



MFG40 - Valmistus 4.0 – ja sen teknologiset, taloudelliset, koulutukselliset ja sosiaalipoliittiset strategiat

Kari Ullakko (LUT), Heikki Hillamo (HY), Heikki Handroos (LUT), Antti Salminen (LUT), Jari Kivioja (TY), Juhani Rautopuro (JY) ja Mikael Collan (LUT)

Tilannekuvaraportti

Tiivistelmä

MFG 4.0 on monitieteellinen tutkimushanke, jonka tarkoituksena on tutkia ja selvittää valmistavan teollisuuden tulevaisuutta. Fokus on yleisesti "3D-tulostus" ja "teollinen automaatio" nimillä kulkevien teknologioiden ympärillä ja näiden mukanaan tuoman valmistavan teollisuuden murroksen ymmärtämisessä ja siihen varautumisessa. Hankkeessa pyritään parantamaan käsitystä niistä teknologioista, koulutusosaamisesta, liiketoimintamalleista ja yhteiskunnallisesta murroksesta, jonka tuotannollisen teollisuuden muutos ja murros tuovat mukanaan sekä luomaan ajatuksia ja suunnittelemaan "suomalaisia vastauksia" tähän murrokseen varautumiseksi ja murroksen hyödyntämiseksi. Kantavana ideana on ymmärtää, miten Suomi pärjäisi teollisuuden murroksessa mahdollisimman hyvin. Hankkeessa kehitetään uutta teknologiaa additiivisen valmistuksen ja teollisuuden automaation tarpeisiin materiaalitutkimuksen, robotiikan ja automaation keinoin, luodaan uusia päätöksenteon tukimalleja ja liiketoimintamalleja, tutkitaan valmistavan teollisuuden murroksen vaikutusta vaadittavaan koulutukseen ja mahdollisten ylimenokausien tukemista sosiaalipolitiikan keinoin. Hankkeessa on myös valmistavan teollisuuden tulevaisuuden visioita tutkiva osuus.

MFG40 - Tutkimuksen tausta

Valmistavassa teollisuudessa on käynnissä voimakas digitaalinen ja automaation murros. On nähtävissä, että suuri osa valmistavasta teollisuudesta tulee siirtymään verkostomaiseen liiketoimintamalliin ja valmistus saa palvelunomaisia piirteitä. Esimerkiksi varaosavalmistus tulee siirtymään paikalliseksi; varaosia valmistetaan siellä missä niitä tarvitaan ja vain silloin kun niitä tarvitaan (just-in-time / make-to-order), eikä niitä enää tarvitse varastoida tai kuljettaa pitkiä matkoja varastoista tarvitsijoille.

Tämän muutoksen yksi merkittävä teknologinen mahdollistaja ovat ns. additiivisen valmistuksen menetelmät, jotka yleisemmin tunnetaan nimellä "3D-tulostus". Muita teknologioita, jotka vahvistavat murrosta ovat erilaiset digitaalisen liiketoiminnan, analytiikan ja automaatioteknologiat, jotka todennäköisesti tulevat tukemaan ja täydentämään additiivisen valmistuksen aiheuttamaa murrosta.

Kuvitellaan tulevaisuuden tilanne, jossa suomalaisen valmistajan ulkomailla sijaitseva huoltosopimuksen alainen laite on sensoreillaan havainnut, että sen sisältämä osa on rikkoutumassa (ennustava huolto) ja, että laite pitää huoltaa viimeistään 20 tunnin kuluttua, suuremman rikkoutumisen välttämiseksi. Laite lähettää tiedon huoltotarpeesta huoltomiehelle, joka tilaa välittömästi varaosan tiedot sisältävän tietosuojatun paketin valmistajan verkkokaupasta lähimmän 3D tulostinaikaa myyvän yrityksen tulostimelle, joka aloittaa varaosan tulostuksen. Muutamia tunteja myöhemmin varaosa on valmis ja huoltomies käy vaihtamassa sen laitteeseen. Kaikki tapahtuu paikallisesti.

Jotta yllä mainitun kaltainen uskottava skenaario voisi toteutua täytyy monen asian toimia hyvin yhteen. Ensinnäkin on oltava ennustavia huollon menetelmiä, jotka mahdollistavat automaattiset ja ennustavat huoltokutsut ja tuotejärjestelmä, jonka avulla voidaan identifioida kunkin huoltokutsun vaatimat varaosat automaattisesti. Toiseksi, täytyy olla olemassa järjestelmä tai oikeammin sanottuna ekosysteemi, jonka kautta tarvittavien varaosien "digitaaliset reseptit" voidaan ostaa sähköisesti ja kolmanneksi, laaja additiivisen valmistuksen

luotettu verkosto, joka pystyy tulostamaan ja toimittamaan digitaalisesti ostettuja osia nopeasti ja paikallisesti. Itse tulostinlaitteiden tulee olla sellaisia, että ne pystyvät tulostamaan nykyistä huomattavasti monimutkaisempia ja hienomekaanisempia osia ja jopa osakokonaisuuksia, ehkäpä jopa ”valmiita yksinkertaisia koneita”. Huoltohenkilökunnan tulee osata toimia digitaalisen ja teknisen huoltoympäristön saumakohdassa ja pystyä ratkaisemaan ongelmia paikallisesti.

Ei ole vaikeaa ymmärtää, että yllä mainitunlaisen (tai sen kaltaisen) skenaarion toteutuessa näyttää ”koko maailma” valmistavan teollisuuden ja siihen sitoutuneiden näkökulmasta erilaiselta kuin nyt – silloin on tapahtunut tai on tapahtumassa suuri murros, jossa valmistavan teollisuuden lainalaisuudet ovat muuttumassa dramaattisesti. Valmistuksesta on suurelta osin tullut osa palveluprosessia, jossa yhdistyvät voimakkaasti digitaalinen alustatalous sekä tekninen ja analytiikkaosaaminen. Suurten murrosten yhteydessä muuttuvat niin liiketoimintamallit kuin johdon ja henkilöstön osaamistarpeetkin, puhumattakaan teknologioista, joiden päällä tulevaisuus lepää.

