

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

Markku Lindqvist

LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TARPEEN KARTOITUS KAAKKOIS-SUOMESSA

Työn tarkastajat:

Professori Antti Salminen, TkT

Tutkija Heidi Piili, TkT

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT School of Energy Systems
LUT Kone

Markku Lindqvist

Lisäävän valmistuksen tarpeen kartoitus Kaakkois-Suomessa

Diplomityö

2016

85 sivua, 37 kuvaa, 5 taulukkoa, 4 liitettä

Tarkastajat: Professori Antti Salminen, TkT
Tutkija Heidi Piili, TkT

Hakusanat: Lisäävä valmistus, 3D-tulostus, Teolliset sovellukset, Tarpeet, Suomi

Lisäävä valmistus (additive manufacturing, AM) on nykyaikainen menetelmä teollisuuskäyttöön tarkoitettujen kappaleiden valmistukseen. Vaikka Suomessa on vahva tieto lisäävästä valmistuksesta ja tutkimusta tehdään aktiivisesti, on menetelmän käyttö teollisuudessa vielä vähäistä.

Tämän diplomityön tarkoituksena on kerätä tietoa kiinnostuksesta lisäävään valmistukseen Kaakkois-Suomen alueen yrityksiltä, jotka tekniikkaa voisivat hyödyntää. Työn tarkoituksena on myös tutkia vaatimuksia käyttöönotolle ja käyttökohteiden mahdollisuuksia Kaakkois-Suomen alueella.

Työn tuloksena voidaan todeta, että kaksi syytä, jotka hidastavat lisäävän valmistuksen käyttöönottoa teollisuudessa, ovat ennakkoluulot teknologiaa kohtaan sekä perustiedon puuttuminen. Median luoma 3D-innostus luo myös paljon väärinkäsityksiä. Kaikesta huolimatta Kaakkois-Suomen alueen paperiteollisuudesta lähtenyt korkeatasoinen teollisuus- ja konepajaosaaminen pystyy toimimaan perustana teknologian käyttöönotolle.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Energy Systems
LUT Mechanical Engineering

Markku Lindqvist

Benchmark Study of Industrial Needs for Additive Manufacturing in South-Eastern Finland

Master's Thesis

2016

85 pages, 37 figures, 5 tables, 4 appendices

Supervisors: Professor Antti Salminen, D.Sc (Tech.)
Researcher Heidi Piili, D.Sc (Tech.)

Keywords: Additive manufacturing, Industrial applications, Finland, benchmark study

Additive manufacturing (AM) is a modern way to produce parts for industrial use. Even though the technical knowledge and research of AM processes are strong in Finland, there are only few industrial applications.

Aim of this study is to collect practical knowledge of companies who are interested in industrial use of AM in South-Eastern Finland. Goal of this study is also to investigate demands and requirements of applications for industrial use of AM in this area of Finland.

It was concluded that two of the reasons prohibiting wider industrial use of AM in Finland are wrong expectations towards this technology as well as lack of basic knowledge of possibilities of the technology. Especially it was noticed that strong 3D-hype is even causing misunderstandings. Nevertheless, the high-level industrial know-how in the area, built around Finnish lumber industry is a strong foundation for the technology.

ALKUSANAT

Lappeenrannan teknillisen yliopiston kautta tuli alkukesästä 2015 houkutteleva tarjous lähteä Kotkaan Cursor Oy:n palvelukseen vetämään lisäävään valmistukseen liittyvää projektia 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä ja tekemään samasta aiheesta diplomityötä. Sen enempää miettimättä peruuntui Saksaan suuntautunut vaihtoreissu seuraavalta syksyltä ja kaveri sai lähteä matkaan yksin (sori siitä).

Hetkeäkään ei kuitenkaan ole kaduttanut, ja kiitän kovasti ohjaajaani professori Antti Salmista sekä Heidi Piiliä LUT Laserilta diplomityöhön liittyvästä kannustuksesta ja hyvästä ohjauksesta. Kiitän myös Kotkan-Haminan seudun kehittämissyhtiö Cursor Oy:tä. Molemmat yhdessä mahdollistivat tämän työn tekemisen ja oman alan osaamisen täysipäiväisen hyödyntämisen työelämässä.

Kiitos myös Lappeenrantalaisille opiskelijatovereilleni, parempaa opiskelupaikkaa ei olisi voinut pyytää. Erityiskiitos lisäksi Kotkan ihmisille, ilman perjantaipullia olisi voinut välillä käydä raskaaksi.

Viimeinen kiitos vanhemmilleni, jotka ovat jaksaneet katsella tätä menoa ja olla tukena ensimmäisestä koulupäivästä aina valmistumiseeni asti.

Kotkassa 11.4.2016

Markku Lindqvist

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ALKUSANAT

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO	8
1.1	Työn tausta.....	8
1.2	Tutkimusongelma	8
1.3	Tutkimuskysymykset	9
1.4	Rajaus.....	9
2	TUTKIMUSMENETELMÄT	11
3	SUOMENKIELINEN TERMISTÖ	12
4	LISÄÄVÄ VALMISTUS	13
4.1	Prosessit ja materiaalit	14
4.1.1	Jauhepetisulatus	14
4.1.2	Allasvalopolymerisaatio	16
4.1.3	Materiaalin pursotus	19
4.1.4	Materiaalin suihkutus.....	21
4.2	Lisäävän valmistuksen edut ja haitat	22
4.3	Virheet metallien lisäävässä valmistuksessa.....	29
4.4	Virheet polymeerien lisäävässä valmistuksessa	30
4.5	Lisäävän valmistuksen hyöty.....	31
5	LISÄÄVÄ VALMISTUS TEOLLISUUDESSA	33
5.1	Käyttöönotto ja sen vaatimukset.....	34
5.2	Vaikutus teollisuuteen.....	36
6	TEOLLISUUDEN TILANNEKATSAUS MAAILMALTA	43
7	TEOLLISUUDEN TILANNEKATSAUS SUOMESTA	50
8	KOKEELLISEN OSUUDEN TAUSTA	52
9	TAVOITE JA TARKOITUS	53

10 LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TARVE KAAKKOIS-SUOMESSA.....	54
10.1 Kysely ja sen toteuttaminen	54
10.2 Kohdeyritykset.....	55
10.3 Valintaperusteet ja ryhmittely.....	55
11 KYSELYN TULOKSET	57
11.1 Yritystyytit	57
11.2 Lisäävä valmistus yrityksissä.....	59
11.3 Lisäävän valmistuksen käyttöönotto ja koulutustarve	61
11.4 Tulostuksen käyttö yrityksissä.....	64
12 JOHTOPÄÄTÖKSET	68
12.1 Luotettavuus ja objektiivisuus	68
12.2 Keskeiset havainnot	68
12.3 Työn arvo ja vertailu olemassa olevaan tutkimukseen	71
13 KESKUSTELUA KYSELYN ULKOPUOLISISTA HAVAINNOISTA	72
14 JATKOTUTKIMUSAIHEET	74
LÄHTEET	76
LIITTEET	

LIITE I: Kyselypohja lisäävän valmistuksen tarpeen kartoitukseen

LIITE II: Lisäävän valmistuksen termistö, Hämäläinen 2013

LIITE III: 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä, hankekuvaus

LIITE IV: Standardin F2792-12a mukainen sanasto AM tekniikoista

LYHENNELUETTELO

CLIP	continuous liquid interface production
Co	koboltti
Cr	kromi
V	vanadiini
ABS	akryylnitriilibutadieenistyreeni
AM	additive manufacturing, lisäävä valmistus
CAD	computer aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu
FDM	fused deposition modeling, materiaalin pursotusmenetelmä
FFF	fused filament fabrication, materiaalin pursotusmenetelmä
PLA	polylaktidi
SL	stereolitography
SLM	selective laser melting, lasersulatus
SLS	selective laser sintering, lasersintraus
SWOT	strenghts, weaknesses, opportunities, threats

1 JOHDANTO

Lisäävä valmistus on viime vuosina ollut paljon esillä julkisuudessa, ja vaikuttaa siltä, että kaikki yrittävät keksiä jotain omaa ja uutta, jolla pystyisi varmistamaan paikkansa lisäävän valmistuksen markkinoilla. Suureen julkisuuteen vaikuttaa osaltaan pursotusmenetelmän (material extrusion) patenttien raukeaminen, mikä on mahdollistanut halvat, kuluttajamarkkinoille suunnatut laitteistot. Kuitenkin kaiken tämän julkisuuden alla teknologian suurin potentiaali on teollisessa valmistuksessa ja sen eri sovelluksissa. Vaikka lisäävä valmistus on ollut käytössä jo 1980-luvulta lähtien, viime aikoina kasvaneet valmistusalueen koot ja valmistusnopeudet ovat varmistaneet sille paikan teollisuudessa. Myös mahdollisuudet tuotteiden rakenteen keventämiseen ja asiakaslähtöiseen räätälöintiin ovat vaikuttaneet käytön yleistymiseen.

1.1 Työn tausta

Suomi on muuta maailmaa jäljessä lisäävän valmistuksen suhteen, ja meillä teollisuuteen soveltuvien laitteiden määrä on hyvin vähäinen (Piili & Salminen, 2013). Esimerkiksi Yhdysvalloissa ja Keski-Euroopassa teknologiaa käytetään erilaisessa teollisessa valmistuksessa, kuten lentokone-, auto-, avaruus-, ja lääketeollisuudessa. Tämän diplomityön tarkoitus on tutkia Kaakkois-Suomen yritysten näkökulmaa lisäävään valmistukseen ja kartoittaa sen tarvetta. Tämä työ tehdään osana EU:n rahoittamaa 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hanketta, jossa on mukana Cursor Oy, Lappeenrannan teknillinen yliopisto, Aalto-yliopisto, Kymenlaakson ammattikorkeakoulu sekä alueen teollisia kumppaneita. Hanke alkoi 1.6.2015 ja päättyy 31.12.2016. Hankkeen tarkoituksena on myös pyrkiä luomaan lisäävää valmistusta harjoittavaa toimintaa alueelle ja kasvattamaan yritysten tietoa sen mahdollisuuksista sekä hankaluuksista. Kartoituksen ohessa myös tuetaan yrityksiä lisäävän valmistuksen käyttöönotossa.

1.2 Tutkimusongelma

Lisäävä valmistus on menetelmä, jolla voidaan valmistaa esimerkiksi valmiita, ominaisuuksiltaan perinteisillä menetelmillä valmistettuja vastaavia koneenosia teollisuuteen. Sen luomat mahdollisuudet monimutkaisissa yksittäiskappaleissa ja pienerätuotannossa ovat suuret. Suomen teollisuudella on oiva tilaisuus tarttua tähän

mahdollisuuteen ja kasvattaa näin kilpailukykyä. Suomessa on kuitenkin suuri tarve kartoittaa tekniikan käyttöönoton mahdollisuutta sekä löytää sovelluskohteita missä lisäävillä tekniikoilla saadaan suurin hyöty. Kartoituksen avulla voidaan edistää Suomalaisen teollisuuden kehitystä.

1.3 Tutkimuskysymykset

Tällä työllä vastataan kysymyksiin:

- Mikä on lisäävän valmistuksen tarve Kaakkois-Suomen teollisuudessa?
- Mikä on yritysten tietoisuus lisäävistä valmistusmenetelmistä?
- Mikä on yritysten näkökulma lisääviin valmistusmenetelmiin?
- Mitä tarvitaan, jotta lisäävä valmistus voidaan ottaa käyttöön nykyisten valmistusmenetelmien rinnalle?
- Onko kannattavaa ottaa lisäävä valmistus käyttöön muun valmistuksen rinnalle?
- Mikä teollisuuden ala Kaakkois-Suomessa voi hyötyä menetelmästä ja millä tavalla?
- Onko Kaakkois-Suomen yrityksillä joitain erityistarpeita, jotka liittyvät lisäävään valmistukseen? Jos on, millaisia?

1.4 Rajaus

Tämän diplomityön kirjallisuusosuus koostuu lisäävien prosessien ja laitteistojen esittelystä sekä katsauksesta teolliseen aineeseen lisäävään valmistukseen maailmalla ja Suomessa. Kirjallisuusosuuden tarkoituksena on auttaa lukijaa ymmärtämään tarkasteltavien menetelmien periaatteet tarkemmin ja auttaa ymmärtämään työn tutkimusosuutta. Kirjallisuusosuuden tarkoituksena on antaa myös kuva siitä, millä tasolla lisäävä valmistus tekniikkana teollisuudessa on ja minkälaisena menetelmänä se nähdään tulevaisuudessa.

