

NOUSEVIEN TEKNOLOGIOIDEN VAIKUTUKSIA AMMATTI- JA KOULUTUSALOIHIN

Miten tutkia tulevaisuuden keskeisten teknologioiden vaikutuksia ammatteihin ja koulutusaloihin? Teema on monimutkainen ja vaatii pari todellisuutta yksinkertaistavaan oletusta. Tämä artikkeli pohjautuu teknologioiden yhteiskunnallisia vaikutuksia vuoteen 2015 mennessä kartoittaneeseen tutkimukseen, joka toteutettiin Teknillisen korkeakoulun Lahden keskuksessa vuosina 2001–2003

TONI AHLQVIST

Miten tutkia tulevaisuuden keskeisten teknologioiden vaikutuksia ammatteihin ja koulutusaloihin? Teema on monimutkainen ja vaatii kahden todellisuutta yksinkertaistavan oletuksen tekemistä. Ensiksi täytyy olettaa, että tulevaisuuden nousevia teknologioita ja niiden vaikutuksia voidaan yleensä jollain mielekkäällä tavalla ennakoida. Tarkkaan ennustamiseen tuskin pystytään, mutta vaihtoehtojen spektriä ja kehityksen suuntaa voidaan varmastikin arvioida. Toiseksi täytyy olettaa, että teknologioiden ja ammatti- ja koulutusalojen välillä on jollakin tavalla määräytyvä suhde. Tämä tarkoittaa sitä, että teknologioilla arvioidaan olevan suoria vaikutuksia ammatti- ja koulutusalojen jäsentymiseen. Tekstissä esitetään eräs tapa tulkita tulevaisuuden nousevia avainteknologioita ja niiden vaikutuksia ammatti- ja koulutusaloihin. Artikkelin pohjautuu teknologioiden yhteiskunnallisia vaikutuksia vuoteen 2015 mennessä kartoittaneeseen tutkimukseen, joka toteutettiin Teknillisen korkeakoulun Lahden keskuksessa vuosina 2001–2003 (Ahlqvist 2003a ja 2003b).

Tutkimuksen taustana oli arvio ns. bioyhteiskunnan noususta informaatioyhteiskuntaa täydentäväksi vaiheeksi. Arvio perustuu näkemykseen, että bioteknologiasta tulee keskeinen yhteiskunnallista ja taloudellista menestystä säätelevä teknologia. Informaatioyhteiskunnassa aiemmin menestystä säätelevä teknologia on ollut informaatioteknologia. Bioyhteiskunnassa voi bio-

teknologian nousun lisäksi ennakoita kahden muun teknologisen ulottuvuuden voimistuvan: mobiiliuden ja sisältöjen monipuolistumisen. Mobiiliudella tarkoitetaan teknologioiden yhdistymistä entistä helpommin mukana kulkeviksi laitteiksi, joilla voi siirtää puhetta, tekstiä, kuvaa, lukea sähköpostia tai vaikkapa harhailta Internetissä (Mannermaa 2002). Sisältöjen monipuolistuminen viittaa sekä elektronisten vaihtoehtojen kasvuun että viihteellisuuden lisääntymiseen. Tulevaisuudessa miltei kaikelle toiminnalle, etenkin kulutukseen liittyvälle, on olemassa ns. elektroninen vaihtoehto: se voi tarkoittaa esimerkiksi ruokaostosten tekemistä sähköisesti tai virtuaalista matkailua kaukomaila. Viihteellisuuden kasvu viittaa sekä asioiden esittämistapojen viihteellistymiseen että peliteollisuuden voimakkaaseen kasvuun.

Kaikki kolme edellä mainittua kehityslinjaa (bioteknologia, mobiilius, sisällöt) viittaavat siihen, että jo informaatioyhteiskunnan vaiheessa alkanut teknologian ”tunkeutuminen” lähes kaikkien inhimilliseen toimintaan kiihtyy bioyhteiskunnassa. Teknologioilla on myös yhteiskunnallisia ulottuvuuksia, joista seuraavassa kolme keskeisintä. Ensiksi, teknologia läpäisee tuotan-