Tulevaisuuden valmistavilla yrityksillä täytyy olla kykyä ymmärtää, miten pitkälle toimintoja viedään verkostomaiseen suuntaan ja mikä osa valmistuksesta on syytä pitää perinteisesti suuremmissa valmistusyksiköissä. Lisäksi on kiinnostavaa, miten additiivisen valmistuksen menetelmät ja automaatio voivat auttaa edelleen tehostamaan ns. perinteistä valmistusta. Työpaikkojen ja tuotannollisen teollisuuden pysyminen Suomessa perustuu yritysten ja yhteiskunnan kykyyn vastata niihin haasteisiin, joita valmistavan teollisuuden murros tuo tullessaan. Koulutuksen tulee vastata teollisuuden tarpeisiin ja yhteiskunnan tukijärjestelmien tulee olla riittävän joustavia ja kannustavia, jotta uuden oppiminen ja uudelleen kouluttautuminen tulevat luonnolliseksi ja jopa odotetuksi osaksi työuria.

Tämän tutkimushankkeen tarkoituksena on monialaisen tutkimuksen keinoin selvittää yllä kuvaillun kaltaisen murroksen suuntaa ja merkitystä Suomelle, suomalaiselle valmistavalle teollisuudelle ja yhteiskunnalle.

Tutkimusteemat - tilannekuva

Hanke jakaantuu viiteen työpakettiin, joilla jokaisella on oma teemansa. Teemat ovat ”Valmistuksen tulevaisuus”, ”Additiivinen valmistus ja automaatio”, ”Liiketoimintamallit ja kannattavuus”, ”Koulutuksen haasteet” ja ”Sosiaalipolitiikan vastaukset”.

Valmistuksen tulevaisuus

Valmistuksen tulevaisuuden tutkimus liittyy voimakkaasti keskusteluun digitalisaatiosta, Internet of Things -ajattelusta, robotisaatiosta ja automatisaatiosta. Yhä enemmän valmistuksen kehittämisen yhteydessä on ryhdytty keskustelemaan kuluttajalogistiikasta ja entistä räätälöidymmistä tuote- ja palvelujärjestelmistä. Useat keskustelut liittyvät Teollisuus 4.0 –ajatteluun, jonka alkujuuret kytkeytyvät Saksan ja Japanin teollisuuspolitiikkaan. Avaintermejä tässä tulevaisuuskeskustelussa ovat termit kuten älykkyys, älykäs tuotanto, älykäs erikoistuminen, alustatalous ja lohkokoteknologia (ks. Schwab 2014, Ross 2016, Zheng et al. 2018). Euroopan Unionin politiikassa ja Suomessakin on ryhdytty keskustelemaan aktiivisesti älykkään erikoistumisen alueellisista strategioista, joilla halutaan edistää suhteellisten etutekijöiden hyödyntämistä, kimmoisuutta eli resilienssiä ja elinkeinojen uudistumista, josta taloustieteilijät käyttävät usein termiä ”luova tuho” (Kaivo-oja et al. 2017, Haukioja et al. 2018).

Valmistuksen tulevaisuus nähdään Euroopassa riippuvan siitä, miten hyvin eri alueet ja valtiot löytävät älykkään erikoistumisen mahdollisuuksia omilla alueillaan ja näille alueille relevanteilla teollisuusaloilla. Älykkään erikoistumisen mahdollisuudet liittyvät voimakkaasti osaavan työvoiman saatavuuteen, yrittäjyyden voimakkuuteen ja uusien kasvuyritysten dynaamiseen kehitykseen alueilla. Myös kansallisen innovaatiojärjestelmän toimivuudella on oma merkityksensä yritysten kasvulle ja kehitykselle (ks. Santonen et al. 2014, Kaivo-oja, Knudsen & Lauraéus 2018)). Yhä isompaa roolia on nähty olevan avoimen innovaatio-toiminnan paradigmalla ja monialaisella verkostomaisella yhteistyöllä, jossa yhteistyöverkoston monipuolisuus on tärkeä taustatekijä synergian luomisen kannalta (Roth, Leydesdorff & Kaivo-oja 2018b). Erityisen tärkeäksi asiaksi on muodostumassa ns. triadiyhteistyö patenttien ja tuotemerkkien hallinnassa – samoin kuin massadatan hyödyntäminen start-up yritysten ja kasvuyritysten liiketoimintojen kehittämisen yhteydessä (Lauraeus & Kaivo-oja 2017, Roth et al. 2018, Bzhalava et al. 2018). Myös uusien aikaisempaa ketterämpien liiketoiminnan kehittämistyökalujen kehittäminen on yhä tärkeämpää (Kaivo-oja & Lauraeus 2018).

Yrityskirjallisuudessa valtavirta-ajatteluksi ovat muodostuneet ajattelumallit dynaamisten kyvykkyyksien kehittämisestä, uusien liiketoimintainnovaatioiden synnyttämisestä, massadatan hyödyntämisestä liiketoimintojen kehittämisessä, sekä ajatukset teollisen toiminnan orkestroinnista suhteessa globaaleihin arververkkoihin (Kaivo-oja 2017, Kuusi et al. 2017). Pääsy mukaan vahvan kysynnän globaaleihin arververkkoihin ylivoimaisen osaamisen kautta koetaan yhä tärkeämmäksi menestyksen lähtökohdaksi, koska usein pelkät kotimarkkinat eivät riitä menestykseen yritysmaailmassa. Tämä perusajatus koskee myös Suomen kansantalouden tulevaa kehitystä ja menestystä.