Diplomityön tutkimusosuus keskittyy Kaakkois-Suomen yrityksiin ja niiden mahdollisuuksiin teollisen mittakaavan lisäävässä valmistuksessa. Tutkimuksen lähtökohtana on tarkastella yritysten omia näkökulmia lisäävään valmistukseen ja sen käyttöön. Tässä työssä kartoitetaan myös kuinka laajalti lisäävää valmistusta on käytössä tai miten sitä on kokeiltu alueen yrityksissä. Työn tutkimusosuuden aikana tarjotaan yrityksille myös mahdollisuus tarkempaan kartoitukseen lisäävien menetelmien käytöstä

yrittäjäkohtaisesti. Työssä tutkitaan teollisuuden kannalta merkittäviksi koettavia moderneja lisääviä valmistustekniikoita. Nämä menetelmät ovat jauhepetiteknikka, materiaalin pursotusmenetelmät, allasvalopolymerisaatio ja materiaalin suihkutuskäsittely. Nämä menetelmät valittiin, koska niiden mahdollisuuksia teollisuudessa haluttiin 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hankkeessa tarkastella. Näitä menetelmiä käyttävät laitteistot löytyvät myös hankkeen toteuttajien verkostosta, jolloin niiden kokeilu hankkeessa on myös mahdollista.

2 TUTKIMUSMENETELMÄT

Tämä diplomityö koostuu kirjallisesta osasta ja kokeellisesta osasta. Työn kirjallisuustutkimusta tehdään käyttämällä mahdollisimman paljon tieteellisiä artikkeleita luotettavista ja tieteellisistä lähteistä kuten Scopus, Science Direct ja Google Scholar. Luotettavien ja tuoreiden lähteiden käyttö on tarpeellista, koska lisäävä valmistus muuttuu ja kehittyi tekniikkana koko ajan hyvin nopeasti. Jotta työn kirjallisessa osassa käytettävä tieto voidaan luokitella luotettavaksi, pyritään käyttämään mahdollisimman uusia lähteitä, pääosin yleistiedolle alle 10 vuoden ikäisiä ja tarkemmalle tiedolle alle 5 vuoden ikäisiä. Koska menetelmän periaatteet eivät kuitenkaan ole muuttuneet, voidaan yleisemmässä tiedossa käyttää vanhempaa, kuitenkin enintään 10 vuotta vanhaa tietoa. Yli 10 vuotta vanhojen lähteiden tiedon oikeellisuus tarkastetaan tutkimalla uudempia, samaa tietoa sisältäviä lähteitä. Tarkempaa tutkimustietoa prosessista ja uusista sovelluksista tehdään koko ajan, joten jotta pysytään ajan tasalla, yksityiskohtaisen tiedon lähteinä ei tulla käyttämään yli viisi vuotta vanhoja tutkimuksia. Diplomityön kokeellinen osa suoritetaan kartoituskyselynä Kaakkois-Suomen alueen teollisille yrityksille. Kysely tehdään sähköpostin välityksellä webropol-kyselynä. Kyselyssä tutkitaan yleisellä tasolla yritysten näkemyksiä ja kokemuksia lisäävästä valmistuksesta.

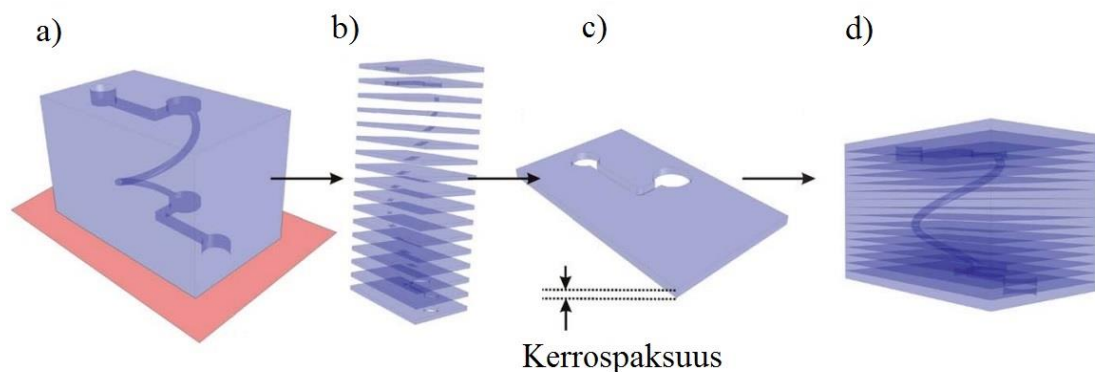
3 SUOMENKIELINEN TERMISTÖ

Koska lisäävä valmistus on uusi tekniikka, ei sille ole vielä vakiintunut suomenkielistä termistöä. Tutkimus termistön osalta on erittäin suppeaa, vaikka suomen kielessä käytettävien termien, muun muassa eri menetelmistä, vakiinnuttaminen olisi erittäin tärkeää. Tässä työssä on käytetty Kati Lehtisen (2014) alan asiantuntijoille luomaa sanastoa hänen pro gradu -tutkielmastaan ”Materiaalia lisäävä valmistus vai 3D-tulostus. Muuttuva termistö”. Lehtisen työn termistö on koottu vertailevalla tutkimuksella sanastotyön ja termihistorian näkökulmasta. Koska tämä työ tehdään suomeksi, pyritään sillä myös osaltaan vaikuttamaan yhtenäisen termistön vakiintumiseen. Vaikka suomenkielistä termistöä esiintyy muissa tutkimuksissa, Lehtisen termistön hyödyntämiseen tässä työssä päädyttiin, koska se oli ainoa pelkästään termistöön, sen selvittämiseen ja luomiseen liittyvä tutkimus. Diplomityön liitteenä (liite II) on Kati Lehtisen työstä lainattu lisäävän valmistuksen terminologian englanti-suomi -sanasto. Yhdessä Kati Lehtisen työn kanssa tässä diplomityössä on sovellettu myös standardin ASTM F2792-12a (2012) mukaista lisäävän valmistuksen prosessisanastoa (liite III) sekä Lappeenrannan teknillisen yliopiston sanastoon liittyvää ohjeistusta.

4 LISÄÄVÄ VALMISTUS

Lisävä valmistus mahdollistaa monimutkaisia ja joissain tapauksissa perinteisillä valmistusmenetelmillä mahdottomia muotoja sisältävän kappaleen valmistuksen kerros kerrokselta. Muutaman viime vuosikymmenen aikana, 1990-luvulta lähtien, menetelmä on kehittynyt niin, että sillä voidaan valmistaa esimerkiksi metallikappaleita suoraan käyttöön. (Thompson et al., 2015a, s. 163.) Menetelmän käyttö on myös lisääntynyt ja esimerkiksi saksalainen laitevalmistaja SLM Solutions on ilmoittanut laitteiden tilausmäärän kasvaneen vuodesta 2014 vuoteen 2015 112 % (SLM Solutions, 2015, s. 89).

Lisävässä valmistuksessa kappale valmistuu, kun materiaalia rakennetaan kerros kerrokselta (kuva 1). Koska materiaalia tarvitsee rakentaa vain sinne missä sitä tarvitaan, säästää menetelmä materiaalia ja tekee valmiista kappaleista kevyempiä kuin perinteisillä menetelmillä valmistetut. Tämä vaatii kuitenkin, että kappaleen suunnittelu toteutetaan menetelmä huomioon ottaen. (Buchbinder et al., 2011, s. 271.) Kerroksen paksuus vaikuttaa kappaleen lopulliseen tarkkuuteen. Koska kerroksen reuna rakentuu aina pystysuoraan, syntyy kappaleen kaareviin reunoihin portaita. Koska kerroksen paksuus vaikuttaa portaiden korkeuteen, kerroksien ohentuessa kappaleen tarkkuus kasvaa. Kerrospaksuus vaikuttaa myös siihen, kuinka paljon mahdollista jälkikäsittelyä kappale vaatii ja kuinka kauan sen valmistamiseen menee. (Gibson, Rosen & Stucker, 2010, s. 1–2, 8–9.)



Kuva 1. Lisäävän valmistuksen periaate: a) luodaan kappaleesta 3D-tietokonemalli, b) jaetaan kappale kerrospaksuutta vastaaviin kerroksiin, c) valmistetaan aina yksi kerros

kerrallaan, d) tuloksena valmis, kerroksista koostuva kappale (mukailten Waldbaur et al., 2011, s. 2699).

4.1 Prosessit ja materiaalit

Lisäävät valmistustekniikat voidaan jakaa seitsemään eri kategoriaan. Näitä ovat standardin ASTM F2792-12a (2012) mukaan:

1. Sideaineen suihkutus (engl. binder jetting)
2. Kohdennettu sulatus (engl. directed energy deposition)
3. Materiaalin pursotus (engl. material extrusion)
4. Materiaalin suihkutus (engl. material jetting)
5. Jauhepetisulatus (engl. powder bed fusion)
6. Arkkilaminointi (engl. sheet lamination)
7. Valokovetus altaassa (engl. vat photopolymerization)

Nämä seitsemän tekniikkaa voidaan usein jaotella vielä useampaan alakategoriaan. Tässä kappaleessa esitellään hankkeen toteutuksen kannalta tarpeelliseksi nähtyjä, tarkemmin tarkasteltavaksi valittuja menetelmiä. Menetelmät valittiin, koska kyseisiä laitteistoja löytyy EU-rahoituksella toteutettavan 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hankkeen osatoteuttajilta, Lappeenrannan teknilliseltä yliopistolta, Aalto-yliopistolta sekä Kymenlaakson ammattikorkeakoululta. Nämä menetelmät ovat:

1. Jauhepetisulatus
2. Valokovetus altaassa
3. Materiaalin pursotus
4. Materiaalin suihkutus

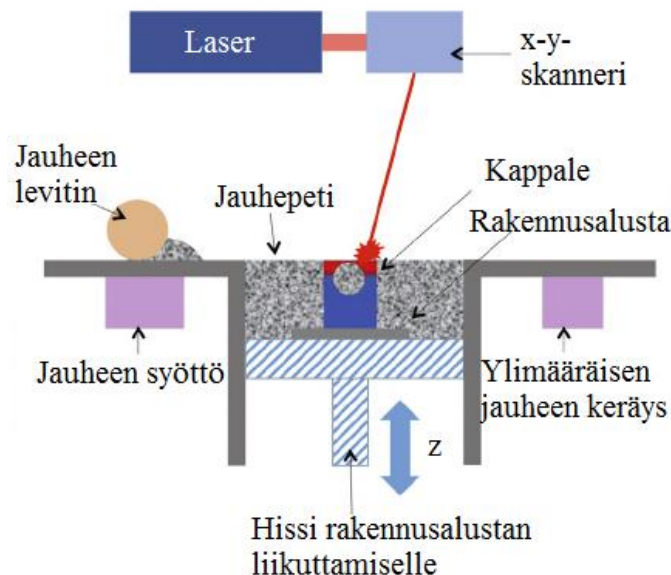
Prosessit ja laitteiston toimintaperiaatteet käsitellään lyhyesti ja niille soveltuvia materiaaleja esitellään. Menetelmien edut ja haitat tuodaan myös esiin.

4.1.1 Jauhepetisulatus

Jauhepetiprosesseista ensimmäinen oli jauheen sintraukseen perustuva menetelmä (engl. selective laser sintering, SLS). Tätä käytettiin aluksi prototyypin valmistukseen polymeerijauheesta. Nykyisin jauhepetimenetelmiä on myös esimerkiksi sulatus (engl.

selective laser melting, SLM) ja niillä voidaan valmistaa kappaleita myös muun muassa metalleista, keraameista ja komposiiteista. (Gibson et al., 2010, s. 103.)

Jauhepetiprosesseilla on mahdollista valmistaa metallista ja muovista materiaaliominaisuuksiltaan perinteisillä menetelmillä valmistettuja tuotteita vastaavia kappaleita. Menetelmässä suuren tehotiheyden omaavaa laser- tai elektronisädettä ohjataan alustalla olevan ohuen, tyypillisesti alle 0,02 mm paksuisen jauhekerroksen päällä. Säde yhdistää jauhepartikkelit yhteen. Yleensä yhdistyminen tapahtuu joko sulamalla tai sintrautumalla. Sulatuksessa jauhepartikkelit sulavat kokonaan ja yhdistyvät, sintrauksessa jauheen lämpötila pysyy alle sulamislämpötilan. Kun yksittäinen kerros on valmis, rakennusalusta laskeutuu kerrospaksuuden verran ja sen päälle levitetään uusi kerros jauhetta. Tämän jälkeen sulatetaan uusi kerros ja prosessi toistuu niin kauan kunnes kappale on valmis. Jauhepetiprosesseissa liittämismekanismi on periaatteeltaan mikrotasoista hitsausprosessia vastaava. (Berumen et al., 2010, s. 617–618; Gibson et al., 2010, s. 103–106; Foroozmehr et al., 2016, s. 255–256.) Jauhepetiprosessilaitteiston toimintaperiaate on esitetty kuvassa 2.

