt ehdotut ammatit on esitetty alla.

Aluksi esitetään jokaisen ammatin kohdalta tehdyt uskottavuusarviot asteikolla: 5 = erittäin uskottava, 4 = uskottava, 3 = vaikea sanoa, 2 = epäuskottava, 1 = erittäin epäuskottava. Tulokset on esitetty kuvassa 8. Uskottavimmiksi ammateiksi nousivat: bioinformaatikko, virtuaalilääkäri, geoinformaatikko, tekoälyn konsultti, älytalojen suunnittelija ja nanoteknologiakonsultti. Yleisesti voisi todeta, että ammattien muotoilu onnistui kohtuullisen hyvin, koska mitään nimikettä ei arvioitu poikkeuksellisen epäuskottavaksi. Kuitenkin kaikissa arvioissa oli melko suuret keskihajonnat, joten arvioissa oli vaihtelevuutta.

Kuvan 8 toinen graafi esittää arviot tulevaisuusammattien ajoittumisesta. Asiantuntijoita pyydet-

tiin arvioimaan vuosi, jolloin ammatista tulee "oikea" ammatillinen käytäntö 50 % todennäköisyydellä. Jos ammatin realisoitumiseen ei uskonut lainkaan tai ainakaan tarkastellulla aikaperspektiivillä, voi valita kohdan "ei tapahdu". Arvioiden kiinnostava yleispiirre oli melko pieni hajonta, tarkoittaen sitä, että 50 % vastauksista liikkui kohtuullisen pienellä aikavälillä (25 % ja 75 % kvartiilien väli). Arviot keskittyivät myös kohtuullisen lähelle tulevaisuuteen, keskimäärin seuraavan kymmenen vuoden sisään. Nopeimmin toteutuviksi ammateiksi arvioitiin hypekonsultti, web-puutarhuri, geoinformaatikko, sosiaalisten verkostojen analyyttikko ja kyberluokittelija. Hitaimmin toteutuviksi arvioitiin keinoelinten suunnittelija, geeniterapiakonsultti, nanoteknologiakonsultti, bioelektroniikan suunnittelija ja tekoälyn konsultti. Ammatit, joilla oli korkein "ei tapahdu" -osuus, olivat: kyberluokittelija (15 %), keinoelinten suunnittelija (12,5 %), hypekonsultti (12,5 %), geeniterapiakonsultti (10 %) ja web-puutarhuri (10 %).

Toisen osion lopussa oli myös mahdollisuus antaa kommentteja tai muotoilla oma sovellutus tulevaisuusammattista. Näistä kiinnostavimmat ammatit on kerätty alla olevaan taulukkoon 4. Kaikkia näitä ammatteja voinee pitää alkuperäistä listaa täydentävinä. Yhtenä mielenkiintoisena yleisenä kommenttina mainittiin, että kaikkia yllä kuvattuja tulevaisuusammattia harjoitetaan jo tänä päivänä jossain muodossa.

⁴² Paterson 2002

1. keinoelinten suunnittelija

suunnittelee varaelimiä, tehostettuja elimiä jne.

2. tekoälyn konsultti

konsultoi organisaatioita kehittyneen robotiikan ja kehittyneen tietotekniikan hyödyntämisessä

3. bioelektroniikan suunnittelija

suunnittelee elektroniikan ja biotekniikan välimaastossa olevia ratkaisuja

4. bioinformaatikko

työskentelee geneettisen tiedon parissa ja toimii perustutkimuksen ja lääketeollisuuden välisenä siltana

5. hypekonsultti

tekee ennusteita mahdollisista uusista trendeistä markkinointia ja suunnittelua varten