Edellä mainitun perusteella keskeisintä Suomen menestyksekkäälle tulevaisuuden liiketoiminnalle on tunnistaa nousevat teollisuuden alat, missä uusia tuotteita ja palveluja voidaan kehittää ennen kilpailijoita. Tässä projektissa luodaan työkaluja kasvavien alojen tunnistamiseen, joilla on mahdollisuuksia vallankumouksellisiin uusiin tuotteisiin. Suomen kansantaloudessa tulisi kiinnittää erityistä huomiota radikaalien innovaatioiden – tai jopa disruptiivisten innovaatioiden - potentiaalini ja taloudellisen arvonlisän luomiseen uusilla innovatiivisilla aloilla. Useat kansalliset tutkimuslaitokset, esim. Suomen Akatemia, Tekes, VTT, Sitra ja Suomen eduskunnan tulevaisuuskomitea, sekä kansainväliset tutkimusvirastot tutkivat näitä strategisesti tärkeitä alueita, mutta valitettavasti tuloksia ja löydöksiä ei ole vielä kerätty ja analysoitu yhdessä. Yhdistämällä näiden eri virastojen tuottamat tiedot, olisi mahdollista kehittää järjestelmällinen analyysi näistä kasvavista aloista. Mahdollisten uusien lupaavien alojen tunnistamisen jälkeen on tarpeen arvioida, mitkä näistä aloista soveltuisivat Suomen kokoiselle maalle. Tässä järjestelmällisessä arvioinnissa integroidaan älykkään erikoistumisen ja immateriaalioikeuksien hallinta (IPR: n hallinta, esim. Tavaramerkit ja patentit) näihin strategiini STI-arviointeihin. Näiden diagnoosi- ja ennustejaksojen jälkeen tehdään ehdotuksia tutkimusrahoituksen myöntämiseksi niille aloille, jotka näyttävät olevan lupaavimpia.

Delfoi- STI-asiantuntijapaneelissa integroidaan sekä markkinapotentiaalini että dynaamisen osaamisen arviointityökalut, joita myöhemmin käytetään strategisissa analyyseissä. Tämän integroidun työkalun käyttö auttaa meitä kehittämään tulevaisuuden STI-analyysiini pohjautuvia strategioita, jossa päättäjät voivat tarkkailla tuotteisiin ja palveluihin liittyviä erityisaloja, joilla on korkeimmat markkinapotentiaalini ja dynaamiset kyvykkyydet / kompetenssit Suomessa. Nämä strategisen valinnan ja erikoistumisen prosessit ovat erittäin

tärkeitä pienelle maalle kuten Suomelle, jolla on hyvin rajalliset resurssit tutkimukseen, koulutukseen ja tuotekehitykseen.

Additiivinen valmistus ja automaatio

Perinteisessä valmistuksessa kappaleesta joko poistetaan materiaalia eri työstömenetelmin tai kappaleita liitetään toisiinsa erilaisin tekniikoin. Additiivisessa eli lisäävässä valmistuksessa kappale valmistetaan lisäämällä materiaalia kerros kerrokselta etukäteen suunnitellun (3D) mallin mukaan. Käytettyjen materiaalien kirjo on hyvin laaja ja kattaa muovit, metallit, keraamiset ja monet kuitumateriaalit, kuten selluloosan. 3D-tulostuksen markkinat kasvavat noin 20-30% vuodessa. Laitteiden, materiaalien ja palveluiden liikevaihto oli vuonna 2016 yli 6 miljardia dollaria, joista valmistuslaitteiden osuus on noin puolet. 3D-valmistus on siirtymässä prototyyppien valmistuksesta lopputuotteiden valmistukseen. Lisäävä valmistus on osa teollisuuden murrosta, jossa tuotteiden valmistusta automatisoidaan, ja tuotantolaitosten koko muuttuu isoista tehtaista kohti pienempiä hajautettuja yksiköjä. Tämä tekniikka mahdollistaa uusien työpaikkojen syntymisen myös syrjäseuduille.

3D-tulostuksella voidaan valmistaa rakenteita ja muotoja, joita on kallista tai jopa mahdotonta valmistaa perinteisin menetelmin. Yhdistämällä lisäävä valmistus nykyaikaiseen simulointitekniikkaan voidaan suunnitella ja valmistaa kappaleita, jotka on optimoitu esim. rakenteen, lujuus-painosuhteen tai kappaleen käyttökohteen hyötysuhteen mukaan. Muita tämän tekniikan käytön kehityssuuntia ovat mm. osakoonpanon korvaaminen yksittäisellä 3D-tulostetulla osalla ja uusien toimintojen sisällyttäminen perinteisiin komponentteihin. Lisäävän valmistuksen käytön päämääränä on mahdollistaa monimutkaisten konekokoospanojen korvaaminen pienemmillä, luotettavammilla ja edullisemmilla älymateriaaleilla.

Hankkeessa kehitämme sellaisten laitteiden 3D-tulostustekniikoita, jotka sisältävät myös magneetikentän avulla liikettä tuottavia komponentteja (Ullakko, et al., 1996.). Tämä edellyttää materiaalin rakenteen valmistamista erilliskiteiseksi niissä kohdissa tulostettavaa laitetta, jotka tuottavat liikettä (Ullakko et al., 2016). Tällaista tulostusta kutsutaan myös 4D-tulostukseksi. Olemme 4D-tulostuksen pioneereja maailmassa (Mostafaei et al., 2017). Tutkimme ja kehitämme myös monimateriaalitulostusta, jossa samaan kappaleeseen voidaan tulostaa toiminnallisia komponentteja, esimerkiksi magneetti-piirejä, sekä monimateriaalitulostusta, jossa rakenteen osana ovat selluloosapohjaiset kuitukomposiitit.