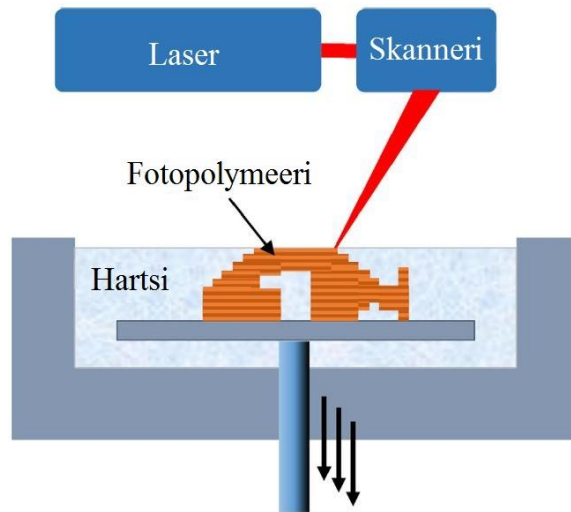


Kuva 2. Jauhepetiprosessilaitteisto ja sen toiminnalle tärkeimmät osat. Uuden jauhekerroksen levitys voi tapahtua eri tavoin laitevalmistajasta riippuen, yleensä rullalla tai kaapalla. (Mukaiillen Thompson et al., 2015b, s. 39.)

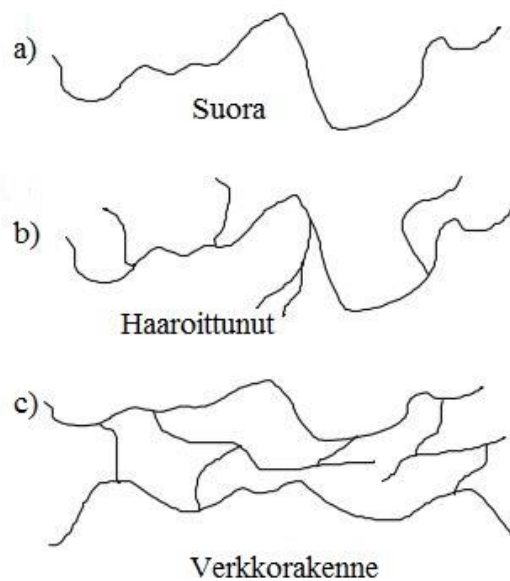
Tarkkojen, materiaalikohtaisten parametrien löytäminen jauhepetiprosesseissa on tärkeää. Esimerkiksi laserparametrit kuten laserteho ja skannausnopeus vaikuttavat lämmöntuontiin, joka osaltaan vaikuttaa suuresti lopullisen kappaleen ominaisuuksiin. Liian suuri lämmöntuonti yhdistettynä nopeaan jäähtymiseen saattaa aiheuttaa kappaleeseen suuria jännityksiä. Jännitykset saattavat johtaa muodonmuutoksiin, halkeiluun ja kerrosten irtoamiseen toisistaan. Tämä tarkoittaa yleensä sitä, että kappale on käyttökelvoton. Valmiin kappaleen tarkkuuden määrittää oikeiden parametrien lisäksi kerroksen paksuus ja yksittäisten, yhteen sulatettujen viivojen paksuus. (Wei, 2011, s. 189; Yadroitsev, Bertrand & Smurov, 2007, s. 8064; Gibson et al., 2010, s. 103–119; Foroozmehr et al., 2016, s. 255–256.)

4.1.2 Allasvalopolymerisaatio

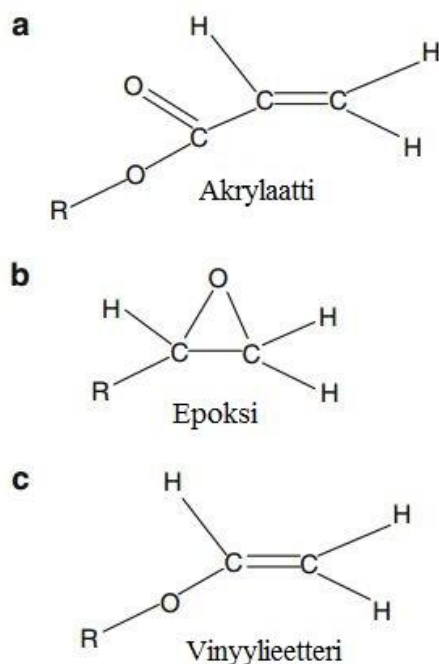
Allasvalopolymerisaatio-menetelmässä (engl. vat photopolymerization) nestemäistä ainetta, valokovettuvaa hartsia, kovetetaan säteilyn avulla, normaalisti joko UV-valolla, näkyvällä valolla tai UV-valon aallonpituusalueella olevalla lasersäteellä. Kuten muissakin lisäävissä valmistusmenetelmissä kappale valmistuu kerros kerrokselta. Valoa ohjataan monomeerejä sekä katalyyttiseosta sisältävässä altaassa ja se käynnistää polymerisaatioreaktion yhdessä katalyytin kanssa. Näin ollen vain paikat mihin valo kohdistetaan muodostavat kappaleen. Menetelmä perustuu siihen, että monomeerit linkittyvät polymeeriketjuiksi ja ketjut verkostoksi (kuva 4 ja 5). Kun kerros on rakennettu, rakennusalusta joko laskee nestealtaaseen tai nousee sieltä pois kerroksen paksuuden verran. Kappaleen pystysuuntainen lujuus on myös hyvä, koska kerrokset yhdistyvät toisiinsa kemiallisen reaktion avulla. Suurin saavutettava hyöty muihin lisääviin valmistusmenetelmiin nähden on kappaleen mitta- ja muototarkkuus sekä pinnanlaatu. Pinnankarheus pystysuuntaisilla pinnoilla on alle $1 \mu\text{m } R_a$ ja vinoilla pinnoilla noin $100 \mu\text{m } R_a$. Menetelmä vaatii, että valmistettava materiaali reagoi tuotuun säteilyyn kovettumalla. Haluttuja ominaisuuksia on myös suuri absorptio, eli säteilyn imeytyminen kappaleeseen sekä nopea kovettumisreaktio, jossa muodostuu mahdollisimman pitkiä polymeeriketjuja. Pidemmät polymeeriketjut saavat aikaan vahvemman kappaleen. Monomeerejä sisältävän kovetettavan nesteen täytyy myös absorboida valoa, jotta kovettumisreaktio voi tapahtumaan. Mitä enemmän valoa kappale heijastaa, sitä enemmän valotehoa täytyy prosessiin tuoda, jotta reaktiota pystytään pitämään yllä. (Gibson et al., 2010, s. 63–74.) Valokovetus altaassa -menetelmän periaate on esitelty kuvassa 3.



Kuva 3. Allasvalokovetukseen perustuvan laitteiston toimintaperiaate. Menetelmässä valo voidaan tuoda joko alta tai päältä. Kappale tästä riippuen joko laskee tai nousee altaasta. (Mukaiillen Stansbury & Idacavage, 2016, s. 56.)

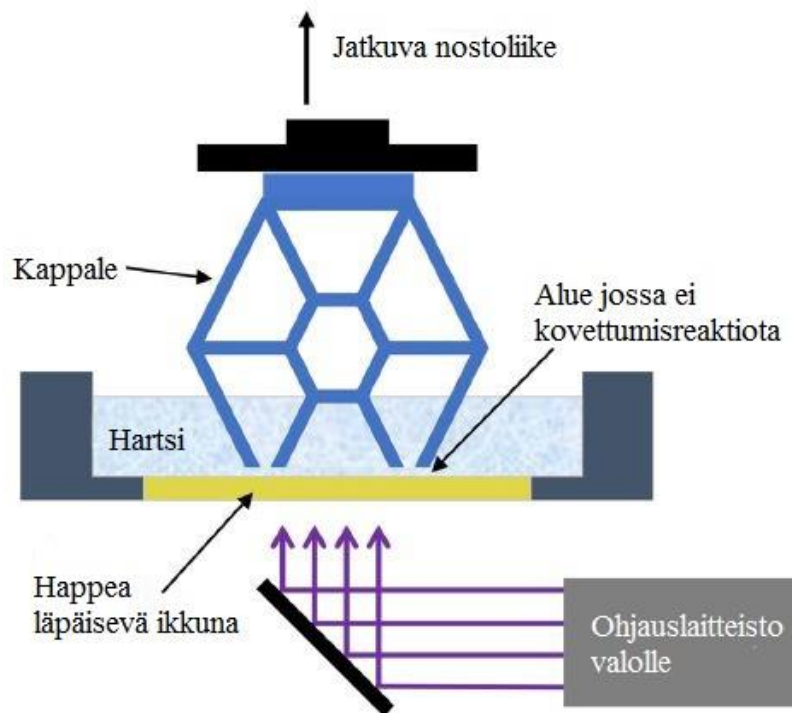


Kuva 4. Erityyppisiä polymeerirakenteita: a) suora, b) haaroittunut ja c) verkkorakenne. Mitä haaroittuneempaa ja verkkorakenteisempaa polymeeriketju on, sitä lujempi valmistettava kappale on. (Mukaiillen Gibson et al., 2010, s. 64.)



Kuva 5. SL-menetelmässä käytettyjä monomeereja, josta lopullinen kappale UV-valon avulla valmistuu, sekä niiden molekyyli rakenne. a) akrylaatti, b) epoksi ja c) vinyylieetteri. (Mukaillen Gibson et al., 2010, s. 66.)

SL-menetelmä (engl. stereolitography) on yksi yleisesti käytössä oleva valokovetusmenetelmä. SL-menetelmällä valmistetut kappaleet ovat pinnanlaadultaan hyviä ja vastaavatkin perinteisillä menetelmillä valmistettuja kappaleita. Tyypillisesti yhden kerroksen paksuus menetelmällä on 50–200 μm luokkaa. Mikrotason työstöön erikoistuneilla laitteilla voidaan saavuttaa kuitenkin jopa 10 μm kerrospaksuus. Menetelmällä voidaan valmistaa myös läpinäkyviä kappaleita. SL-menetelmällä valmistetut kappaleet ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan hauraita ja niillä valmistetut kappaleet ovat huomattavasti kalliimpia kuin esimerkiksi materiaalin pursotusmenetelmällä valmistetut (Bogers, Hadar & Billberg, 2015, s. 13). Menetelmä kehittyy nykyäänkin kovaa vauhtia ja yksi uusi sovellus on niin sanottu CLIP-menetelmä (engl. continuous liquid interface production), jossa kappaletta nostetaan nesteestä koko prosessin ajan ilman tarvetta kerrosten välillä suoritettavaan kuorimisprosessiin (kuva 6). (Liska et al., 2007, s. 505–510; Stansbury & Idacavage, 2015, s. 2–4.)