6. kyberluokittelija

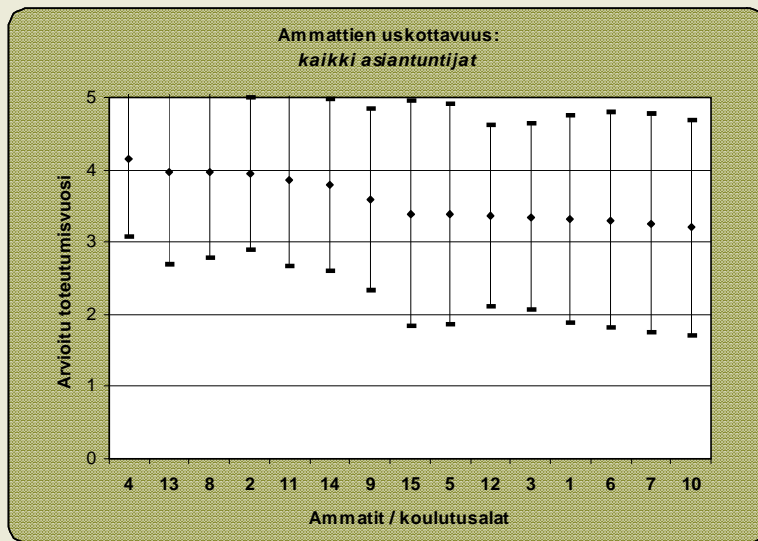
tarkkailee ja jäsentää alati kasvavan Internetin tietovarantoja

7. geeniterapiakonsultti

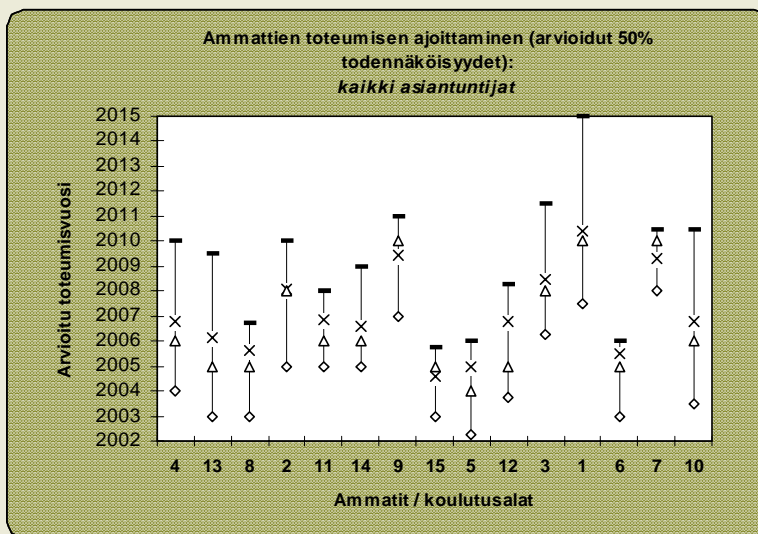
suunnittelee räättälöityjä geeniterapiaohjelmia

8. geoinformaatikko

digitalisoidun maantieteellisen tiedon analyysin ja esittämisen asiantuntija,



5 = erittäin uskottava
4 = uskottava
3 = vaikea sanoa
2 = epäuskottava
1 = erittäin epäuskottava
◆ Aritmeettinen keskiarvo
— Keskihajonta



Teesi	Ei toteudu %	◆ 25 % kvartiili	× Mediaani	△ Aritmeettinen keskiarvo	— 75 % kvartiili
1	12.5				
2.	0				
3.	5				
4.	0				
5.	12.5				
6.	15				
7.	10				
8.	2.5				
9.	2.5				
10.	10				
11	0				
12.	5				
13.	2.5				
14.	2.5				
15.	10				

Kuva 8. Tulevaisuusammattien uskottavuus ja toteutumisen ajoittaminen.