Automaation näkökulmasta hankkeessa keskitytään kolmeen pääasialliseen tutkimusteemaan: ”koneäly (AI) ja robotisaation vaikutukseen teolliseen tuotantoon”, ”ihmisen ja robottien yhteistyö ja sen tuomat mahdollisuudet” sekä ”etäoperointi ja työn globaali uusjako 5G-verkon välityksellä”. Tietokoneistumisen ja robotisaation vaikutuksia työvoiman tarpeeseen EU-alueella ja globaalisti on käsitelty laajalti (Bruegel 2014), (Frey 2013) ja (Fabb 2016). Tällä hetkellä koneällyn tärkeimmät käyttösovellutukset ovat lähinnä datamassojen hyödyntämisessä esim. täsmämarkkinoinnissa ja kuvien sekä puheen tunnistuksessa, joilla aloilla on päästy jo riittävän tarkalle tasolle teollisen hyödynnettävyyden kannalta (Viite: Artificial Intelligence). Tärkeitä sovellettavia menetelmiä ovat mm. neuroverkkopohjaiset deep learning menetelmät - laskentakapasiteetin ja sensoritekniikan kehittyminen ovat tehostaneet näitä menetelmiä ja koneiden suorittama päättely on nopeampaa ja tarkempaa kuin vielä muutama vuosi sitten. Nykymenetelmät ovat sovellettavissa myös valmistusjärjestelmiin, erityisesti niiden tuottaman datan käsittelyyn, valmistuksen konenäköjärjestelmiin ja laadun hallintaan (Kelnar et al.) Hankkeen pyrkimys on selvittää ja arvioida miten ja millä aikataululla tekoäly vaikuttaa teollisuusrobotiikkaan niin voimakkaasti, että vaikutukset näkyvät työn uudelleen

jakautumisessa. Käytäntöön tutkimusta viedään mm. testaamalla koneälyä LUT:in Tiera-mobiilirobotissa (Hamid et al.).

Perinteinen teollisuusrobotiikka säilyi pääpiirteiltään samakaltaisena noin kolmekymmentä vuotta, aina 2010-luvulle asti. Niissä käytetty teknologia oli vakiintunutta muutaman suuren toimijan dominoidessa markkinoita. 2010-luvulla tanskalainen Universal Robotics toi markkinoille uudenlaisen käsivarsirobotin, joka soveltuu työskentelemään ihmisen kanssa tuotantolinjalla (Viite: Collaborative Industrial Robotic robot Arms...). Keskeisinä tekijöinä robotissa ovat mekanismin pieni inertia ja voimantunto (haptiikka) ohjauksessa. Suuret robottivalmistajat seurasivat perässä ja toivat markkinoille vastaavia tuotteita (Viite: <http://www.rethinkrobotics.com/collaborate/>). Arviomme mukaan tuotantosolut, joissa ihmiset työskentelevät yhteistyössä robottien kanssa tulevat rajusti yleistymään jo seuraavien viiden vuoden aikana. Tähän kehitykseen vaikuttavat voimakkaasti mm. työturvallisuuslainsäädäntö, joka jarruttaa teknologian käyttöönottoa teollisuudessa ja ihmistä havainnoivat tekniikat sekä puheohjaus. Robottikäsivarret voidaan kiinnittää liikkuviin robottivaunuihin, joka mahdollistaa joustavamaan ja laajemmalla alueella toteutettavan ihminen-robotti-yhteistyön. Hankkeessa kartoitetaan lupaavimpia teknologioita ja teollisia sovellutuksia kollaboratiiviselle robotiikalle. Lupaavimpia menetelmiä implementoidaan ja testataan itse kehitetyillä roboteilla.

Etäoperointia on toteutettu lähinnä lääketieteellisessä kirurgiassa sekä ydinlaitosten- sekä avaruus- ja sotatekniikan erikoissovellutuksissa. Etäoperoinnissa ”kuljettaja” ohjaa konetta langallisesti tai etälinkin kautta langattomalla tiedonsiirtotekniikalla. Ohjaukseen liittymänä voi olla haptinen mekanismi tai perinteisemmät ohjauslaitteet, kuten ratit, ohjaussauvat ja polkimet (Heikkinen et al. 2013), (Belzunce et al. 2016). Etäohjaajalle on mahdollista tuottaa ns. immersiiivinen palaute ohjattavasta koneesta virtuaalikypärien ja -lasien, näyttöjen ja äänimaailman avulla. Reaaliaikaisen vuorovaikutuksen saavuttamiseksi tällaisissa järjestelmissä vaadittaisiin myös reaaliaikainen aistitiedon siirto, jota ei vielä saatavissa olevilla tekniikoilla voi toteuttaa. Maailmanlaajuinen 5G-verkko ja kehittyneet virtuaalimallit tulevat kuitenkin poistamaan nämä rajoitteet ja suuri määrä koneita voidaan muuntaa etäoperoitaviksi (Torsner et al. 2015). Tämä voi avata esim. työkoneteiden kuljettajien työlle globaalit markkinat. Hankkeessa kartoitetaan uusia etäoperointitekniikoita, luodaan hyvä käsitys etäoperoinnin käyttöönoton aikajanasta työkoneteollisuudessa sekä tutkitaan ja kehitetään etäoperointia laboratorio-olosuhteissa.

Liiketoimintamallit, päätöksenteko ja kannattavuus

Valmistuksen murroksessa myös valmistuksen liiketoimintamallit tulevat kokemaan murroksen, paikkasidonnainen suurten yksikköjen aika tulee osittain loppumaan ja suuri osa valmistuksesta tulee siirtymään paikalliseksi ja hajautuneeksi – suuresta osasta valmistukseen liittyvää liiketoimintaa tulee muuttumaan verkostoituneeksi palveluliiketoiminnaksi, jossa valmistus on vain osakokonaisuus ja myytävä on yhä useammin ratkaisu. Uusien kansainvälistä verkottumista hyödyntävien liiketoimintamallien ymmärtäminen on avainasemassa valmistavan teollisuuden asemoituessa valmistuksen murrokseen. Additiivisen valmistuksen kansainvälisiä liiketoimintamalleja on tähän mennessä tutkittu verrattaen vähän, mutta muutamat tutkijat ovat jo jättäneet jalanjälkensä tutkimuksen kenttään (Weller et al., 2015, Laplume et al., 2016, Jiang et al., 2017). Suomalainen perspektiivi valmistuksen tulevaisuuden liiketoimintamalleista puuttuu vielä lähes tyystin. Yhdessä valmistuksen tulevaisuutta tutkivan ryhmän kanssa tässä tutkimuksessa mallinnetaan valmistuksen liiketoimintaa ja pyritään luomaan uusia tuote ja yritysarkkitehtuurimalleja verkottuneen ratkaisukeskeisen valmistuksen ympärille. Ymmärrystä syvennetään rakentamalla systeemidynaamisia simulaatiomalleja ja

analysoimalla niillä luotuja simulaatiotuloksia. Valmistuksen liiketoimintamallien lisäksi tutkimuksessa sivutaan myös rahoitusalan uudistumista, erityisesti joukkorahoitusta ja alustataloutta, sillä näiden osalta liiketoimintamalleissa arvellaan olevan samankaltaisuutta.