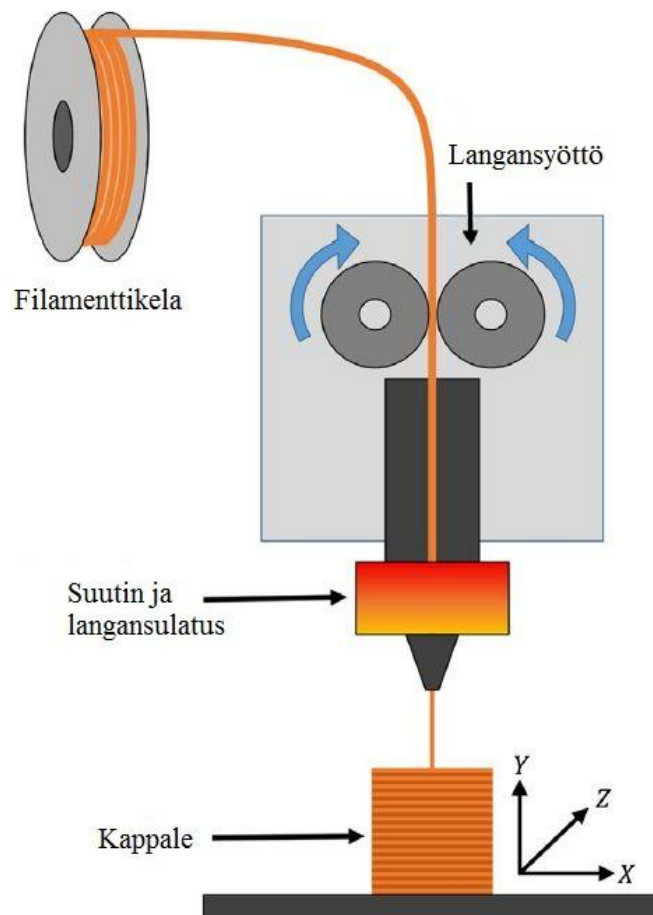
Kuva 6. CLIP-menetelmän toimintaperiaate. CLIP-menetelmässä kappaleelle ei jouduta suorittamaan kuorintaa jokaisen kerroksen jälkeen, vaan kappale nousee altaasta tasaisesti. (Mukaiillen Stansbury & Idacavage, 2016, s. 57.)

4.1.3 Materiaalin pursotus

Pursotukseen perustuvat (engl. fused deposition modeling, FDM tai fused filament fabrication, FFF) lisäävän valmistuksen menetelmät ovat tällä hetkellä luotettavimpia ja hintatasoltaan halvimpia menetelmiä. Niiden laitteet ja materiaalit ovat verrattain halpoja ja menetelmä soveltuu hyvin kotikäyttöön. Pursotukseen perustuvat menetelmät soveltuvat myös useamman värisen materiaalin tulostamiseen yhteen kappaleeseen. Menetelmän käyttöä rajoittaa se, että tulostettavien materiaalien sulamislämpötilan tulee olla alhainen. Tästä syystä menetelmä on yleisesti käytössä muovimateriaaleilla. Muovimateriaaleista yleisimmät ovat ABS (akryylnitriilibutadieenistyreeni) ja PLA (polylaktidi). Menetelmässä nauhana oleva filamentti sulatetaan ja pursotetaan lämmitettävän suuttimen läpi. Nauhansyöttölaitteisto tuo suuttimelle lisää filamenttia sitä mukaa, kun sitä kuluu. Suutin liikkuu yleensä lämmitetyn alustan päällä pursottaen materiaalia kerros kerrokselta kunnes lopullinen, STL-tiedoston mukainen kappale on valmis (kuva 7). Kuten muissakin lisäävissä menetelmissä, roikkuvat rakenteet tarvitsevat tukirakenteita, mikä saattaa huonontaa kappaleen pinnanlaatua. (Gibson et al., 2010, s. 143–145; Masood,

Rattanawong & Iovenitti, 2000, s. 162–163; Too, 2002, s. 217–222; Carneiro, Silva & Gomez, 2015, s. 768–770.)

STL-tiedosto on 3D-suunnitteluohjelman tuottama tiedostomuoto esimerkiksi lisäävän valmistuksen käyttöön. Sen kehitti 3D Systems vuonna 1987 palvelemaan ensimmäisiä lisäävän valmistuksen laitteita. STL-tiedoston mukainen malli 3D-kappaleesta koostuu kolmioista, jotka muodostavat approksimaation alkuperäisen kappaleen muodoista. Mitä pienempiä ja tiheämmässä kolmiot kappaleessa ovat, sitä tarkemmin STL-tiedoston mukainen kuva vastaa alkuperäistä. (Wong & Hernandez, 2012, s. 3.)



Kuva 7. Materiaalin pursotukseen perustuvan laitteiston toimintaperiaate (mukaillen Stansbury & Idacavage, 2016, s. 60).

Myös suuttimen halkaisija määrittää kappaleen tarkkuuden. Mitä suurempi suutin, sen nopeammin materiaalia saadaan tuotua prosessiin, mutta kappaleen tarkkuus huononee.

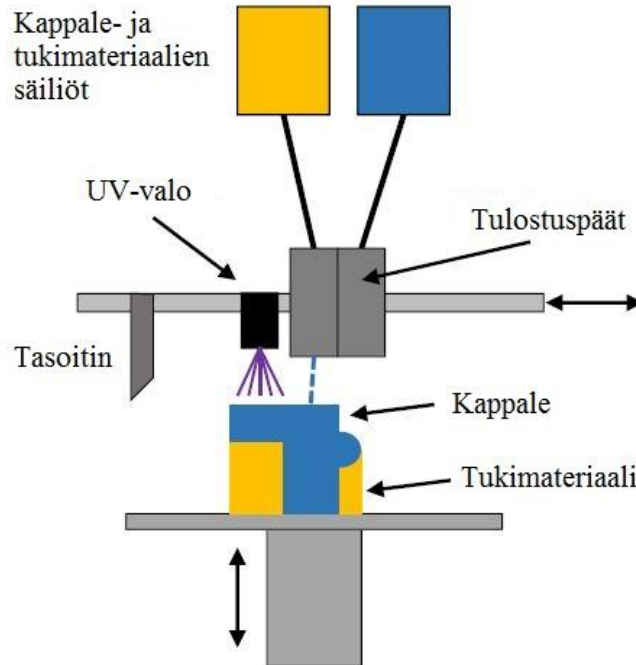
Suuttimen halkaisijalla ja kerroksen paksuudella on myös merkitystä siihen kuinka paljon porrastumista kappaleessa esiintyy. Koska kappale valmistetaan kerros kerrokselta, pyöreisiin ja kalteviin pintoihin syntyy porrastumista, jota voi hallita muuttamalla kappaleen valmistusasetusta. Kappaleen lämpötila ja sen hallinta valmistuksen aikana on myös asia, johon täytyy kiinnittää huomiota. Jos kappale jäähtyy epätasaisesti ja liian nopeasti, saattaa siinä tapahtua muodonmuutoksia, tai kerrokset voivat irrota toisistaan. Tätä ilmiötä pystyy hallitsemaan pitämällä ympäristön ja tulostusprosessin lämpötilaeron pienenä ja hillitsemällä kappaleen jäähtymistä. (Gibson et al., 2010, s. 143–149; Masood et al., 2000, s. 162.)

4.1.4 Materiaalin suihkutetus

Yksi tällä hetkellä yleisimmin käytössä olevista materiaalin suihkutusmenetelmistä on PolyJet. Se on yhdysvaltalaisen Stratasys Ltd:n omistama patentoitu menetelmä muovimateriaalien tulostamiseksi. Alun perin israelilaisen Objet-yhtiön kehittämässä PolyJet-menetelmässä tulostinpäässä olevien reikien läpi suihkutetaan nestemäistä, valon avulla kovettuvaa materiaalia. Tulostuspäässä on useita pieniä suuttimia, joiden läpi materiaali suihkutetaan kerros kerrokselta sinne minne sitä tarvitaan. Suihkutuksen yhteydessä UV-valo kovettaa sitä halutun kappaleen muotoon. Kerroksen paksuus on tässä menetelmässä 20µm, mikä työstetään heti suihkutuksen jälkeen 16µm paksuiseksi tasoittimena toimivan terän avulla. Menetelmän etuna on, että pääasiallisen rakennusaineen mukana voidaan samanaikaisesti suihkuttaa geelimäistä tukiainetta, joka muodostaa kappaleen tarvitsemat tukirakenteet. Tukimateriaali on vesiliukoista ja se on huuhdeltavissa pois tulostusprosessin jälkeen. Tämä helpottaa valmistetun kappaleen jälkikäsittelyä. Polyjet-menetelmällä saavutetaan erittäin sileäpintaisia ja tarkkoja kappaleita. (Ibrahim et al., 2009, s. 167–168; Stratasys PolyJet Technology, 2016; Mueller, Shea & Daraio, 2015, s. 902–904.)

Liuotettavan tukiaineen lisäksi materiaalin suihkutukseen perustuvassa menetelmässä suihkutettavan materiaalin joukkoon voidaan lisätä nanokokoisia partikkeleita, jotka parantavat valmiin kappaleen mekaanisia ominaisuuksia. Myös kappaleen rakennussuunnalla on suuri merkitys. Yleensä tällä menetelmällä valmistetut kappaleet ovat lujempia juuri rakennussuunnassa. Kuvassa 8 on esitetty materiaalin

suihkutuslaitteiston toimintaperiaate. (Stansbury & Idacavage, 2016; s. 5; Cazón & Lardizábal, 2014, s. 1664–1676.)



Kuva 8. Materiaalin suihkutukseen perustuvan laitteiston toimintaperiaate (mukailen Stansbury & Idacavage, 2016, s. 58).

4.2 Lisäävän valmistuksen edut ja haitat

Lisäävällä valmistuksella on useita etuja perinteisiin menetelmiin verrattuna. Myös menetelmän rajoitteista täytyy kuitenkin olla tietoinen ja suunnitella valmistettavat kappaleet myös niiden mukaan. Tässä kappaleessa käsitellään lisäävän valmistuksen etuja ja haittoja.

Yksi lisäävän valmistuksen eduista on kappaleen suunnittelun vapaus. Koska kappale valmistetaan kerroksittain suoraan CAD-mallin (computer aided design, tietokoneavusteinen suunnittelu) pohjalta, valmistusprosessia ei tarvitse esimerkiksi työstöjärjestyksen tai työkaluvalinnan osalta suunnitella. Tästä syystä kappale voi myös sisältää monimutkaisia muotoja, joihin ei esimerkiksi sorvaamalla tai jyrsimällä pääse normaalisti käsiksi. Kappaleen monimutkaisuus ei myöskään tuo lisäkustannuksia valmiille tuotteelle, vaan suurimman osan kappaleen valmistuskustannuksista muodostaa koneaika. Kuitenkin esimerkiksi jauhepetiprosesseilla kappaleen muodot voivat olla

rajoitettuja ja esimerkiksi se, mihin kulmaan kappaleen muodot rakentuvat, on tärkeä suunnitella, jotta tarvitaan mahdollisimman vähän tukirakenteita (Calignano, 2014, s. 204–208, 211–212; Strano et al., 2013, s. 1253). Erilaisten yksittäiskappaleiden tai piensarjojen tuotannossa saavutetaan myös suuria etuja. Koska valmistusprosessin eri vaiheita, esimerkiksi työkaluvaihtoja, ei tarvitse suunnitella eikä käytettäviä työkaluja valita, voidaan samaan hintaan valmistaa sarja samanlaisia kappaleita tai sarja aivan erilaisia kappaleita. (Klahn, Leutenecker & Meboldt 2015, s. 230–235; Piili et al., 2014.) Sarjatuotannossa kappaleen hinta pysyy samana riippumatta sarjan koosta ja hintaa voidaan laskea valmistamalla useita kappaleita samaan aikaan (Piili et al., 2013, s. 5–28).

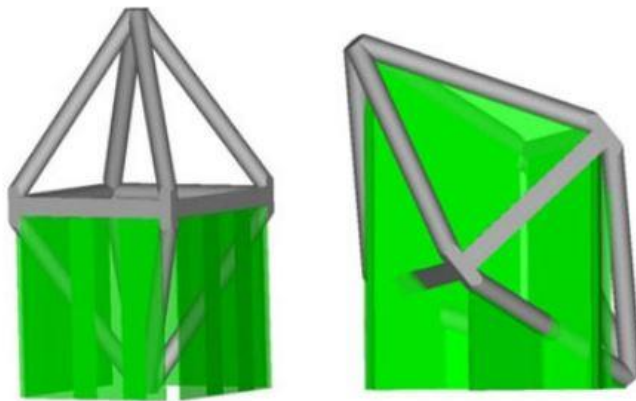
Wellerin, Kleerin & Pillerin (2015, s. 53–54.) tekemässä tutkimuksessa on määritelty neljä suurinta menetelmän hyötyä, jolla voidaan perustella sen käyttöönotto. Lisävä laitteisto on yleiskone, jolla voidaan suoraan hyödyntää 3D-malli kappaleen valmistuksessa. Muokattavuus ja joustavuus on periaatteessa ilmaista: esim. muutokset voidaan tehdä 3D-malliin, jolloin itse valmistukseen ei tule lisäkustannuksia esimerkiksi uusien muottien tai työkalujen valmistuksen kautta. Kappaleen monimutkaisuus on myös ilmaista ja erilaisten kappaleiden valmistus ei aiheuta ylimääräisiä kustannuksia. Viimeisenä kohtana on kokoamisvaiheen helpottuminen, koska erilaisia kokoonpanoja voidaan valmistaa yhdellä kertaa. Vaikka lisävä valmistus voi pienillä, tapauksesta riippuen muutaman kymmenen kappaleen sarjoilla tulla halvemmaksi kuin perinteisin menetelmin valmistetut kappaleet, on suurien sarjojen valmistus perinteisillä valmistusmenetelmillä edelleen halvempaa. (Weller, Kleer & Piller, 2015, s. 53–54.) Myös muut valmistukseen liittyvät kustannukset, kuten jälkikäsitteily täytyy ottaa huomioon (Atzeni & Salmi, 2012, s. 1147–1155).