suunnittelee esimerkiksi paikannusjärjestelmiä mobiiliin tietotekniikkaan

9. nanoteknologiakonsultti

konsultoi organisaatioita nanoteknologisten ratkaisujen hyödyntämisessä

10. yksinkertaistusasiantuntija

yksinkertaistaa ja suoraviivaistaa organisaation teknologisia ratkaisuja

11. älytalojen suunnittelija

räätälöi teknologisia ratkaisuja tulevaisuuden taloihin

12. sosiaalisten verkostojen analyttikko

analysoi tiedon ja vallan virtoja organisaatiossa

13. virtuaalilääkäri

harjoittaa lääketiedettä virtuaalitodellisuuden avulla, esimerkkinä etälääketiede

14. visualisoinnin asiantuntija

erikoistunut informaation ja käyttöliittymien suunnitteluun

15. web-puutarhuri

säilyttää ja ruokkii web-saitteja

Taulukko 4. Kiinnostavimmat avoimissa vastauksissa ehdotetut uudet ammatit.

Ehdotetut ammatit

Intellektuaalisen pääoman konsultti

neuvoo organisaatioita intellektuaalisen pääomansa mittaamisessa, tehostamisessa ja hallinnassa

Metainformaatioanalytikko

analysoi ja yksinkertaistaa organisaatioiden tietorakenteita

Todellisuuskonsultti

monitoroi ja vertailee organisaatioiden tai yksilöiden tulevaisuusmielikuvia ja tulevaisuutta ohjailevia "kertomuksia"

Riskien minimoija

erikoistunut organisaatioiden tai yksilöiden tulevaisuuden riskien tunnistamiseen, ennustamiseen ja ehkäisyyn

Strateginen polunetsijä

neuvoo organisaatioiden johtoa tehokkaiden johtamisprosessien tuottamisessa ja organisaatiolle optimaalisten markkinarakojen löytämisessä

Teknologia-linkittäjä

yhdistelee erilaisia teknologioita uusien "tieteellis-teknis-kulttuuristen" läpimurtojen toivossa

Virtuaalinen futuristi

tekee reaaliaikaista online-ennusteita erilaisten Internet-lähteiden pohjalta

Virtuaalisen organisaation konsultti

auttaa organisaatioita optimoimaan fyysisen ja virtuaalisen tilan käytön niin, että yritys rakenne pysyy mahdollisimman toimivana, informaatioteknologian käyttö tehostuu ja työntekijöiden tarpeet otetaan huomioon

Kirjallisuus ja lähteet

- Ahlqvist, T. (2003). *Keys to Futures: Societal Reflections on Developing Key Technologies and Their Impacts on Human Qualifications*. Ministry of Trade and Industry Finland. Studies and Reports 10/2003.
- Ahtee, M., Björkqvist, O., Pehkonen, E. & V. Vatanen (toim.) (2001). *Research on Mathematics and Science Education*. ER-Paino Ky, Jyväskylä.
- Ahola, E. & Kuisma M. (1998). *Bioteknikkasektori Suomessa. Laboratorioista lupausten lunastajiksi*. (Biotechnology sector in Finland. From the laboratories to the redeemer of promises). TEKES, Helsinki.
- Antonietti, M. (2003). Nanostructured materials: Self-organization of functional polymers. *Nature Materials* 2, 9–10. (<http://www.nature.com/cgi-taf/DynaPage.taf?file=/nmat/journal/v2/n1/full/nmat791.html>)
- Ball, P. (1998). *Mittojen mukaan. 2000-luvun materiaalit*. (According to the measurements. Materials of the 21st century). Terra Cognita Oy. Helsinki.
- Baltimore, D. (2001). How biology became an information science? Teoksessa: Denning P.J. (toim.) *The Invisible Future. The seamless integration of technology into everyday life*, 42–55. McGraw-Hill, New York.
- Bell, D. (1973). *The coming of post-industrial society: a venture in social forecasting*. Basic Books, New York.
- Castells, M. (toim.) (1989). *High Technology, Space, and Society*. Sage Publications, Beverly Hills.
- Castells, M. (1996). *The Rise of the Network Society*. Blackwell, Oxford.
- Castells, M. (1997). *The Power of Identity*. Blackwell, Oxford.
- Castells, M. (1998). *End of Millennium*. Blackwell, Oxford.
- Conway, C. (2001) Computers and Miniaturization Go Hand-in-Hand. *CRS Online*. (http://www.crsonline.net/techarticles/tech_column-37.htm)
- Drucker, P. F. (1993). *Post-Capitalist Society*. HarperBusiness, New York.
- Feldman, S. & Yu E. (1999). Intelligent Agents: A Primer. *Searcher* 7:9. (<http://www.infotoday.com/searcher/oct99/feldman+yu.htm>)
- Fukuyama, F. (2002). *Our Posthuman Future. Consequences of the Biotechnology Revolution*. Farrar, Straus and Giroux, New York.
- Gates S.T. (1998). Special Feature: The Miniaturization of Biotech. Researchers want to shrink medical devices to molecular size. *Red Herring Magazine*. (<http://www.redherring.com/mag/issue58/bio.html>)
- Gershuny, J. I. (1978). *After Industrial Society? The Emerging Self-Service Economy*. Macmillan, London.