Kun investointipäätöksiä tehdään on asioiden ”driverinä” usein liiketoiminnan kannattavuus, mutta murrostilanteissa ja suuren epävarmuuden vallitessa yleisimmin käytetyt kannattavuuslaskentamenetelmät tyypillisesti epäonnistuvat arvioimaan investointien kannattavuutta, koska ne eivät kykene ottamaan suuren epävarmuuden mukanaan tuomaa epätarkkuutta ja potentiaalia huomioon (Trigeorgis, 1996). Suuren epävarmuuden vallitessa tapahtuvan investointipäätöksenteon tueksi on kehitetty reaalioptiomenetelmiä, joista osa pohjautuu rahoitusoption laskentaan käytettyihin menetelmiin ja uudemmat modernit menetelmät simulaatioon (Mathews et al., 2007, Savolainen et al., 2016) ja sumean logiikan hyödyntämiseen (Collan et al., 2009, Collan, 2012). Sumean logiikan menetelmillä kyetään ottamaan huomioon myös strukturaalisen epävarmuuden aiheuttama epätarkkuus, joka lähinnä vastaa valmistuksen murroksen kohtaamaa epävarmuutta. Tutkimuksessa kehitetään edelleen menetelmiä investointipäätöksenteon tukimenetelmiä tilanteisiin, joissa vallitsee voimakas epävarmuus ja saatavilla oleva tieto on vaillinaista – tutkimus kuuluu alallaan maailman kärkeen.

Kannattavuuden lisäksi valmistukseen liittyvään päätöksentekoon vaikuttavat monet muutkin asiat, näiden huomioonottaminen on mahdollista ns. monikriteerisillä päätöksenteon tukijärjestelmillä. Päätöksiä on tyypillisesti tekemässä ja arvioita antamassa joukko asiantuntijoita. Tämä vaatii käytettäviltä menetelmiltä kykyä samanaikaisesti käsitellä monikriteeristä ja monelta päätöksentekijältä tulevaa tietoa tilanteessa, jossa tieto on epätarkkaa (Collan and Luukka, 2016). Monikriteerisiä malleja on rakenneltu jo lähes seitsemänkymmentä vuotta ja monipäätöksentekijämallejakin ainakin kolmisenkymmentä, malleja jotka yhdistävät lisäksi kyvyn käsitellä epätarkkaa, kuten sanallista, informaatiota on kuitenkin tutkittu vielä hyvin vähän. Tutkimus rakentaa uusia kehittyneitä ja helppokäyttöisiä menetelmiä, jotka soveltuvat vaikeiden päätösten tukemiseen valmistuksen murroskauden kontekstissa ja kykenevät huomiomaan suuren epävarmuuden, ottamaan mukaan useiden asiantuntijoiden näkemykset useista päätökseen vaikuttavasta asiasta yhtäaikaisesti. Tutkimuksessa keskitytään myös sellaisten mallien kehittämiseen, jotka pystyvät automaattisesti päivittämään tietoa ja hyväksikäyttämään myös ”teknisiä tietolähteitä” kuten sensoreita ja IoT-tietolähteitä yleisesti ottaen.

Koulutuksen haasteet valmistavan teollisuuden murroksessa

Automatisaation myötä työelämässä tarvittavat kelpoisuudet, tiedot ja taidot muuttuvat nopeasti ja tämä edellyttää valmiutta sopeutua erilaisiin työtehtäviin tyypillisesti useammin kuin kerran työuran aikana (Tynjälä, 2008). Tulevaisuudessa tarvitaan niin kutsuttuja 21. vuosisadan generisiä taitoja, joita ovat mm. luova ja kriittinen ajattelu, oppimaan oppiminen, yhteistyötaidot, viestintätaidot ja tietotekniikan hyödyntäminen. Tarvitaan siis uusia innovatiivisia ideoita ja käytänteitä, jotta nämä väistämättä edessä olevat muutokset pystytään kohtaamaan. Koulutuksen pitäisi pystyä vastaamaan automatisaation tuomiin haasteisiin joustavasti ja ajantasaisesti. Tulevaisuudessa tarvittavien generisten taitojen kehittäminen tulisi olla keskeinen osa koulutusta varhaiskasvatuksesta korkeakoulutukseen. Koulutuksen tulisi myös pystyä reagoimaan muutoksiin mahdollisimman nopeasti. Hankkeessa analysoidaan nykyistä koulutusjärjestelmäämme ja etsitään keinoja kehittää sitä vastaamaan paremmin tulevaisuuden työelämän tarpeisiin.

Tutkimus keskittyy tarkastelemaan niitä koulutuksellisia tarpeita, joita on erityisesti aikuisilla, joilla on vaikeuksia kohdata automatisaation mukanaan tuomia työelämän vaatimuksia. Jyväskylän yliopiston Koulutuksen tutkimuslaitos (KTL) on aiemminkin tutkinut aikuisväestön perustaitoja ja niiden käyttöä työssä ja arkielämässä (OECD, 2016). Kansainvälisessä OECD:n yhteishakkeessa PIAAC-tutkimuksessa (The Programme for the International Assessment of Adult Competencies) vuonna 2012 keskeisenä kiinnostuksen kohteina olivat tiedon hallinnan avaintaidot: lukutaito, numerotaito ja tietotekniikkaa soveltava ongelmanratkaisutaito (Malin, 2013). Tämän tutkimuksen aineistoa jatkoanalysoidaan. Suomi osallistuu myös seuraavaan PIAAC-kierrokseen 2018-2022 myös tältä kierrokselta saatua aineistoa ja tuloksia tullaan hyödyntämään. KTL:n Suomessa toteuttamista laajoista kansainvälisistä arviointitutkimuksista (mm. PISA) saatua tietoa käytetään pohjana jatkotutkimuksessa (Vettenranta, 2016).