Jotta kappale pystytään valmistamaan, tarvitaan usein tukirakenteita (kuva 9). Varsinkin metallien jauhepetiprosessissa tukirakenteet ovat erittäin oleellisia, koska itse jauhe ei tue tyhjän päälle rakennettavia muotoja. Nämä tukirakenteet joudutaan poistamaan kappaleen jälkikäsitteilyn aikana, joten ne eivät ole haluttuja. Muoveilla voidaan käyttää tukirakenteita, jotka ovat vesiliukoisia, mutta metallisilla kappaleilla tukirakenteiden poisto voi olla hyvin paljon aikaa vievä prosessi ja lisää näin ollen lopullisen tuotteen hintaa. (Cheng & Chou, 2015, s. 102–104; Ratnadeep & Anand, 2015, s. 231–233.)



Kuva 9. Kuvassa EOS:n laitteistolla, jauhepetimenetelmällä valmistettu hammastuki. Vasemmalla tuki ilman vaadittavien tukirakenteiden poistoa ja oikealla jälkikäsiteltynä. (Mukaiillen Additive Manufacturing, 2013.)

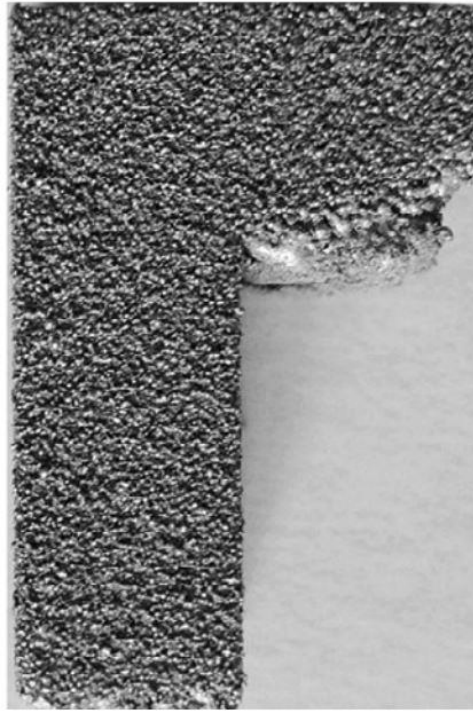
Tuotteessa olevien tukirakenteiden määrä täytyy siis pyrkiä minimoimaan esimerkiksi muuttamalla kappaleen asentoa rakennusallustalla siten, että se tukee itse itseään mahdollisimman paljon. Tukirakenteitten minimoimisella vähennetään myös rakentaessa kuluvan materiaalin määrää, mikä myös osaltaan vähentää kappaleen lopullista hintaa ja rakennusaikaa. (Cheng & Chou, 2015, s. 102–104; Ratnadeep & Anand, 2015, s. 231–233.) Kuvassa 10 on esitetty esimerkkipappale Stranon, Haon, Eversonin ja Evansin (2013, s. 1253) tutkimuksesta, jossa huonoimman ja parhaan kappaleen asettelun välillä tarvittavien tukirakenteiden tilavuudessa on yli 53 %:n ero.



Kuva 10. Kappaleen optimaalisen asennon vaikutus tarvittavien tukirakenteiden määrään. Kuvassa kappale on merkattu harmaalla, tukirakenteet vihreällä värillä. (Strano et al., 2013, s. 1253.)

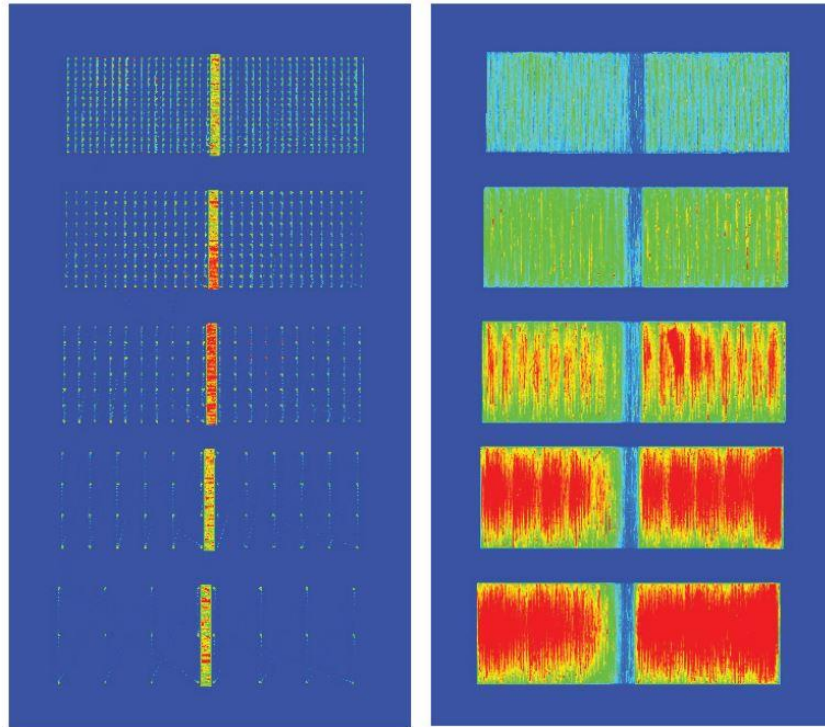
Kappaleeseen jäävä huokoisuus on erityisesti jauhepetiprosessien ongelma. Tällöin valmistetun kappaleen sisälle joissain tapauksissa saattaa jäädä tyhjiä kohtia, mikä huonontaa mekaanisia ominaisuuksia. Jotta tältä ongelmalta voidaan välttyä, on laserparametrien oltava valmistuksen aikana oikeat. Esimerkiksi liian alhainen lämmöntuonti aiheuttaa sen, että kaikkea tarvittavaa materiaalia ei saada sulatettua. Lämmöntuonnin alhaisuus johtuu esimerkiksi liian suuresta lasersäteen skannausnopeudesta tai alhaisesta lasertehosta. Varsinkin alumiinin kaltaisilla materiaaleilla, jotka heijastavat hyvin valoa, täytyy parametreihin kiinnittää huomiota. (Bland & Aboulkhair, 2015, s. 79–81.) Oikeiden parametrien käyttö lisäävässä valmistuksessa on erittäin tärkeää. Varsinkin herkillä jauhepetiprosesseilla pienet muutokset parametreissa vaikuttavat lopullisen kappaleen laatuun. Tärkeitä parametreja ovat esimerkiksi laseriin liittyvät parametrit, kuten laserteho ja polttopisteen koko, sekä itse kerroksen parametrit, kerroksen paksuus ja rakennusmateriaalin ominaisuudet. (Casalino et al., 2015, s. 152–156.)

Lisäävän valmistuksen yhteydessä puhutaan usein kappaleen muotojen tai monimutkaisuuden loputtomista mahdollisuuksista. Todellisuudessa kappaleet vaativat lähes poikkeuksetta kuitenkin jonkin verran tukirakenteita (Atzeni & Salmi, 2015, s. 1). Koska tyhjän päälle ei voi periaatteessa rakentaa mitään laadun kärsimättä, täytyy tietyn kulman ylittävät rakenteet tukea. Esimerkiksi metallien jauhepetiprosesseissa alustalla oleva jauhe ei tue sen päälle rakennettuja kappaleita, kun rakenteen kulma alustaan nähden ylittää tietyn raja-arvon. Koska tukirakenteiden määrää halutaan hallita valmistusprosessissa, halutaan kappaleet suunnitella itseään tukeviksi. Esimerkiksi metallien jauhepetiprosesseilla yleisenä sääntönä voidaan pitää, että yli 45 asteen kulmat tukevat itsensä. Vaikka kappaleen muodot riittäisivät rakentamiseen ilman tukirakenteita, saattaa sen alapuolisten pintojen pinnanlaatu heikentyä huomattavasti (Kuva 11). Tämä johtuu siitä, että osa sulatetusta aineesta uppoaa ympäröivään jauheeseen painovoiman ja kapillaari-ilmion vaikutuksesta. (Calignano, 2014, s. 204-208, 211–212.)



Kuva 11. Kappaleen tukemattoman alapinnan laatu metallisessa, jauhepetiprosessilla valmistetussa kappaleessa (Calignano, 2014, s. 208).

Monissa sovelluksissa tukirakenteet auttavat myös johtamaan lämpöä pois ja näin varmistavat osittain, ettei suuria geometrioiden muutoksia tapahdu lämpötilaerojen vuoksi (Järvinen et al., 2014, s. 73–74). Tukirakenteiden avulla kappale kiinnitetään myös rakennusalustaan, sillä ne mahdollistavat esimerkiksi metallikappaleilla paremman lämmönjohtumisen pois työtapatumasta (kuva 12) ja helpottavat valmiin kappaleen irrotusta alustasta. (Hussein et al., 2013, s. 1024; Calignano, 2014, s. 206.)

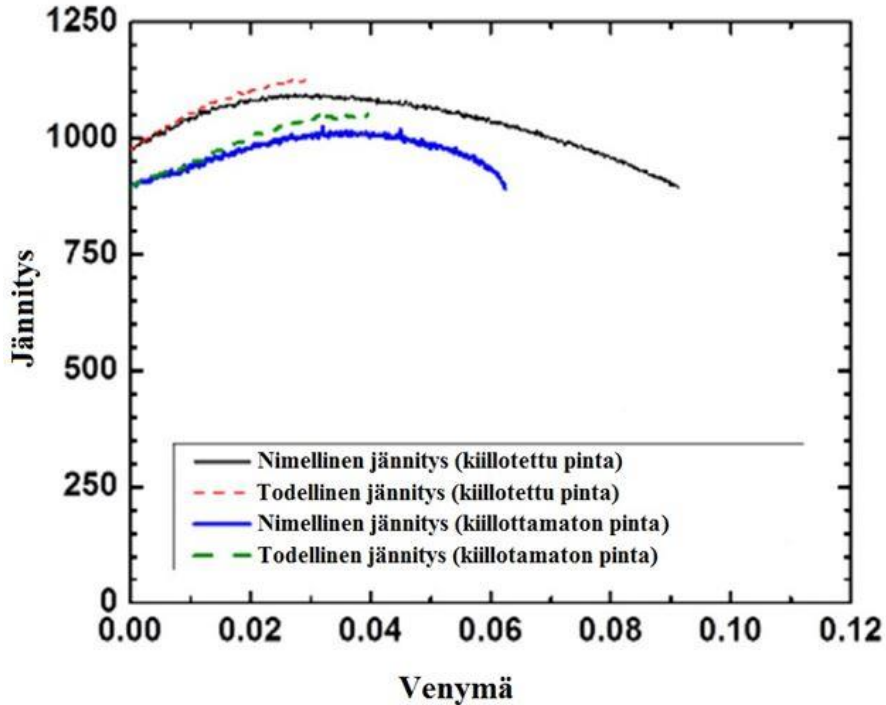


Kuva 12. Tutkimus, jossa tukirakenteiden määrää ja tiheyttä on pienennetty ja tämän vaikutusta kappaleen lämpöön tutkittu. Mitä vähemmän kappaleessa on tukirakenteita, sitä huonommin lämpö johtuu pois. Kuvassa sininen väri on kylmä ja punainen kuuma. (Craeghs et al., 2012, s. 758.)

FDM-prosessilla eri kappaleen osia voidaan oikeanlaisen jäähdytyksen avulla ja oikeita parametreja käyttämällä rakentaa myös erittäin suuriin kulmiin, joissain tapauksissa aivan vaakatasoon kahden samassa tasossa olevien rakenteiden välille. Tämä kuitenkin huonontaa huomattavasti alimpien kerrosten pinnanlaatua ja voi johtaa kappaleen rakennuksen epäonnistumiseen. Muovien jauhepetiprosesseilla tukirakenteet ovat tarpeettomia, koska muovijauhe pystyy kannattelemaan tyhjän päälle rakennettävien rakenteiden painon. (Hu, Jin & Wang, 2015, s. 2.)