- Greaves, C. (1997). *Facilitating Technology Uptake: The Case of Smart Structures and Materials*. IPTS Report Vol. 18. (<http://www.jrc.es/iptsreport/vol18/english/MAT1E186.htm>)
- Harvey, D. (1989). *The Condition of Postmodernity. An Enquiry into the Origins of Cultural Change*. Basil Blackwell, Oxford and Cambridge.
- Hill, J. & Glasgow J. (1999). *Enabling Technologies for Australian Industry. A Pilot Study*. Emerging Industries Occasional paper 2. Competitive Australia. (EmergingIndustries@isr.gov.au)
- Hjelt, M., Luoma, P., van de Linde, E., Ligtoet, A., Vader, J. & Kahan, J. (2001). *Experiences of National Technology Foresight Studies*. Sitra reports 4. Hakapaino Oy, Helsinki
- Jameson, F. (1991). *Postmodernism, or, The cultural logic of late capitalism*. Verso, London.
- Kurzweil, R. (1999). *The Age of Spiritual Machines. When computers exceed human intelligence*. Penguin Books, New York.
- Kuusi, O. (1999). *Expertise in the future use of generic technologies: epistemic and methodological considerations concerning Delphi studies*. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus, Helsinki
- Lash, S. & Urry J. (1994). *Economies of signs and space*. Sage, London.
- Lievonon, J. (1999). *Technological opportunities in biotechnology*. VTT, Group for Technology Studies.
- Lyon, D. (1988). *The information society: issues and illusions*. Polity Press, Cambridge.
- Mannermaa, M. (1991). *Evolutionaarinen tulevaisuuden tutkimus*. (Evolutionary Futures Studies). Tulevaisuuden tutkimuksen seura. Finnish Society for Futures Studies. Vapokustannus, Helsinki.
- Mannermaa, M. (1996) *Asiantuntijamenetelmät jääneet tulevaisuudentutkimukseen*. (Expert methods are to stay in futures studies). *Futura* 15:4, 17–26.
- Mannermaa, M. (2002). *Biosociety and Human Being – life after the Information Society*. A research plan. Mimeo.
- Masuda, Y. (1983). *The Information Society as Post-Industrial Society*. Bethesda, MD: World Futures Society.
- Meristö, T. Leppimäki, S. & Tammi M. (2002). *Tietoteollisuuden ja digitaalisen viestinnän osaamisen ennakointi*. (The anticipation of competence in information industry and digital communication). Åbo Akademi. IAMSR. CoFi Report 2/2002.
- Negroponte, N. (2003). *Creating a Culture of Ideas*. *MIT Technology Review*. (<http://www.technologyreview.com/articles/negroponte0203.asp>)
- Paterson, J. (2002). *Tomorrow's job titles*. *The Futurist* 3:36, 9.
- Rautiainen, T. (1999). *Biopharmaceutical Business in California*. *Technology Review* 81/99. TEKES. Helsinki.
- Saranummi, N. (2001). *Hyvinvointi- ja terveystalouden teknologia- ja palvelutuotteet*. (Technology and service products of wellbeing and health sectors.) *Teknologiakatsaus* 103/2001. TEKES. Helsinki.
- Schienstock, D. & Hämäläinen T. (2001). *Transformation of the Finnish innovation systems. A network approach*. Sitra Reports series 7. Hakapaino Oy, Helsinki.
- Stock, G. (2002). *Redesigning Humans. Our Inevitable Genetic Future*. Houghton Mifflin Company, Boston.
- Stonier, T. (1983). *The Wealth of Information: A Profile of the Post-Industrial Economy*. Thames Methuen, London.
- Toivonen, M. (2001). *Growth and Significance of Knowledge Intensive Business Services (KIBS)*. Uusimaa TE Centre's Publications 3.
- Tuomaala, E., Raak, S., Kaukonen, E., Laaksonen, J., Nieminen, M. & Berg P. (2001). *Tutkimus- ja teknologiatoiminta Suomessa*. (Research and development activity in Finland.) *Teknologiakatsaus* 105/2001. TEKES. Helsinki.
- Tuomi, I. (2001). *From Periphery to Center: Emerging Research Topics on Knowledge Society*. *Technology Review* 116. TEKES.
- Yu, T. E. & Ziegler C. (2000). *Nanotechnology Research Programme 1997-1999*. Technology Programme Report 11/2000. Helsinki.