Toinen tärkeä tutkimuskohde ovat ne aikuiset, jotka eivät ole työllistyneet ja joiden koulutus ei vastaa automatisaation mukanaan tuomia haasteita ja muutoksia. Tästä kohderyhmästä valitaan henkilöitä haastatteluihin (case-study). Tavoitteena on löytää keinoja, joilla luodaan positiivinen asenne automatisaatiota ja digitalisaatiota kohtaan ja kehittää koulutusmuotoja jotka edistävät työllistymistä. Lisäksi huomiota kiinnitetään koulutuksen hyötysuhteeseen (kustannukset vs. Hyödyt).

Sosiaalipolitiikan vastaus automatisaation ja digitalisaation haasteisiin

Digitaaliset innovaatiot ovat merkki työn rakenteiden muutoksesta. Digitalisaatiossa koneet saavat yhä uusia ominaisuuksia muun muassa kyvyn oppia yhä monimutkaisempia tehtäviä, jotka mahdollistavat ja tuovat mukanaan työn rakenteiden laajamittaisen muutoksen. Suomen työmarkkinoilla on jo nähtävissä muutos, jossa hyvin palkatut ja huonosti palkatut työt lisääntyvät. On myös todennäköistä, että epävarmuus lisääntyy työmarkkinoilla, koska työtä voidaan organisoida joustavasti digitaalisten alustojen kautta. Nykyinen sosiaaliturva ei vastaa digitalisaation aiheuttamaan joustavuuden haasteeseen työmarkkinoilla. Ilman uusia innovaatioita nykyiset byrokratia- ja kannustinloukut jäykistävät työmarkkinoita ja hidastavat sopeutumista digitalisaatioon.

On tärkeää huomata, että digilisaatio, automatisaatio ja tekoäly eivät ole ainoastaan uhkia sosiaaliturvalle ja hyvinvointivaltiolle. Ne antavat myös uusia mahdollisuuksia sosiaaliturvalle ja sen kehittämiseksi. Hyviä esimerkkejä mahdollisista uusista mahdollisuuksista ovat esim. tulorekisteri tai henkilökohtainen sosiaaliltili. On lisäksi tärkeää huomata, että uudet teknologiat mahdollistavat valmistuksen lähellä työntekijöitä ja raaka-aineita, ilman välttämättömyyttä tehdä suuria investointeja tuotantovälineisiin. Suuremmat tuotantomäärät on mahdollista toteuttaa verkottamalla (yhdistämällä) paikallisia tuottajia ja saada siten alueita elinvoimaisemmaksi. Paikallinen valmistaminen on omiaan pitämään yllä ja kehittämään palveluyritystoimintaa sekä luo uusia palvelun tarpeita markkinoille.

Tutkimuksen lähtökohtana on pitkän ajan skenaario, jossa painopiste on heikoissa signaaleissa siitä, minkälaiselta työmarkkina 2030-luvulla näyttää sekä miten instituutioiden muutoksessa polkuriippuvuus on otettu huomioon. Pääasialliset tutkimuskysymykset ovat: ”Mitkä ovat sosiaaliturvan ja työllisyyden edistämisen nousevat tarpeet uusilla työmarkkinoilla 2030?” ja ”Mitkä ovat käytettävissä olevat ratkaisut vastauksien löytämiseksi näihin tarpeisiin?”. Tukeutuen hankkeessa tehtyyn muuhun tutkimukseen valmistuksen tulevaisuudesta ja digitalisaation vaikutuksesta valmistusliiketoimintaan ja liiketoimintamalleihin tutkitaan ja arvioidaan sosiaaliturvaetuksien pitkän aikavälin käyttöä. Laadimme ja toteutamme kattavan kyselytutkimuksen, jossa kysytään miten työntekijät Suomessa kokevat automatisaation riskit

heidän työlleen ja miten sosiaaliturva voisi auttaa heitä kohtaamaan digitalisaation riskit työmarkkinoilla. Laadullisten menetelmien avulla tutkitaan työnsä automatisaation vuoksi menettäneiden ihmisten selviytymisstrategioita.

Toiseen tutkimuskysymykseen liittyen teemme analyysin tutkimuskirjallisuudesta, joka antaa tärkeää tietoa muiden länsimaiden sosiaaliturvainnovaatioista. Tutkimusryhmämme on erityisen kiinnostunut henkilökohtaisesta aktiivitilistä Ranskassa (Compte Personnel d'Activite), digitaalisista ratkaisuista, jotka edesauttavat yrittäjyyttä Virossa sekä perustulokeskusteluista (Espanja, Ranska, Etelä-Koreassa, Hollanti). Perustulokokeiluissa tutkimusryhmämme tekee yhteistyötä BIEN:in (Basic Income Earth Network) kanssa. Lisäksi tutkimusryhmämme tekee yhteistyötä Global Digital Foundationin ja Kalevi Sorsa Säätiön kanssa. Tapaustutkimuksen avulla analysoimme menestystarinoita OECD maissa, joissa automaation ja 3D-tulostuksen avulla on pystytty pitämään reuna-alueita taloudellisesti kannattavina ja sosiaalisesti aktiivisina.

Perustuen hankkeessa tehtyyn taustatutkimukseen kehitämme uuden sosiaaliturvamallin, jota simuloimme syntymäkohortti 1987:n tiedoilla. Tämä tapahtuu yhteistyössä hankkeessa tapahtuvan koulutuksen tutkimuksen kanssa, jotta sosiaaliturvamallissa otetaan huomioon mahdollisuudet ja kannustimet elinikäiseen oppimiseen työuran eri vaiheissa.