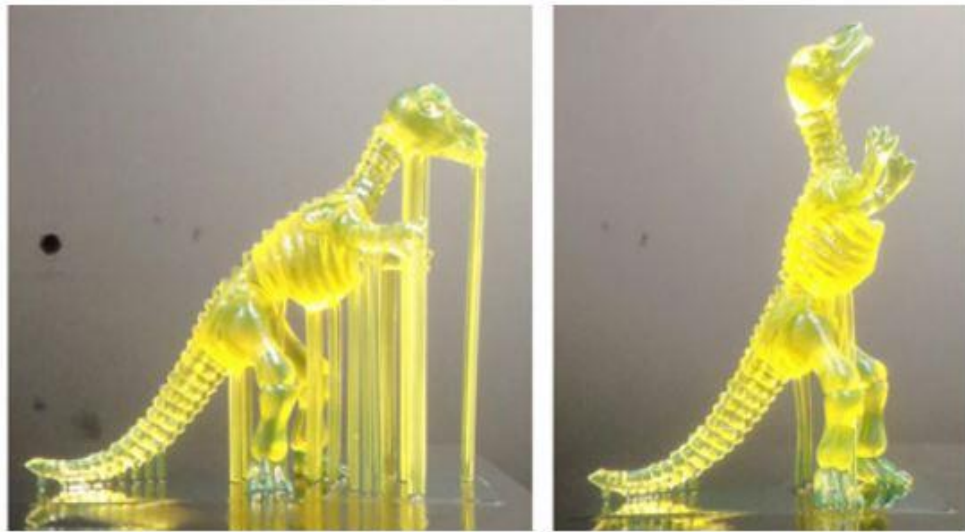
Kappaleen pinnan karheus saattaa myös aiheuttaa tarvetta jälkikäsittelylle. Suuri pinnankarheus pienentää kappaleen murtovenymää ja aiheuttaa näin kappaleen hajoamisen pienemmällä jännityksellä. Pinnankarheutta voidaan pienentää esimerkiksi kiillottamalla kappale. Esimerkiksi Palanivelin tutkimuksessa titaanista Ti6Al4V-materiaalista valmistettu kiillottamaton kappale kesti pienemmän jännityksen (896 MPa) verrattuna

samasta materiaalista valmistettuun kiillotettuun kappaleeseen (978 MPa). Kokeen jännitys-venymäkäyrä on esitetty kuvassa 13. (Palanivel et al., 2016, s. 51.)



Kuva 13. Jännitys-venymäkäyrä, vertailu kiillotetulle ja kiillottamattomalle pinnalle lisäävästi valmistetulle Ti6Al4V-kappaleelle (mukaillen Palanivel, et al., 2016, s. 51).

Koska kappaleen tukemiseen tarvittavat rakenteet hidastavat valmistus- ja jälkikäsittelyprosessia, täytyy niiden määrä yrittää pitää mahdollisimman pienenä. Tätä voidaan edistää suunnittelemalla kappaleeseen muodot niin, että ne pystyvät tukemaan itse itseänsä tai muuttamalla kappaleen asentoa rakennusalustalla niin, että tukirakenteiden tarve vähenee (kuva 14). (Hu et al., 2015, s. 1–10.)



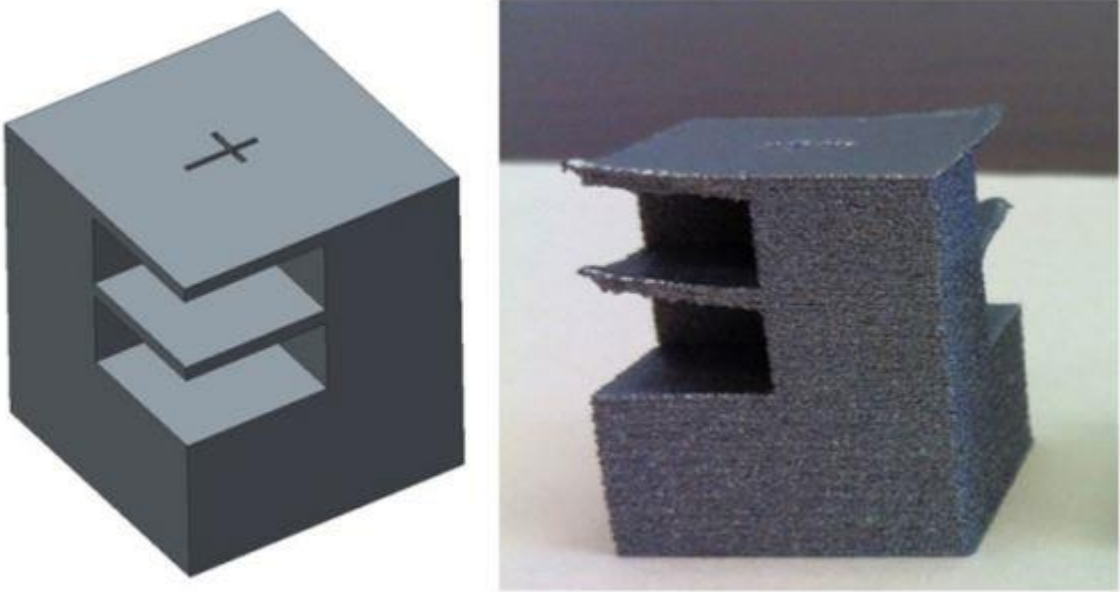
Kuva 14. SLA-menetelmällä valmistettu kappale, jonka tukirakenteita on vähennetty uudelleen suunnittelulla ja valmistusasentoa hieman muuttamalla (mukaiillen Hu et al., 2015, s. 1).

Hun, Jinin ja Wangin (2015, s. 1–10.) tekemän tutkimuksen mukaan jopa yli 60 % valmistusajasta voi kuluu tukirakenteiden tekoon, jos kappaleen asento rakennusalustalla on suunniteltu väärin. Kun kappale vielä valmistetaan samasta materiaalista kuin tukirakenteet, niitä ei voi poistaa muuten kuin mekaanisilla menetelmillä. Tämä täytyy suorittaa käsityönä, mikä osaltaan pidentää valmistusprosessia. Mekaaninen poisto voi jättää pinnalle murtumia ja muita pinnanlaatua huonontavia virheitä. Metalleilla tukirakenteiden mekaaninen poisto on ainoa vaihtoehto. Nykyään on olemassa ohjelmia, jotka pystyvät optimoimaan tietokonemallin pohjalta kappaleelle optimaalisen rakennussuunnan ja tarvittavat tukirakenteet. Näin rakenteiden poistoon ei tarvitse käyttää yhtä paljon aikaa kuin ennen. (Hu et al., 2015, s. 1–10.)

4.3 Virheet metallien lisäävässä valmistuksessa

Lisäävän valmistuksen prosesseissa, varsinkin metalleilla, syntyvä lämpö saattaa aiheuttaa ongelmia kappaletta valmistettaessa. Lämmön aiheuttaman laajenemisen ja kutistumisen seurauksena kappaleeseen saattaa syntyä jännityksiä.. Suurin ongelma on havaittavissa kappaleilla, joissa on ohuita rakenteita yhdessä paksujen rakenteiden kanssa. Ohuet rakenteet eivät johda tarpeeksi lämpöä pois prosessista tai jäähtyvät huomattavasti eri tahtiin paksuihin rakenteisiin nähden. Nämä eri jäähtymisnopeuksista ja lämpötiloista johtuvat jännitykset aiheuttavat kappaleeseen muoto- ja mittavirheitä sekä pahimmassa

tapauksessa saattavat johtaa liitosvirheisiin ja halkeiluun. Valmistettavan aineen lämmönjohtamisominaisuudet vaikuttavat myös tähän ilmiöön. Kun lämpö johtuu hyvin, syntyy vääntyilyä vähän. Kuvassa 15 on nähtävissä lämmön aiheuttamaa vääntyilyä kappaleen ohuissa, tyhjän päälle rakennetuissa rakenteissa. Kappale on valmistettu jauheesta elektronisuihkun avulla ja muotovirheet johtuvat siitä, että kappaletta ympäröivä jauhe ei johda lämpöä yhtä hyvin kuin itse kappale. Näitä virheitä voidaan välttää käyttämällä prosessin aikana oikeita parametrien arvoja ja esimerkiksi jauhepetiprosesseilla esilämmitettyä tulostuskammiota. Esilämmitys voi myös auttaa vähentämään kappaleen huokoisuutta. (Zhang, Dembinski & Coddet, 2013, s. 27–28; Dadbakshs, Hao & Sewell, 2012, s. 243–248.) Myös tukirakenteiden avulla voidaan ehkäistä vääntyilyä johtuvia muotovirheitä (Cheng & Chou, 2015, s. 103).



Kuva 15. Vasemmassa kuvassa on tietokone-malli valmistettavasta kappaleesta. Oikealla valmistetun kappaleen eri osien eri jäätymisnopeuksien aiheuttamaa vääntyilyä ohuissa rakenteissa. (Cheng & Chou, 2015, s. 104).

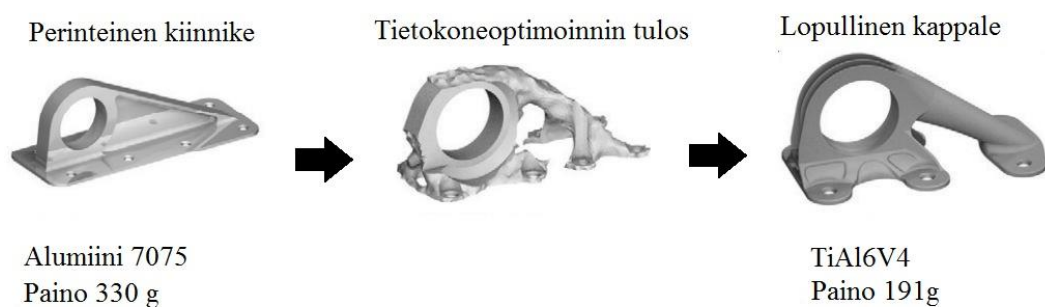
4.4 Virheet polymeerien lisäävässä valmistuksessa

Muovimateriaaleilla esiintyy osittain samoja prosessivirheitä kuin metallimateriaaleilla. Kuitenkin menetelmien erilaisuudesta johtuen virheet voivat johtua myös hyvin erilaisista asioista. Jotkin materiaalit, esimerkiksi ABS, kutistuu huomattavasti jäähtyessään ja materiaalin pursotusmenetelmällä työstettäessä saattaa johtaa vääntyilyyn lopullisessa kappaleessa. Tämä johtaa myös kappaleen irtoiluun rakennusalustasta, mikä voi johtaa

kappaleen valmistuksen epäonnistumiseen. Materiaalin suihkutusmenetelmässä ja allasvalokovetuksessa tapahtuu joskus ylikovettumista. Varsinkin allasvalokovetuksessa tämä on tyhjän päälle rakentuvissa kappaleen osissa tapahtuva virhe. Kappaleeseen kohdistuu tässä tapauksessa liian paljon UV-valon energiaa, mikä saattaa huonontaa materiaaliominaisuuksia tai aiheuttaa vääntyilyä kappaleessa. Virhe johtuu siitä, ettei kappale liity alapinnaltaan edelliseen kerrokseen, koska kerrosta ei ole. Myös nesteen korkea viskositeetti allasvalokovetuksessa saattaa aiheuttaa epätarkkuutta kappaleen reunoille, koska kerrospaksuus saattaa vaihdella rakennusprosessin aikana hieman. (Wong & Hernandez, 2012, s. 2–5.)

4.5 Lisäävän valmistuksen hyöty

Jotta lisäävästä valmistuksesta saadaan suurin hyöty, pitää kappaleitten suunnittelu miettiä prosessin kannalta. Vaikka lisäävillä menetelmillä valmistettu kappale olisi kalliimpi kuin perinteinen, esimerkiksi kevyempi, lujempi tai jonkun prosessin tehokkuutta parantava rakenne saattaa perustella menetelmän käytön. Kuvassa 16 on esitetty kappaleen optimoinnin vaikutusta lopullisen kappaleen muotoihin ja painoon. Jotta teknologian käyttöönotto olisi kannattavaa, täytyy uudelleen suunnitellulla ja mahdollisesti kalliimmalla kappaleella saavuttaa hyötyä koko kappaleen eliniän aikana. Mitä pitempi on kappaleen elinikä, sitä enemmän korostuvat menetelmällä saavutetut tehokkuutta parantavat ominaisuudet. (Klahn et al., 2014, s. 138–143.)



