

Teollinen 3D-tulostus muuttaa tuotteen arvoa ja koko toimitusketjua

Tuotantoyritykset saattavat hyötyä 3D-tulostuksesta (ts. materiaalia lisäävästä valmistuksesta tai digitaalisesta valmistuksesta) ainutkertaisina tuoteominaisuuksina, monimutkaisuutta sallivina tuoterakenteina ja valmistusnopeutena. Hyödyt eivät kuitenkaan toteudu vanhoissa toimitusketjuissa, sillä 3D-tulostus edellyttää erikoistunutta suunnittelu- ja valmistusosaamista, jota vanhoilla tutuilla alihankkijoilla ei välttämättä ole.

Aikaisemmassa tutkimuksessamme havaitsimme, että 3D-tulostuksen käyttöönottoa hidastavia syitä ovat oikeanlaisten sovelluskohteiden löytäminen (Martinsuo & Luomaranta, 2018) sekä toimitusketjuihin kohdistuvat muutostarpeet (Luomaranta & Martinsuo, 2020). Näiden lisäksi tutkimuksemme paljasti, että teolliseen 3D-tulostukseen päätyminen valmistusteknisenä ratkaisuna lähtee liikkeelle uudenlaisen asiakastarpeen tai arvon tunnistamisen kautta (Sobota et al., 2021). Olemme Tampereen yliopiston tuotantotalouden yksikössä jatkaneet materiaalia lisäävän valmistuksen eli teollisen 3D-tulostuksen hyödyntämisen tutkimusta. Tässä artikkelissa syvennymme metallien 3D-tulostuksen tarjoamaan arvoon, kun tuotantoyritys valitsee ja suunnittelee uudelleen tuotteita (ts. tuoteosia, komponentteja, varaosia)

3D-tulostettavaksi, sekä 3D-tulostukseen siirtymisen edellyttämiin muutoksiin toimitusketjuissa.

Arvoa tuotteille 3D-tulostuksella

Tarkastelimme kotimaisia innovaatioprojekteja, joiden aikana kohdeyritykset olivat päätyneet teolliseen 3D-tulostukseen metallisen tuotteen (komponentin tai varaosan) valmistuksessa. Yritykset itse eivät hyödyntäneet 3D-tulostusta, vaan tarvitsivat innovaatioprojekteissa ja tuotteiden valmistuksessa ulkopuolisia kumppaneita. Halusimme ymmärtää, miksi ja miten uusi valmistusteknologia päätyi käyttöön juuri tarkastelun kohteena olevissa tuotteissa.

Tutkimme kolmea innovaatioprojektia, joissa kaikissa oli olemassa oleva tuote ja sille toimitusketju, mutta tuoteominaisuuksissa oli kehitystar-

peita ja toimitusketjut eivät olleet optimaalisia tai tulisivat tulevaisuudessa häviämään. Esimerkiksi elinkaareltaan pitkäkestoiseen tuotantolaitteeseen tai liikkuvaan koneeseen tarvitaan varaosia vielä vuosikymmeniä laitteen valmistamisen jälkeen, mutta vuosien varrella itse laitevalmistaja saattaa olla poistunut markkinoilta, varaosavalmistajat saattavat vaihtua, ja alkuperäisiä varaosapiirustuksia ei ole enää saatavilla tai niissä on havaittu puutteita. Laitteen omistaja tarvitsee silti juuri oikean varaosan suhteellisen nopeasti, jotta laitteen toiminta ja sillä tehtävä tuotanto ei häiriinny. Varaosatarve vaihtelee, ja kiireellinen tarve nousee esille usein yllättäen. Voikin olla, että vanha tuttu varaosien alihankintaketju ei ole enää käytettävissä tai se on tulossa liian kalliiksi.