Hankkeen tuoma lisäarvo

Automaatiota pidetään uhkana työpaikkojen säilymiselle. Jos automaation aiheuttamiin muutoksiin yhteiskunnassa ei varauduta ajoissa, niin työttömyys kasvaa ja nuoret syrjäytyvät. Tässä hankkeessa selvitämme, miten automaation uhka käännetään mahdollisuudeksi, joka synnyttää uusia työpaikkoja ja kasvattaa tuottavuuttamme. Hankkeessa yhdistetään uudella tavalla teknologiaa, taloutta, opetusta, tulevaisuuden tutkimusta ja sosiaalipolitiikkaa. Tulevaisuuden tutkimuksen keinoin katsotaan, mitkä ovat nousevia trendejä maailmalla. Kehitämme työkaluja, jotka sopivat parhaiten Suomeen ja selvitämme, miten koulutusta pitäisi kehittää vastaamaan automaation aiheuttamaa työnkuvien muuttumista. Hankkeen teknologiaosiossa kehitämme automaatiota ja 3D-teknologiaa, joka on muuttumassa 4D-teknologiaksi. Tutkimme uusia liiketoimintamalleja, jotka mahdollistuvat 3D-etävalmistuksen ja automaation myötä. Moni tuotanto, joka nyt on sijoitettu kustannussyistä kaukoitään, voidaan automaation avulla tehdä edullisemmin ja joustavammin Suomessa. Esimerkiksi Adidas on siirtänyt urheilujalkine tuotannon Kiinasta Saksaan siirryttyään jalkineiden automaattiseen valmistamiseen ja 3D-tulostuksen käyttöön. Sosiaalipoliittisen tutkimuksen avulla selvitämme automaation yhteiskunnallisia vaikutuksia ja mietitään keinoja ehkäistä syrjäytymistä sekä huolehtia niistäkin, jotka eivät onnistu työllistymään automaation aiheuttamassa nopeassa muutoksessa.

Tavoitteemme on hallita automaation ja 3D-etävalmistuksen aiheuttamat muutokset yhteiskunnassa ennen kilpailijamaitamme ja saada muutoksesta mahdollisimman suuren hyödyn.

Lähteet

Artificial Intelligence: Fourth Industrial Revolution or Robot Apocalypse? AI & Robophobia Go Hand in Hand, Available <https://medium.com/slalom-technology/artificial-intelligence-fourth-industrial-revolution-or-robot-apocalypse-2be8ed0ac8f0>

Belzunce Andres, Li Ming, Handroos Heikki, Control system design of a teleoperated omnidirectional mobile robot using ROS, 2016 IEEE 11th Conference on Industrial Electronics and Applications, IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, 2016, Pages 1-5

Bruegel (2014), Chart of the Week: 54% of EU Jobs at risk of computerisation. Available at: <http://bruegel.org/2014/07/chart-of-the-week-54-of-eu-jobs-at-risk-of-computerisation/> (accessed 20 June 2016).

Bzhalava, L., Kaivo-oja, J. & Hassan, S. (2018) Data-based startup profile analysis in the European smart specialization strategy: A text mining approach. Kaunas Conference, 16th International Conference on European Processes. The Future of European Union: Political, Economic and Social Challenges, Accepted paper. 12 p.

Collaborative Industrial Robotic robot Arms | Cobots from UR, Available:

<https://www.universal-robots.com/> <http://www.rethinkrobotics.com/collaborate/>

Collan M (2012), In The Pay-Off Method: Re-Inventing Investment Analysis. Vol. pp. CreateSpace Inc., Charleston, NC, USA.

Collan M and Luukka P, (2016) Strategic R & D Project Analysis: Keeping it Simple and Smart. In Fuzzy Technology. Collan M, Kacprzyk J, and Fedrizzi M (ed.), Vol. 335, pp. 169-91. Springer International Publishing, Heidelberg.

Collan M, Fullér R, and Mézei J (2009) Fuzzy pay-off method for real option valuation. Journal of Applied Mathematics and Decision Systems 2009,

Fabb, K., The Fourth Industrial Revolution: what it means, how to respond, World Economic Forum, Available <https://www.weforum.org/agenda/2016/01/the-fourth-industrial-revolution-what-it-means-and-how-to-respond/>

Frey CB and Osborne M (2013), The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs to Computerisation? University of Oxford. OMS Working Paper. Available at: http://www.futuretech.ox.ac.uk/sites/futuretech.ox.ac.uk/files/The_Future_of_Employment_OMS_Working_Paper_0.pdf (accessed 20 June 2016).

Hamid et al., https://www.researchgate.net/profile/Hamid_Roozbahani/publication/318859008_Developing_a_Mobile_Assembly_Robot_for_Hazardous_Environments_with_CompactRIO_and_ROS_-_A_case_study/links/5981ddada6fdcc3abd123697/Developing-a-Mobile-Assembly-Robot-for-Hazardous-Environments-with-CompactRIO-and-ROS-A-case-study.pdf

Haukioja, J., Kaivo-oja, J., Karppinen, A. & Vähäsantanen, S. (2018) Smart specialization indicators: Firm dynamics, productivity and employment of regions – The case of Finland. 10th International Scientific Conference “Business and Management 2018”, May 3–4, 2018, Vilnius, Lithuania. 10 p.

Heikkinen, J., Handroos, H., Haptic Controller for Mobile Machine Teleoperation, International Review of Automatic Control, Theory and Applications, (IREACO) 6 (3) , pp. 228-235, 2013

Jiang R, Kleer R, and Piller FT, (2017) Predicting the future of additive manufacturing: A Delphi study on economic and societal implications of 3D printing for 2030. *Technological Forecasting and Social Change* 117

Johan Torsner et al, *Industrial remote operation: 5G rises to the challenge*, 2015, Available: <https://www.ericsson.com/en/ericsson-technology-review/archive/2015/industrial-remote-operation-5g-rises-to-the-challenge>

Kaivo-oja, J. (2017) *Global Value Producing Networks and the Theories of Innovation Management*. A Special Work Report for the European Commission. Radical Innovation Breakthrough Inquirer (RIBRI). European Commission. Working paper. Finland Futures Research Centre. Turku School of Economics, University of Turku, 36 p.