Toni Ahlqvist

nollisen ketjun kokonaisuudessaan. Teknologia on yhä syvemmällä tuotannollisen toiminnan perusrakenteissa, niin perustutkimuksen lähtökohdissa kuin lopputuotteissakin. Samalla tapaa teknologia alkaa yhä perustavammin läpäistä ihmisten arkea esimerkkeinä kännykät, avointen tilojen valvontakamerat ja mikroipiirein ladatut kodinkoneet. Toiseksi, teknologinen kehitys perustuu yhä enemmän jännitteeseen systeemisten kokonaisuuksien ja pirstoutumisen välillä. Teknologiset kehityslinjat yhdistyvät uusiksi solmukohdiksi, fuusioteknologioiksi, jotka muodostavat systeemisiä kokonaisuuksia. Toisaalta teknologinen kehitys perustuu entistä suurempaan erikoistumiseen ja pirstoutumiseen käyttäjätarpeiden mukaan. Kolmanneksi, teknologiat tulisi lähtökohdaisesti nähdä eräänlaisina sosioteknisinä verkostoina, joihin yhteiskunnallisten ja eettisten näkökulmien tarkastelu tulisi olla sisäänrakennettu. Sosioteknisillä verkostoilla viitataan erityisesti sellaisiin tekniisiin ja käsitteellisiin läpimurtoihin, joiden perustaan kytkeytyy yhteiskunnallinen paine pohtia kehittämistyön seurauksia ja läpimurtojen mahdollista hyödyntämistä. Esimerkkeinä voivat olla geneettisesti modifioitujen elintarvikkeiden ja kloonaminen.

TULEVAISUUDEN NOUSEVAT TEKNOLOGIAT

Seuraavassa esitetään tiivistetysti eräs tapa määrittellä tulevaisuuden nousevia teknologioita. Metodina käytettiin delfitekniikkaa, joka perustuu tutkittavan teeman asiantuntijoista kerätyn paneelin näkemysten keräämiseen ja analysointiin. Tutkimuksen tulos on asiantuntijapaneelin arvioiden analysoitu kooste. Käytännössä tulevaisuuden nousevien teknologioiden määrittelyssä käytettiin niin sanottua iteratiivista teknologialistojen muodostamista. Tämä tarkoittaa sitä, että valitulle joukolle asiantuntijoita lähetettiin laaja kirjallisuuden perusteella muodostettu teknologinen pohjaolettamus, lista, jonka perusteella kukin asiantuntija rakensi oman näkemyksensä. Näkemyksiä kerättiin usealla kierroksella ja asiantuntijoilla oli mahdollisuus kommentoida toistensa näkemyksiä. Prosessi lopetettiin, kun riittävän yhdenmukaisen näkemyksen katsottiin muodostuneen. Tätä näkemystä käytettiin tulevaisuuden nousevien teknologioiden jäsenyyksinä (taulukko 1).

Taulukko 1. Nousevien avainteknologioiden jäsenyys.

Informaatio- ja kommunikaatio- teknologia	Bioteknologia	Materiaali- ja nanoteknologia
<ul style="list-style-type: none"> - Edistyksellinen tiedon varastointi (advanced data storage) - Keinoäly (artificial intelligence) - Tietokoneistettu terveydenhuolto (computerized healthcare) - Etäopetus ja etäoppiminen (distance learning) - Elektroninen paperi (electronic paper) - Modulaariohjelmistot (modular software) - Neuraaliverkot (neural networks) - Optiset tietokoneet (optical computers) - Älyagentit (intelligent agents) - Kaikkialla läsnäoleva tietotekniikka (ubiquitous computing) - Virtuaalitodellisuuden sovellukset (applications of virtual reality) 	<ul style="list-style-type: none"> - Keinoelimet (artificial organ) - Biosirut (biochips) - Biomimetiikka (biomimetics) - Kloonaus (cloning) - Geneettinen muuntelu (genetic engineering) - Geeniterapia (genetic therapy) - Kohdennetut lääkkeet (targeted pharmaceuticals) 	<ul style="list-style-type: none"> - Bioyhenteensopivat polymeeripinnat (biocompatible polymer surfaces) - Polttoainekennnot (fuel cells) - Funktionaaliset polymeerit (functional polymers) - Älymateriaalit (intelligent materials) - Miniaturisaatio (miniaturization) - Sensorit, havaitsimet (Sensors) - Suprajohtavat materiaalit (superconducting materials)

Kuten tuloksista ilmenee, vuoteen 2015 mennessä keskeisimmät teknologiset kehityslinjat voidaan luokitella informaatio- ja kommunikaatioteknologian, bioteknologian ja materiaali- ja nanoteknologian aloihin. Bioyhteiskuntaoletuksen mukaisesti *informaatio- ja kommunikaatioteknologiasta tulee enenevässä määrin perustyökälu* erilaisten bio- ja nanoteknologian tuotteiden tuottamiseksi. Tätä kehityslinjaa korostavat informaatiomassojen käsittelyyn ja työstämiseen tähtäävät informaatio- ja kommunikaatioteknologian sovellukset. Tutkimustuloksista edistysellinen 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 virtuaaliodellisuuden sovellutukset. Kehitystyö ei kuitenkaan fokuroidu pelkästään sovelluksiin muilla aloilla, *vaan informaatio- ja kommunikaatioteknologian ala kehittyy* myös itsessään. Erityisesti keinoälyn tutkimus, neuraaliverkot ja optiset tietokoneet nousivat keskeisiksi kehitysaloiksi.