WWW-sivut

Informaatio- ja kommunikaatio- teknologia

- Edistysellinen tiedon varastointi
(advanced data storage) <http://www.media.mit.edu/>
- Etäopetus ja etäoppiminen (distance learning)
<http://www.usdla.org>
- Elektroninen paperi (electronic paper)
<http://zdnet.com.com/2100-11-517601.html?legacy=zdn&chkpt=zdnntop>
<http://www.media.mit.edu/micromedia/elecpaper.html>
- Modulaariset ohjelmistot (modular software)
http://www.pcwebopaedia.com/TERM/m/modular_architecture.html
- Neuraaliverkot (neural networks)
<http://www.ida.his.se/ida/enns/>
<http://www.inns.org/inns/>
<http://www.cis.hut.fi/research/>
- Optiset tietokoneet (optical computers)
<http://abcnews.go.com/sections/tech/DailyNews/photons990521.html>
- Älyagentit (intelligent agents)
<http://agents.media.mit.edu/>
- Kaikkialla läsnäoleva tietotekniikka
(ubiquitous computing)
<http://www.ubiq.com/hypertext/weiser/UbiHome.html>
- Virtuaalitodellisuuden sovellutukset
(applications of virtual reality)
<http://archive.ncsa.uiuc.edu/Cyberia/VETopLevels/VR.Apps.GrandChal.html>

Bioteknologia

- Keinoelimet (artificial organs)
<http://www.nlm.nih.gov/hmd/manuscripts/asaio/ica0.html>
- Biomimetiikka (biomimetics)
<http://www.biomimicry.org/>
<http://www.bfi.org/Trintab/spring01/biomimicry.htm>
- Kloonaus (cloning)
<http://www.newscientist.com/hottopics/cloning/cloning.jsp?id=ns99993234>
<http://www.ornl.gov/hgmis/elsi/cloning.html>
- Kohdennetut lääkkeet (targeted pharmaceuticals)
<http://www.sciencenews.org/20020914/bob9.asp>