Kuva 16. Kiinnikkeen uudelleensuunnittelu, jotta lisäävän valmistuksen avulla saavutetaan painonsäästöä. Vasemmalla kuvassa on perinteinen kiinnike, keskellä tietokoneoptimoitu malli ja oikealla lopullinen malli. Kuvien alla on valmistusmateriaali sekä kappaleen paino. (Emmelmann et al., 2011, s. 367.)

Esimerkiksi lentokoneiteollisuudessa jo pienelläkin painonsäästöllä lentokonetta kohti voidaan saavuttaa sen eliniän aikana suhteessa kappaleen valmistuskustannuksiin suuret säästöt. Crucible Industrial Design Ltd:n projektissa (Technology Strategy Board, 2006, s. 1–2.) tutkittiin Airbus A380 -lentokoneen vyönsoljessa saavutettavaa painonsäästöä. Yhden lentokoneen painoa saatiin pudotettua jopa 72,5 kg suunnittelemalla vyön solki uudelleen. Tämä tarkoittaa 3,3 miljoonan litran polttoainesäästöjä lentokoneen suunnitellun eliniän aikana. Tässä tapauksessa vyön solkien hinnaksi tulee 165 000 puntaa, mutta polttoainetta säästetään 2 miljoonan punnan verran. Näin ollen kalliimpi vyönsolki tulee koneen eliniän aikana halvemmaksi kuin perinteinen. (Technology Strategy Board, 2006, s. 1–2.) Joskus menetelmän käytön perusteeksi riittää, että valmistus lisäävästi tulee jo halvemmaksi kuin esimerkiksi yksittäiskappaletta varten hankittavien työkalujen ja suunnittelun hinta. Valmistettavaa kappaletta voidaan yleensä parantaa vielä usealla tavalla, kunhan menetelmän edut ja rajoitukset otetaan hyvin huomioon kappaletta suunnitellessa. (Klahn et al., 2014, s. 138–143.) Kuvassa 17 on uusi, titaanista lisäävästi valmistettu sekä perinteinen lentokoneissa käytettävä vyönsolki.



Kuva 17. Jauhepetisulatuksella metallista valmistettu lentokoneen turvavyön solki (vasemmalla) ja perinteisesti valmistettu solki (oikealla) (The SAVING Project).

5 LISÄÄVÄ VALMISTUS TEOLLISUUDESSA

Lisäävän valmistuksen mahdollisuus teollisuudessa ovat tilausohjautuvat tuotteet, joiden kysyntä on pientä, ja joita voidaan lisäävästi valmistaa tarpeiden mukaan, nopeasti ja kustannustehokkaasti. Tähän tuoteryhmään lukeutuvat erilaiset yksittäiset prototyypit, varaosat, lääke- ja hammaslääketieteen yksilöidyt proteesit ja muut räätälöidyt tuotteet. Massatuotannon siirtyminen kehittyvien talouksien maihin vaatii Eurooppaa ja Yhdysvaltoja vaihtamaan juuri tämänkaltaisten tuotteiden valmistukseen, koska massatuotanto ei pysty enää pysymään kilpailukykyisenä (Mellor, Hao & Zhang, 2014, s. 194). Tekniikka on mahdollistanut myös sen, että CAD-malleja voidaan jakaa suunnittelijoiden ja asiakkaiden kesken ja valmistus ulkoistaa jonnekin muualle. Lisäävän valmistuksen kehittyminen on myös aiheuttanut tekniikan käytön laajemmin teknisissä sovelluksissa koko ajan laajentuvan materiaalivalikoiman kautta. (Berman, 2012, s. 157–161.)

Wellerin, Kleerin & Pillerin (2015, s. 43–56.) tekemän tutkimuksen mukaan lisäävällä valmistuksella voidaan saavuttaa paras kilpailukyky markkinoilla, jossa tuotteet ovat erilaisia, kysyntä vaihtelee ja on vaikeasti ennustettavissa. On tärkeää tunnistaa missä käyttökohteissa lisäävällä valmistuksella voidaan tuottaa eniten arvoa asiakkaalle. Tällä tavalla menetelmästä saadaan suurin hyöty. Weller et al. (2015, s. 43–56.) on esitellyt tutkimuksessa neljän tyyppistä tuotantoa harjoittavaa teollisuuden alaa, jotka voivat ensimmäisenä hyötyä lisäävästä valmistuksesta. Ensimmäisenä ovat pienen menekin tuotteet, esimerkkinä prototyypit, mutta myös esimerkiksi pitkän käyttöiän tuotteiden varaosat, joita muuten ei olisi saatavilla. (Khajavi & Partanen & Holmström, 2014, s. 55–59.) Toisena ovat monimutkaiset tuotteet, kuten esimerkiksi kevyet, mutta lujat rakenteet lentokone- tai autoteollisuudessa. Näissä tuotteissa lisäävän valmistuksen etuna on kappaleen lujuuden säilyttäminen, vaikka materiaalinkäyttö on vähäisempää. Monimutkaisiin tuotteisiin lukeutuvat myös erilaiset sisäisiä muotoja sisältävät kappaleet, joita ei perinteisillä menetelmillä voida valmistaa. Kolmantena kategoriana ovat massaräätälöidyt tuotteet, kuten yksilölliset proteesit, mutta myös esimerkiksi asiakastarpeen mukaan tehdyt tuotteet. Viimeisenä, neljäntenä käyttökohteena on teknologian hyödyntäminen paikoissa, johon on huonot kulkuyhteydet, esimerkiksi

öljynporauslautoilla. Taulukossa 1 on esitetty lisäävän valmistuksen hyviä ja huonoja puolia taloudelliselta näkökannalta. (Weller et al., 2015, s. 46–56; et al., 2014, s. 196–200.)

Taulukko 1. Lisäävän valmistuksen mahdollisuudet ja rajoitukset taloudelliselta näkökannalta (mukaillen Weller et al. 2015, s. 46).

Mahdollisuudet	Rajoitukset
+ Tuoteinnovaation yksinkertaistaminen, tuotekehitysversiot ovat suhteellisen halpoja ja lopputuotteet nopeasti saatavilla	- Tuotannon kallis hinta esimerkiksi materiaalien osalta
+ Tuotteen hinta pystytään perustelemaan räätälöitävyydellä sekä toiminnallisilla parannuksilla	- Puuttuvat laatustandardit
+ Asiakkaan kanssa yhteistyössä suunnitellut tuotteet ilman suuria tuotannollisia kustannuksia	- Immateriaalioikeuksien ja patenttien tuomat rajoitteet
+ Ei lisäkustannuksia suuremmasta tuotevalikoimasta	- Koulutuksen tarve, osaava henkilökunta tarpeellinen
+ Tilausohjautuva tuotanto ja varaston pienentäminen	- Ei sovellu massatuotantoon
+ Kokoonpanojen vähentäminen	- Tuotevalikoima rajoittuu teknilliseen toteutettavuuteen
+ Paikallistuotanto	
+ Markkinoille pääsyn kynnyksen pienentäminen	

5.1 Käyttöönotto ja sen vaatimukset

Lisäävän valmistuksen käyttöönotto edellyttää yrityksen sisäisten resurssien, taloudellisen tilanteen, koulutuksen tarpeen ja käyttöön oton kannattavuuden arvioinnin. Tarkka tutkimus esimerkiksi SWOT-menetelmä auttaa puntaroimaan etujen ja riskien suhdetta. Se on syytä tehdä analysoidessa investoinnin kannattavuutta. SWOT -menetelmän nimi on englanninkielinen akronyymi sanoista vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet ja uhat (strengths, weaknesses opportunities, threats). SWOT -analyysi tehdään usein käyttäen avuksi 2x2-matriisia, jossa vahvuudet ja heikkoudet ovat sisäisiä tekijöitä, mahdollisuudet

ja uhat ulkoisia. Kuvassa 17 on esitetty lisäävän valmistuksen SWOT-analyysi tuotteiden jakelijan kannalta. Tässä analyysissä vahvuuksia ja heikkouksia ovat itse lisäävään valmistukseen tekniikkaan liittyvät asiat. Mahdollisuudet ja uhat liittyvät markkinoihin ja ovat näin ollen SWOT-menetelmän mukaisia ulkoisia tekijöitä. (Shinbara, 2015.)

Taulukko 2. Lisäävän valmistuksen SWOT-nelikenttäanalyysi tuotteiden jakelijan näkökulmasta (mukaillen Shinbara, 2015).

Lisäävän valmistuksen SWOT, jakelijan näkökulma	
<p>Lisäävän valmistuksen vahvuudet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Lyhentyneet tuotteiden läpimenoajat - Mahdollistaa digitaalisuuden - Vähemmän työstöä ja toissijaisia kustannuksia 	<p>Mahdollisuudet markkinoilla</p> <ul style="list-style-type: none"> - Jakeluoikeudet alkuperäisiltä laitevalmistajilta - Kumppanuudet ja tuotevalikoiman laajentaminen sitä kautta - Markkinarako perinteisen tuotannon laajentamiseen
<p>Lisäävän valmistuksen heikkoudet</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vain muutamia materiaaleja ja prosesseja teolliseen valmistukseen tällä hetkellä - Jälkikäsitteilyn tarve - Luotettavuus ja toistettavuus 	<p>Uhat markkinoilla</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nykyiset asiakkaat hankkivat itse teknologiaan vaadittavat laitteet - Perustettavat paikalliset huolto ja varaosatoimijat sekä varastomallinen liiketoiminta - Aikaiset käyttäjät vahvistavat asemiaan toimittajana

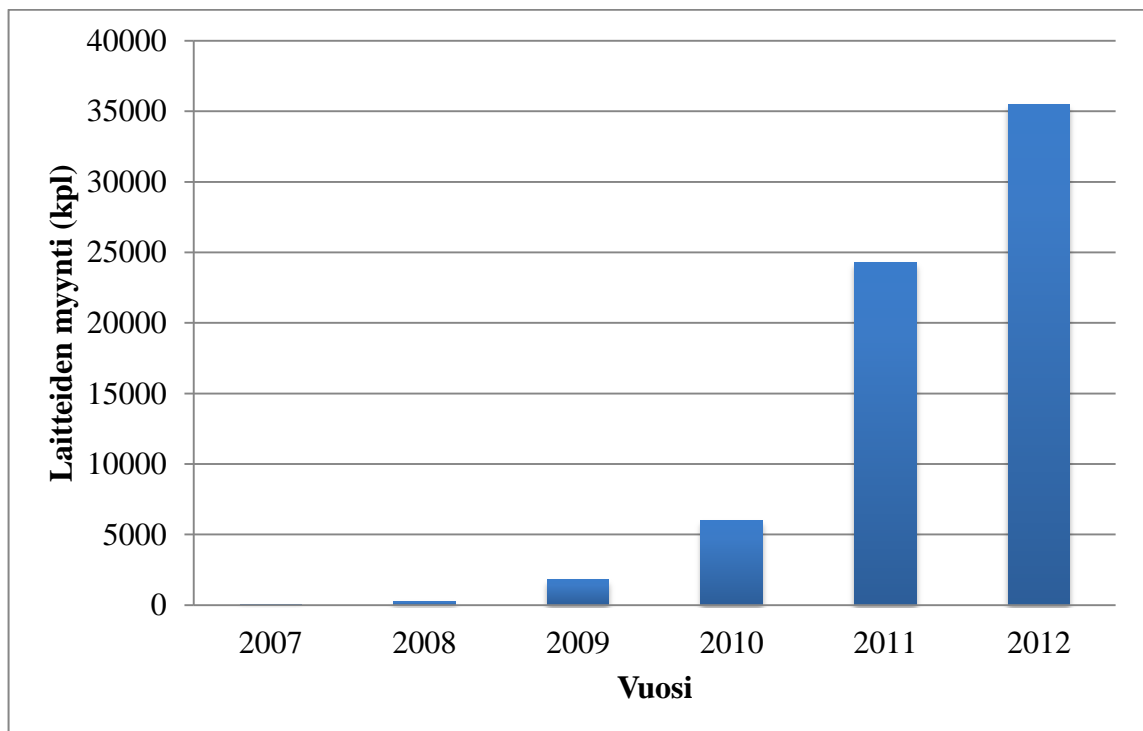
Laitteen käyttöönottoa täytyy seurata myös hankinnan jälkeen. Sen käytön tarkoituksenmukaisuutta yrityksessä pitää pyrkiä analysoimaan ja ohjaamaan käyttöä tehokkaammaksi. Myös säännöllinen arviointi ja laitteiston päivittäminen on tarpeen, jotta hankinta pystytään pitämään kannattavana. (Ali, 2013, s. 215–218, 220.)