Kaivo-oja, J., Knudsen, M.S. & Lauraéus, T. (2018) Reimagining Finland as a manufacturing base: The nearshoring potential of Finland in an Industry 4.0 perspective. 10th International Scientific Conference "Business and Management 2018", May 3–4, 2018, Vilnius, Lithuania. 10 p.

Kaivo-oja, J., Roth, S. & Westerlund, L. (2017) Futures of robotics. Human work in digital transformation. *International Journal of Technology Management*. 73(4), pp. 176–205.
Kaivo-oja, J. & Lauraeus, T. (2018) The VUCA approach as a solution concept to corporate foresight challenges and global technological disruption", *Foresight*, Vol. 20 Issue: 1, pp. 27-49, <https://doi.org/10.1108/FS-06-2017-0022>

Kaivo-oja, J., Vähäsantanen, S., Karppinen, A. & Haukioja, T. (2017) Smart specialization strategy and its operationalization in the regional policy: Case Finland. *Business, Management and Education*, Vol 15, No 1 (2017),
Web: <http://bme.vgtu.lt/index.php/bme/article/view/362>

Kelnar, David, *The fourth industrial revolution: a primer on Artificial Intelligence (AI)*, Available: <https://medium.com/mmc-writes/the-fourth-industrial-revolution-a-primer-on-artificial-intelligence-ai-ff5e7ffcae1>

Kuusi, O., Kaivo-oja, J. & Parkkinen, M. (2017) *Global Value Producing Networks (GVNS) for the RIBRI Project*. Interim Report. Finland Futures Research Centre, University of Turku, Finland. 17.11.2017. 64 p.

Laplume AO, Petersen B, and Pearce JM, (2016) Global value chains from a 3D printing perspective. *Journal of International Business Studies* 47, 595-609.

Lauraeus, T. & Kaivo-oja, J. (2017) A new transparent way to perform competition, market structure and IPR portfolio analyses: Analysis of the dynamics of trademark competition in Finland as a case example. *Journal of Business Management and Economics*, Vol. 5, No 12, pp. 8-23. pp. DOI: <http://dx.doi.org/10.15520/jbme.2017.vol5.iss12.276.pp08-23> Available in the Web of the JBME: http://innovativejournal.in/jbme/index.php/jbme/article/view/276/pdf_152

Malin A, Sulkunen, S., Laine, K. (2013) PIAAC 2012. Kansainvälisen aikuistutkimuksen ensituloksia. In *Opetus ja kulttuuriministeriön julkaisuja*. (ed.), Vol. pp. Opetus ja Kulttuuriministeriö, Helsinki.

Mathews S, Datar V, and Johnson B, (2007) A Practical Method for Valuing Real Options: The Boeing Approach. *Journal of Applied Corporate Finance* 19, 95-104. OECD (2016) Skills Matter - Further Results from the Survey of Adult Skills. In (ed.), Vol. pp. OECD, Paris.

Mostafaei A, Kimes K, Stevens E, Toman J, Krimer Y, Ullakko K, Chmielus M, *Acta Mater.* 131 (2017) 482-490

Ross, A. (2016), *The Industries of the Future*. Simon & Schuster. New York.

Roth, S., Melkonyan, A., Kaivo-oja, J., Manke, B. and Dana, L-P. (2018a) Interfunctional business models. Map grid for an uncharted quadrant of the Blue Ocean. *International Journal of Entrepreneurial Venturing*, Accepted in 2016, DOI: 10.1504/IJEV.2017.10006709.

Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=2896832>

Roth, S., Leydesdorff, L. & Kaivo-oja, J. (2018b) Open coopetition: A research update. In review process. 28 p.

Santonen, T., Kaivo-oja, J. & Suomala, J. (2014) The Next steps in developing the Triple Helix Model: A brief introduction to National Open In-novation System (NOIS) paradigm. *Journal of Systemics, Cybernetics, and Informatics*, Vol. 12, Number 7, pp. 74-82.

Schwab, K. (2014) *The Fourth Industrial Revolution*. World Economic Forum. Crown Business. New York.

Savolainen J, Collan M, and Luukka P, (2016) Analyzing operational real options in metal mining investments with a system dynamic model. *The Engineering Economist* 62, 54-72.

Trigeorgis L, (1996) *In Real Options. Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation*. Vol. pp. MIT Press, Boston, Mass., U.S.

Tynjälä P, (2008) Perspectives into learning at the workplace. *Educational Research Review* 3, 130-54.

Ullakko K et al., Proc. of Int. Conf. FSMA 2016, Sendai, Japan, Sept 2016

Ullakko K, et al., *Appl. Phys. Lett.* 69 (1996) 1966.

Vettenranta J, Välijärvi, J., Ahonen, A., Hautamäki, J., Hiltunen, J., Leino, K., Lähteinen, S., Nissinen, K., Nissinen, V., Puhakka, E., Rautopuro, J., Vainikainen, M-P. (2016) PISA 15 : ensituloksia. Huipulla pudotuksesta huolimatta. In (ed.), Vol. pp. Opetus ja Kulttuuriministeriö, Helsinki.

Weller C, Kleer R, and Piller FT (2015) Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited. *International Journal of Production Economics* 164, 43-56.

Zheng, P., Wang, H., Sang, Z., Zhong, R.Y., Liu, Y., Liu, C., Mubarok, K., Yu, S., Xu, X. (2018). Smart manufacturing systems for Industry 4.0: Conceptual framework, scenarios and future perspectives. *Frontiers of Mechanical Engineering*.

Web: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11465-018-0499-5>