Bioteknologian alalla yhteiskunnallisesti keskeisimmät kehityslinjat voi luokitella *bioteknologiseksi prosesseiksi ja bioteknologiseksi tuotteiksi*, joskaan raja ei lopulta ole näin yksiselitteinen kuin tässä yhteydessä käytetty. 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. ”Konkreettiset” bioteknologiset tuotteet, kuten biosirut, voivat taas perustua hyvin pitkälle prosessimaiseen toimintamalliin. Prosessin ja tuotteen välinen rajanveto onkin melko keinotekoinen, joskin se helpottaa tässä tapauksessa tutkimuksen tulosten ymmärtämistä. Tutkimukseen ja diagnostiikkaan kehitetty biosiruteknologia, luonnollisia biologisia prosesseja imitoiva biomimetiikka, kloonauus ja geneettinen muuntelu ovat luokiteltavissa bioteknologiseksi 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. 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 pienentämistä, on myös prosessi joka yhdistää kaikkia kolmea teknologista kehityslinjaa, informaatio- ja kommunikaatioteknologiaa, bioteknologiaa ja materiaalia- 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 pinta-materiaalin. Laitteiden verkoista tärkeimmiksi nousivat bioyhteensopivat polymeeripinnat, funktionaaliset polymeerit, älymateriaalit ja suprajohtavat materiaalit.

NOUSEVIEN TEKNOLOGIOIDEN VAIKUTUKSET AMMATTI- JA KOULUTUSALOIHIN

Nousevien teknologioiden määrittelyn jälkeen tarkasteltiin niiden vaikutuksia ammatti- ja koulutusaloihin. Tämä tarkoitti sitä, että muodostettiin nouseviksi teknologioihin kytkeytyviä teesejä, jonka jälkeen teesit asetettiin asiantuntijapaneelin arvioitaviksi. Oleellisena arvioinnin kohteena oli teesien uskottavuus eli toteutumistodennäköisyys. Alla olevat yhdeksän teesiä arvioitiin kaikkein uskottavimmiksi:

1. *Kohdennetut lääkkeet.* Tehokkaita, kohdennettuja lääkkeitä käytetään esimerkiksi syövän hoitoon siten, että lääkitys kohdistuu ainoastaan syöpäsoluihin.
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).

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.

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.

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

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

Koska tarkoituksena oli tutkia nousevien teknologioiden vaikutuksia ammatti- ja koulutusalo-

KOHDENNETUT LÄÄKKEET

<p><i>Keskeisimmät ja nousevat:</i> biokemisti / biologi lääkäri / farmakologi palveluala / myynti / hoitaja talousasiantuntija</p>	<p><i>Nousevat:</i> matematiikka/ tilasto- asiantuntija opettaja / kasvatuksen asiantuntija, tietotekniikka- asiantuntija</p>	<p><i>Laskevat:</i> toimistotyöntekijä teollisuustyöntekijä arkkitehti / tilan asiantuntija</p>	<p><i>Heikot signaalit (mahdollisuudet):</i> ohjelmistoasian- tuntija</p>
---	---	---	---

SENSORIT

<p><i>Keskeisimmät ja nousevat:</i> ohjelmistoasian- tuntija tietotekniikka- asiantuntija matem. / tilasto- asiantuntija biokemisti / biologi</p>	<p><i>Nousevat:</i> arkkitehti/tilan asiantuntija talousasiantuntija palveluala / myynti / hoitaja yhteiskunta- asiantun- tija / psykologi</p>	<p><i>Laskevat:</i> teollisuus- työntekijä toimistot- yöntekijä</p>	<p><i>Heikot signaalit (mahdollisuudet):</i> opettaja / kasvatuksen asiantuntija lääkäri / farmakologi</p>
---	--	---	--