Materiaali- ja nanoteknologia

- Bioyhteensopivat polymeeripinnat
(biocompatible polymer surfaces)
<http://www.mpip-mainz.mpg.de/documents/projects98/C3.htm>
- Polttoainekennnot (fuel cells)
<http://www.howstuffworks.com/fuel-cell.htm>
- Älymateriaalit (intelligent materials)
http://www.tekes.fi/uutisia/uutis_tiedot.asp?id=1769
- Sensorit, havaitsimet (sensors)
<http://www.microsens.ch/summary1.htm>
- Suprajohtavat materiaalit
(superconducting materials)
<http://www.nsf.gov/od/lpa/news/publicat/nsf0050/materials/tomorrow.htm>

Liitteet

Haastattelut

Hanhijärvi Hannu, johtaja, Life Sciences, SITRA

Hansen Bruno, Director of the Life Sciences Research Directorate of the European Commission (DG XII-E)

Harmo Panu, tutkija, Automaatiotekniikan laboratorio, Teknillinen korkeakoulu

Haukkapää-Haara Pirjo, projektipäällikkö, Teknillinen korkeakoulu, Lahden keskus

Heikinheimo Riikka, ohjelmapäällikkö, bio- ja kemianteknologia, TEKES

Inayatullah Sohail, valtio-opin tutkija, vieraileva professori, Tamkang yliopisto, Taipei

Jalkanen Markku, toimitusjohtaja, BioTie Therapies Oy

Järvinen Petteri, tutkija, vt. viestintäjohtaja, Jippii-Group

Kantor-Aaltonen Carmela, asiamies, Suomen Bioteollisuus

Karjalainen Sakari, johtaja, Koulutus- ja tiedepolitiikan osasto / Tiedepolitiikan yksikkö, Opetusministeriö

Kere Juha, professori, Karolinska Institutet, Department of Biosciences at Novum and Finnish Genome Center

Kuusi Hannele, johtaja, tiede- ja teknologiapolitiikka, Kemianteollisuus ry

Laakso Jukka, teknologia-asiantuntija, bio- ja kemianteknologia, TEKES

Lammintausta Risto, toimitusjohtaja, Hormos Medical Oy
Leppimäki Sami, Institute for Advanced Management Systems Research, Åbo Akademi

Luomi Jorma, professori, sähkötekniikka, Teknillinen korkeakoulu

Magnien Etienne, Head of Unit, Strategy and policy for Directorate E, European Commission

Maijanen Aila, teknologia-asiantuntija, kemianteknologia, TEKES

Mettler Peter H., professor, Societal science and sociology of planning and technology, Wiesbaden University of Applied Sciences

Pietiäinen Milla, tutkija, Kansanterveyslaitos

Portin Petter, professori, genetiikan ja fysiologian osasto, Turun yliopisto

Pyöriä Pasi, tutkija, sosiologian ja sosiaalipsykologian laitos, Tampereen yliopisto

Roubelat Fabrice, Assistant professor, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris

Sarma Mart, professori, johtaja, Biotekniikan Instituutti, Helsingin yliopisto

Schepens Hugo, Secretary General, Europabio

Schlake Oliver, School of Business and Information Management, Department of Management Science and Information Systems, National University, USA

Siebert Christian, Deputy Head of Unit, DG ENTR, unit Biotechnology, Competitiveness in pharmaceuticals & cosmetics, European Commission

Silvennoinen Eero, teknologiajohtaja, tieto- ja viestintäteknologia, TEKES

Simonsuuri-Sorsa Marja, johtaja, Opetusministeriö

Tough Allen, Professor Emeritus, University of Toronto

Väänänen Kalervo, professori, biolääketieteen laitos, Turun yliopisto



OPETUSMINISTERIÖ

Undervisningsministeriet

MINISTRY OF EDUCATION

Ministère de l'Éducation

Julkaisumyynti:

Yliopistopaino

PL 4 (Vuorikatu 3)

00014 Helsingin Yliopisto

puhelin (09) 7010 2363

faksi (09) 7010 2374

books@yopaino.helsinki.fi

www.yliopistopaino.helsinki.fi

ISBN 952-442-487-8 (nid.)

ISBN 952-442-566-1 (PDF)

ISSN 1458-8110