Tutkimuksemme kohdeyritykset olivat juuri

tällaisessa tilanteessa kahdella eri toimialalla. Huolen kohteena olivat komponentti ja varaosat, joiden perinteisin menetelmin valmistamisessa oli havaittu haasteita tuotteen ominaisuuksissa, laadussa ja saatavuudessa. Yritykset lähtivät tuoteinnovaatioprojektiin yhdessä teolliseen suunnitteluun erikoistuneen yrityksen ja teollisen 3D-tulostuksen sopimusvalmistajan kanssa. Kaikissa tarkastelun kohteena olleissa projekteissa tuote suunniteltiin uudelleen 3D-tulostettavaksi ja sen myötä kyettiin tuottamaan uutta arvoa esimerkiksi tuotteen parempana valmistettavuutena ja laatuna, kokoonpanon tehokkuutena, parempana saatavuutena ja eräkokoan nähden kohtuullisina valmistuskustannuksina. Taulukko 1 nostaa esille, millä perusteella uutta arvoa saatiin aikaan tarkastelun kohteena olevissa tuotteissa.

Taulukko 1. Eroja perinteisesti valmistettujen ja 3D-tulostettujen osien ominaisuuksien välillä ja arvon osatekijöitä 3D-tulostetuissa tuotteissa.

Projekti 1	Vanha komponentti	3D-tulostettu komponentti
	<ul style="list-style-type: none"> • Haastava valmistaa 	<ul style="list-style-type: none"> • Helposti valmistettavissa, 30 % halvemmalla kuin vanha komponentti
	<ul style="list-style-type: none"> • Matala toiminnallisuus prosessissa, aiheutti prosessiin pullonkaulan 	<ul style="list-style-type: none"> • 25 % tehokkaampi komponentti prosessissa
	<ul style="list-style-type: none"> • Kokoonpanossa komponentti jouduttiin sovittamaan yksitellen 	<ul style="list-style-type: none"> • Kiinnityslaipat saatiin vakioitua • Valmistus kolmessa osassa
	<ul style="list-style-type: none"> • Yhden komponentin valmistamiseen vaadittiin 14 yksittäin valmistettavaa osasta 	<ul style="list-style-type: none"> • Ratkaisu helposti skaalattavissa muihin saman tyypin komponentteihin
Projekti 2	Vanha varaosa	3D-tulostettu varaosa
	<ul style="list-style-type: none"> • Huonolaatuinen (hajoi) 	<ul style="list-style-type: none"> • Korkealaatuinen
	<ul style="list-style-type: none"> • Vanha toimitusketju ei enää käytössä, mutta olisi mahdollista järjestää uusi toimitusketju 	<ul style="list-style-type: none"> • Yksikkökustannus sama kuin vanhassa osassa huomioiden pienentynyt erä koko ja varastointikustannukset
Projekti 3	Vanha osa	3D-tulostettu varaosa
	<ul style="list-style-type: none"> • Varaosaa ei enää saatavilla, eikä olemassa olevia piirustuksia 	<ul style="list-style-type: none"> • Taataan varaosan saatavuus tulevaisuudessa
	<ul style="list-style-type: none"> • Ei olemassa olevaa toimitusketjua, eikä mahdollisuutta helposti järjestää uutta 	<ul style="list-style-type: none"> • Uusi toimitusketju helpommin järjestettävissä
	<ul style="list-style-type: none"> • Vaikea valmistaa hyvälaatuisena ja vaatii paljon manuaalista koneistamista sekä hitsaamista, tulisi hintavaksi 	<ul style="list-style-type: none"> • Laatu ja toimitusaika hyvä • Hinnaltaan kohtuullinen huomioituna varaosan tärkeys