INTEGROIDUT TEKNOLOGIAT

<p><i>Keskeisimmät ja nousevat:</i> ohjelmistoasian- tuntija tietotekniikka- asiantuntija arkkitehti / tilan asiantuntija</p>	<p><i>Nousevat:</i> talousasiantuntija yhteisk. asian- tuntija / psykologi palveluala / myynti / hoitaja matematiikka. / ti- lastoasiantuntija</p>	<p><i>Laskevat:</i> teollisuus- työntekijä</p>	<p><i>Heikot signaalit (mahdollisuudet):</i> opettaja / kasvatuksen asiantuntija lääkäri / farmakologi</p>
---	--	--	--

KUVA 1. Kolmen uskottavimman teknologisen teesin yhteydet ammatti- ja koulutusaloihin

hin, tarvittiin jatkossa myös ammatti- ja koulutusalojen määritelmä. Tutkimuksessa päädyttiin muodostamaan oma lista ammatteja ja koulutusaloja Tilastokeskuksen ja työministeriön tuottamien luokitusten pohjalta. Listan muodostamisessa oli kaksi päätavoitetta: ensimmäisenä tavoitteena oli korostaa erityisesti tietointensivisissä rakenteissa ja tietoyhteiskunnassa keskeisiä ammatillisia ja koulutuksellisia toimintoja ja toisena tavoitteena oli saada jonkinlainen tulevaisuusorientaatio kyseiseen listaan. Tämä tarkoittaa tässä yhteydessä 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. Muodostettu ammatti- ja koulutusalaista on seuraava:

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

Alla olevassa kuvassa 1 esitetään esimerkki tuloksista kolmen uskottavimmaksi arvioitun teesin kohdalta. Avainteknologiat on kytketty ammatti- ja koulutusaloihin neljän portaan mukaan: 1) keskeisimmät ja nousevat 2) nousevat, 3) laskevat ja 4) frekvenssiltään pienet, mutta mahdollisesti nousevat ammatti- ja koulutusalat. Näitä kutsutaan tässä yhteydessä heikoiksi signaaleiksi.

LOPUKSI

Esitellyn tutkimuksen tuloksista voi johtaa neljä aihiota yhteiskunnallisen keskustelun pohjaksi. Ensiksi, teesien ja koulutusalojen keskinäisissä yhteyksissä korostuvat tietotekniikka- ja ohjelmistoala lähes joka teesin kohdalla. Informaatio- ja kommunikaatioteknologia muuttuikin infrastruktuuriksi, joka on keskeinen yleisenä tuotan-

nollisena rakenteena. Informaatio- ja kommunikaatioteknologiaa sovelletaan yhä enemmän eri alojen työkaluna, ja sovellukset muille aloille nousevat entistä oleellisemmiksi. Toiseksi, teknologiaan liittyvissä ammattirakenteissa korostuu yhä kasvavassa määrin erilaisten osaamisalojen yhdistyminen. Syntyykin tarvetta erilaisille fuusioosaajille, 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. Kolmanneksi, yhteiskunta- ja liike-elämän osaaminen korostuvat teknologia-alojen kilpailutekijänä. Teknologian kehityslinjojen yhdistyessä ja fuusioteknologioiden rakentuessa korostuvat yhteiskunnalliset ja kaupalliset näkökohdat jo hyvin varhaisessa vaiheessa. Teknologioita tulisi lähestyä yhä enemmän sosioteknisinä verkostoina, yhteiskunnallisten ja teknologisten impulssien yhdistelminä, joiden suunnittelun ja käytön tulisi perustua yhteiskunnallisiin näkökohtiin. Neljänneksi, mielenkiintoisena aspektina yhteiskunnalliseen keskusteluun voi pitää ajatusta bioalan kulutustuotteista. Vaikka asiantuntijat eivät vielä juurikaan tohtineet ennakoida mitä bioalan kulutustuotteet pitäisivät sisällään, arvioitiin kuitenkin, että tuotteilla voisi olla erittäin suuria markkinapotentiaaleja. Tuloksilla hieman spekuloiden voikin muotoilla kiinnostavia kysymyksiä jatkotutkimuksille: Voisiko biolääketieteellisten materiaalien ja diagnostiikan alalta nousta uudenlaisia kulutustuotteita? Tuotetaanko näitä bioyhteiskunnan tehtaissa tulevaisuuden sinikaulustyöläisten voimin?

KIRJALLISUUS

- Ahlqvist, Toni (2003a). *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.
- Ahlqvist, Toni (2003b). *Avainteknologiat ja tulevaisuus: yhteiskunnallisia tarkasteluja nousevien teknologioiden ja kvalifikaatioiden yhteyksistä*. Opetusministeriön julkaisu-ja 2/2003.
- Mannermaa, Mika (2002). *Biosociety and Human Being – life after the Information Society*. A research plan. Mimeo.