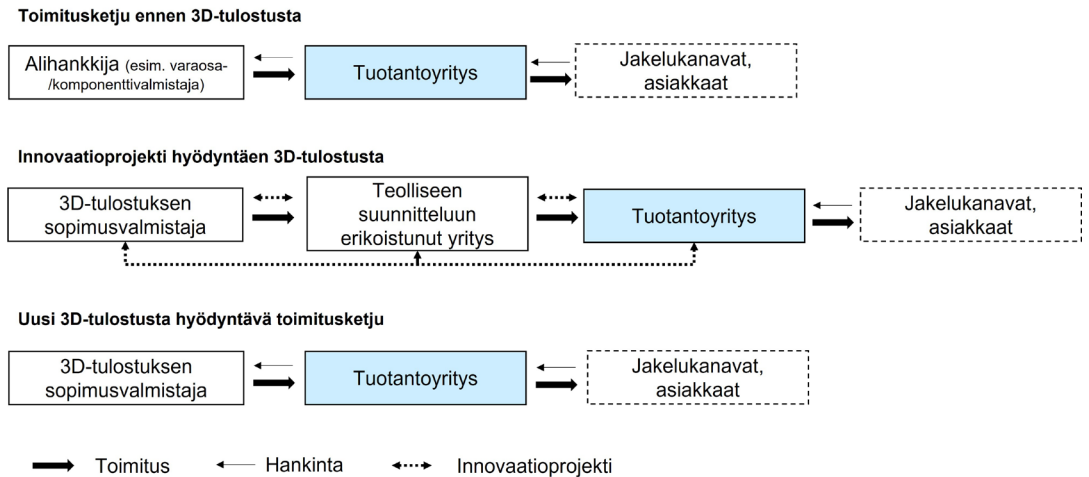
Kahdessa tutkimistamme innovaatioprojekteista (projektit 2 ja 3) kohdeyritys ei itse valmistanut tarkastelun kohteena olevia varaosia, vaan se hankki ko. tuotteet toisilta yrityksiltä. Kuitenkin tuotteiden saatavuus ja toimitusnopeus olivat kohdeyrityksen omalle liiketoiminnalle sangen kriittistä: jos ydintuotanto keskeytyy komponenttipuutteista tai kuluviin osien rikkoutumisesta johtuen, asiakasliiketoiminta kärsii. Yhdessä innovaatioprojektissa (projekti 1) tuotantoyritys valmisti komponenttia alun perin itse, joten 3D-tulostukseen siirtyminen johti uuden toimitusketjun järjestämiseen. Näin ollen kaikissa innovaatioprojekteissa jouduttiin tuotteen lisäksi harkitsemaan, millaisella toimitusketjulla 3D-tulostetut tuotteet saadaan jatkossa yrityksen käyttöön.

Uuden tuotantotavan edellyttämät toimitusketjumuutokset

Keskeinen haaste tarkastelun kohteena olleissa tuotteissa liittyi niiden saatavuuteen. Kahdessa innovaatioprojektissa perinteisellä valmistus-

teknologialla valmistetuille varaosille ei löytynyt enää alihankkijoita eikä sellaisia tuoterakennepiirustuksia, joilla uusia alihankkijoita olisi löydetty kohtuullisella vaivalla. Kaikissa tuotteissa toimitusnopeus oli kohdeyrityksien kannalta oleellinen, ja myös tuotteen hintaan (suhteessa pieniin volyymeihin) oli tarvetta kiinnittää huomiota.

Saatavuuteen liittyi myös tuotteiden geometriasta johtuva suhteellisen vaikea valmistettavuus, joka osaltaan kannusti 3D-tulostukseen siirtymiseen. Kun tuotteet suunniteltiin 3D-tulostukselle, kohdeyritykset hyötyivät innovaatioprojekteissaan siitä, että 3D-tuotteiden suunnittelua toteutavalla yrityksellä oli aiempaa suunnitteluosaa mistä 3D-tulostusmenetelmälle sekä kontakteja 3D-tulostukseen keskittyviin sopimusvalmistajiin. Yksinkertaistaen tuoteinnovaatioprojekteissa tapahtui kuvan 1 mukaisia muutoksia toimitusketjuihin. Keskeistä muutoksissa oli oppiminen, joka organisaatioiden sisällä ja niiden välillä tapahtui innovaatioprojektin edetessä.



Kuva 1. Esimerkki toimitusketjumuutoksesta, kun kohdeyritys siirtyy 3D-tulostukseen.

Yksinkertaistetun kuvan vasemmalla puolella olisi vielä raaka-aineiden toimitusketjut, ja innovaatioprojektin aikaiseen ja sen jälkeiseen toimitusketjuun liittyy muita mahdollisia yhteistyökuvioita muiden palveluntarjoajien kanssa. Myös 3D-tulostuksen raaka-aineiden valmistajat ja toimitusketjut poikkeavat aikaisemmista valmistajista ja toimitusketjuista, ja 3D-suunnittelun edellyttämät ohjelmistot ja yritysten välinen tiedonsiirto voi vaatia kehitystä.

Luottamus uuteen valmistusteknologiaan innovaatioprojektin aikana

Vaikka tuotantoyritykset itse laittoivat liikkeelle tuotteiden uudelleensuunnittelun innovaatioprojektissa, uuteen valmistusteknologiaan ei lähtökohtaisesti luotettu, vaan luottamus jalostui ja saavutettiin innovaatioprojektien edetessä. Innovaatioprojektien alkuvaiheessa tuotantoyritykset toteuttivat arvolähtöistä suunnittelua 3D-tulostukseen sopivaksi tunnistetuille komponenteille yhdessä uusien toimitusketjukomponenttien kanssa. Uudelleen suunnittelun ja uuteen tuotantoprosessiin vaihtamisen jälkeen valmistettiin useita demo-osia ja pilottituotteita, jotka testattiin laajasti. Esimerkiksi vetolujuudet testattiin, murtumat ja mikromurtumat tutkittiin, demokappaleita hiottiin kulmahiomakoneella, tuotteisiin tehtiin koehitsaukset, ja kaikki nämä altistettiin myös ääriolosuhteille. Testitulokset vastasivat materiaalille ja prosessille ennakolta annettuja vaatimuksia, herättivät luottamuksen valmistusteknologiaa ja -prosesseja kohtaan sekä otettiin tuotantoyrityksissä vastaan tyytyväisyydellä. Yhdessä projektissa testausta suoritettiin myös käyttöolosuhteissa: uusi varaosa maalattiin huomiovärillä ja sen käyttöä seurattiin tarkasti seurantajakson ajan, jotta saatiin varmistettua varaosien laatu ja toimivuus.

Nämä esimerkit kertovat siitä, kuinka uusi valmistusteknologia vaati kriittisyyttä ja hieman tavanomaista laajempaa testausta tuotantoyrityksissä, ennen kuin siirtymisestä 3D-tulostettuihin komponentteihin ja varaosiin voitiin päättää. Testaamisen ja pilotoinnin aikana syntyi ja vahvistui luottamus uusiin, ulkopuolisiin kumppaneihin, joiden osaamisella oli keskeinen asema 3D-tulostuksen käyttöönotossa. Laajan testauksen ja yhteiskehittämisen avulla kehittyi myös luottamus

uuteen valmistusteknologiaan ja sillä valmistettuihin metallisiin komponentteihin. Tuotantoyritysten kontaktihenkilöt arvioivat, että laajat testaukset ja jokaisen pienenkin epävarmuuden tarkistaminen edesauttaa teollisen 3D-tulostuksen käyttöönottoa yritysten sisällä laajemminkin tulevaisuudessa.

Päätelmät

Teollisen 3D-tulostuksen käyttöönotossa on tarpeen lähestyä tuotesuunnittelua lähtien materiaalia lisäävän valmistuksen tuomasta arvosta. Tuoteominaisuuksiin ja -rakenteisiin sekä saatavuuteen ja nopeuteen liittyvät hyödyt tekevät mahdolliseksi luoda kokonaan uusia tuotteita tai valikoida kehityskohteiksi olemassa olevia, uudelleen suunnitteluun sopivia tuotteita, jotka siten soveltuvat parhaiten uudelle valmistusteknologialle. Uusi teknologia vaatii yleensä toimitusketjujen uudelleen järjestelyä, koska valmistuskapasiteettia ja osaamista on toistaiseksi rajoitetusti tarjolla ja 3D-tulostusosaaminen saattaa löytyä kokonaan uusilta toimijoilta.

Teollista metallista 3D-tulostusta hyödyntävien innovaatioprojektien menestys voidaan selittää uusien sovelluskohteiden löytämisellä sekä arvolähtöisellä suunnittelulla. Suunnitteluyritysten tieto teollisen metallisen 3D-tulostuksen mahdollisuuksista voidaan yhdistää tuotanto- ja sopimusvalmistajayritysten tuotekohtaiseen ja toiminnalliseen tuntemukseen yhteistyössä toteutettavissa innovaatioprojekteissa. Tuotekehityksen nojaaminen vanhoihin valmistustekniikoihin sekä niiden suunnittelumahdollisuuksiin ja materiaalivalintoihin aiheuttavat haasteita 3D-tulostukselle suunnittelussa, mutta nämä haasteet voidaan useimmiten ratkaista arvolähtöisellä suunnittelulla soveltuviissa tilanteissa. Uusien tuotteiden kehitys- ja valmistusprosessi sekä uuden toimitusketjun perustaminen voivat siten olla varsin radikaaliltakin tuntuva ratkaisu. Olemassa olevien tuotteiden (komponenttien, varaosien) potentiaalinn tunnistaminen sekä uudelleensuunnittelu 3D-tulostettavaksi saattaa luoda hyvän mahdollisuuden pilotoida ja demonstroida uuden teknologian hyödynnettävyyttä ja arvoa konkreettisissa, rajatuissa puitteissa ja kerryttää 3D-osaamista vähitellen.

Tutkimuksemme rohkaisee yrityksiä koulut-

tautumaan teollisen 3D-tulostuksen lisäarvomahdollisuuksista. Hyötyjä, tuoteominaisuuksia ja -raken- teita sekä toimitusketjuja koskeva osaaminen auttaa tunnistamaan uudet potentiaaliset sovelluskohteet yrityksen hyödynnettäväksi. Tapausesimerkit havainnollistavat, että tällaisia innovaatioprojekteja voi- daan toteuttaa yhteistyöverkostoissa, joissa muiden yritysten tiedot ja taidot edistävät 3D-tulostettujen tuotteiden sovelluskohteiden tunnistamista ja arvolähtöistä suunnittelua sekä mahdollistavat uuden toimitusketjun käynnistämisen. ●



Toni Luomaranta



Miia Martinsuo

Toni Luomaranta on väitöskirjatutkija Tampereen yliopiston Projekti- ja palveluliiketoiminnan tutkimusryhmässä (CROPS). Hänen väitöskirjansa koskee innovaatioiden johtamista materiaalia lisäävän valmistuksen valmistusverkostoissa. Väitöskirjatyötä ovat tukeneet Tekniikan edistämissäätiö sekä Yrjö ja Senja Koivusen säätiö. Yhteystiedot: toni.luomaranta@tuni.fi

Miia Martinsuo on teollisuustalouden professori ja Projekti- ja palveluliiketoiminnan tutkimusryhmän (CROPS, <https://research.tuni.fi/crops>) johtaja Tampereen yliopistossa. Hänen tutkimus- ja opetusalaansa on teollinen projekti- ja palveluliiketoiminta. Hän on viime vuosina tutkimusryhmänsä kanssa tutkinut erityisesti valmistavien yritysten palvelullistumista, teollisia palveluoperaatioita ja -innovaatioita, projektimaisen toiminnan ohjausta ja organisoimista sekä tuotantoinnovaatioiden alkupäätä ja ohjausta. Yhteystiedot: miia.martinsuo@tuni.fi.

Kirjallisuutta

Luomaranta, T. and Martinsuo, M. (2020). Supply chain innovations for additive manufacturing. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 50(1), 54–79.

Luomaranta, T. & Martinsuo, M. (2019). Sidosryhmien osallistuminen teollisen 3D-tulostuksen innovaatiotoimintaan. *Stoori (Suomen Tuotannonohjausyhdistys ry:n jäsenlehti)*, (3), 39–43.

Martinsuo, M. (2018). 3D-tulostus: systeeminen innovaatio arvoverkostossa. *Stoori (Suomen Tuotannonohjausyhdistys ry:n jäsenlehti)*, (4), 44–47.

Martinsuo, M. and Luomaranta, T. (2018). Adopting additive manufacturing in SMEs: exploring the challenges and solutions. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29 (6), 937–957.

Sobota V.C.M., van de Kaa, G., Luomaranta, T., Martinsuo, M. and Roland Ortt, J.R. (2021). Factors for metal additive manufacturing technology selection. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(9), 26–47.