Jotta tekniikan käyttöönotto olisi kannattavaa, täytyy pystyä tunnistamaan oikeat käyttökohteet, joilla saavutetaan suurin mahdollinen hyöty. Lisäävä valmistus on menetelmästä riippuen noin 10–100 kertaa hitaampaa kuin perinteiset menetelmät ja pinnanlaatu voi olla 10 kertaa huonompi kuin esimerkiksi jyrsimällä valmistetussa

kappaleessa. Käyttöön otossa täytyy myös ottaa huomioon, että pelkästään materiaalia lisäävästi ei yleensä pystytä valmistamaan kokonaan valmiita kappaleita ja tarkkuutta vaativissa kappaleissa täytyy yhdistää useampi eri menetelmä. Jos valmistettava kappale täytyy joka tapauksessa viimeistellä valmistuksen jälkeen, ei itse prosessissa kannata keskittyä parhaaseen mahdolliseen pinnanlaatuun. Näin ollen pystytään kappaleen valmistuksessa käyttämään suurempaa tehoa, paksumpia kerroksia ja prosessi nopeutuu. (Arntz, 2015.)

5.2 Vaikutus teollisuuteen

Materiaalien pursotukseen perustuvien laitteiden patenttien vanhentuminen on saanut kotikäyttöön tarkoitettujen, halpojen muovilaitteiden, ns. kuluttajatulostimien valmistuksen lisääntymään räjähdysmäisesti. Tästä syystä myös laitteiden hinnat ovat pudonneet ja myynnit kohonneet samassa suhteessa (kuva 18). Metallien jauhepetitekniikan patentit vanhenivat helmikuussa 2014, joten sen mahdollisesti lähivuosina aiheuttama metallinvalmistuskoneiden hinnan romahtaminen ja laitekannan kasvu voi saada aikaan, että teollisessa valmistuksessa siirrytään pienimuotoisiin yrityksiin ja alihankintaan suurten hallitsevien valmistusyritysten sijaan. (Additive manufacturing: opportunities and constraints, 2013, s. 4.)

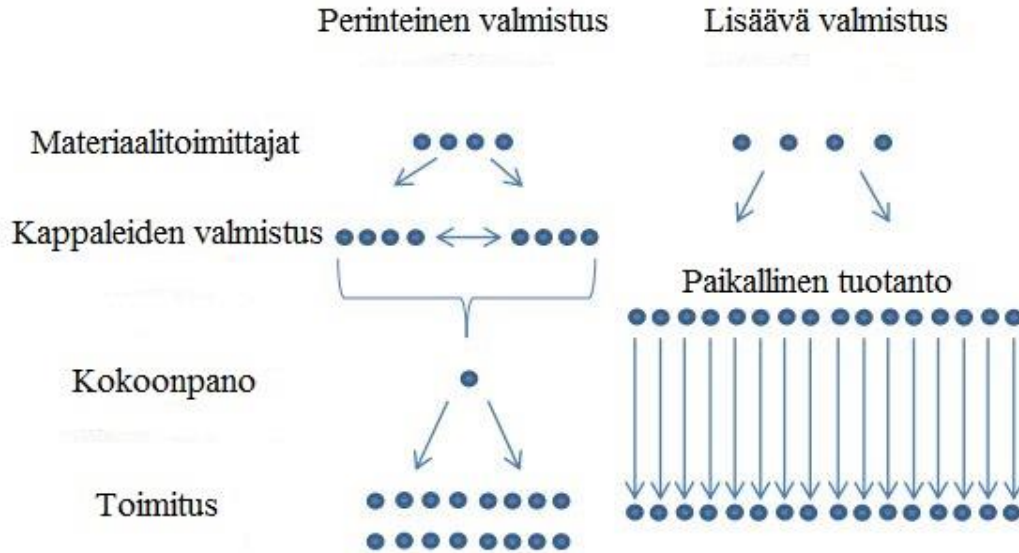


Kuva 18. Kuluttajatasoisten lisäävän valmistuksen laitteiden myynti vuosittain 2007–2012. Kuluttajatasoiseksi laitteeksi tässä tapauksessa luokitellaan alle 5000 \$ maksavat. (Mukaiillen TCT Magazine, 2013.)

Tulevaisuudessa laitteet halventuvat samalla, kun itse laitteiden tekniikka kehittyy ja ne muuttuvat yhä hienovaraisemmiksi (Kliezmann, Pitt & Berthon, 2015, s. 213). Tekniikan halventuminen voi johtaa sellaiseen tuotantotapaan, jossa pystytään reagoimaan helposti kysyntään ja sen vaihteluihin. Kun yhä useampi yritys voi alkaa tarjoamaan valmistuspalveluita, toimitusketjut lyhenevät, koska valmistus on lähellä asiakasta. (Additive manufacturing: opportunities and constraints, 2013, s. 6–7.)

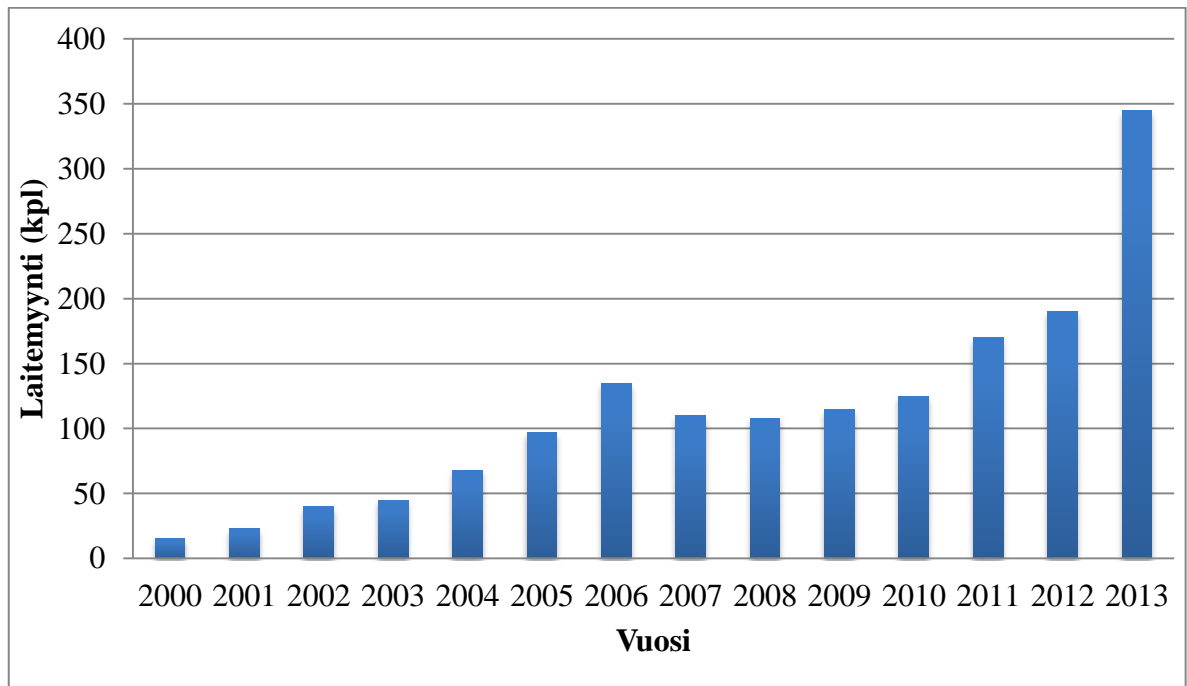
Yksittäisten valmistus- ja yhteistyöverkostojen luontia ja muodostumista pitää suosia. Verkostot mahdollistavat yhtiöiden välisen tiiviimmän yhteistyön sekä tätä kautta uusien tuoteratkaisuiden ja innovaatioiden tehokkaamman syntymisen. Paikallisten, asiakasta lähellä olevien, valmistuskeskusten syntyminen parantaa myös toimitusketjua. Koska valmistuskeskittymät ovat paikallisia, mahdollisten valmistusketjussa tapahtuvien häiriöiden vaikutus keskittyy paikallisesti, toisin kuin tilanteessa, jossa suuri keskus palvelee laajempaa aluetta. Lisäävän valmistuksen mahdollistama toimitusketjumallin

periaate on esitetty kuvassa 19, jossa sitä on verrattu perinteiseen valmistusketjumalliin (Thomas & Gilbert, 2014, s. 14-15; Holmström et al., 2010, s. 690–692).



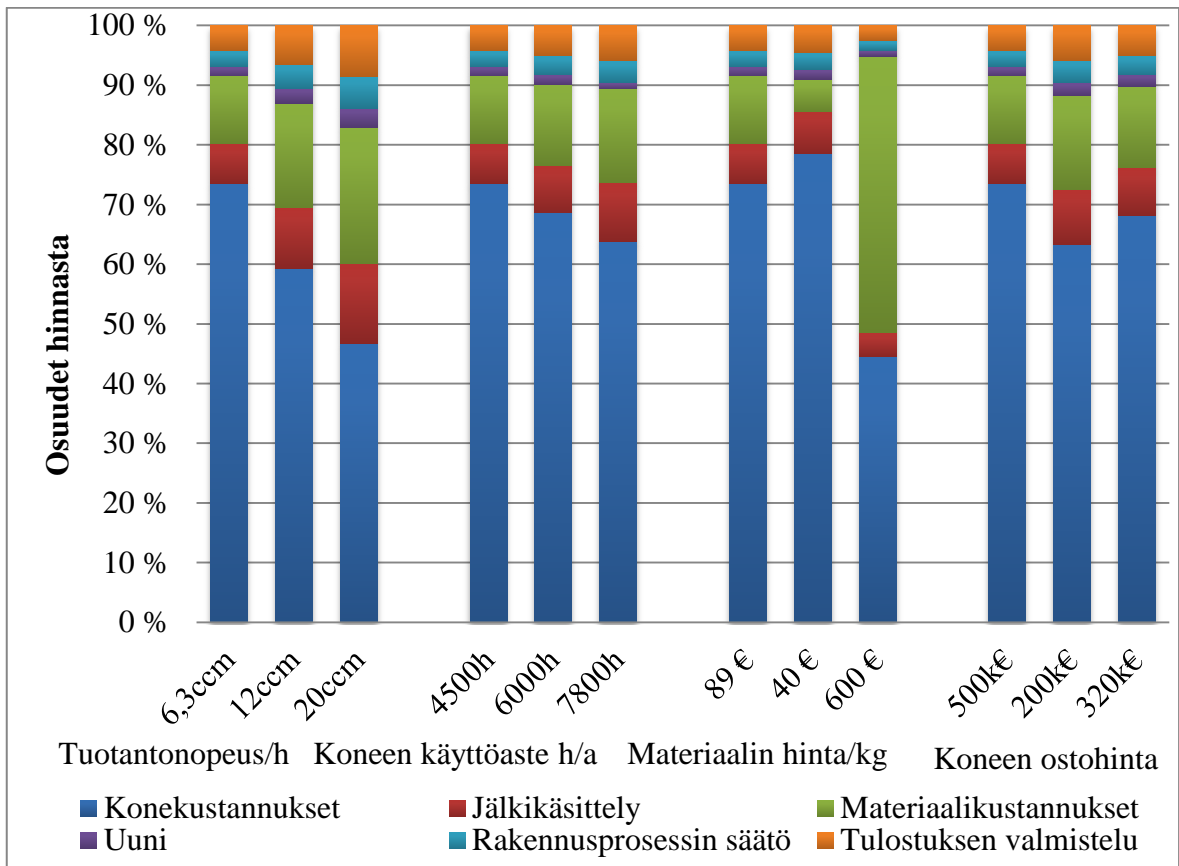
Kuva 19. Valmistus ja toimitusketjun muutos. Vertailtuna perinteinen valmistus ja lisäävä valmistus (Thomas & Gilbert, 2014, s. 15).

Laitehinnat hidastavat ja vaikeuttavat suuren valmistuskapasiteetin omaavien tehtaiden perustamista. Myös prosessin hitaudesta johtuvat prosessikustannukset vaikeuttavat teollista käyttöönottoa. Tästä huolimatta myös teolliseen käyttöön tarkoitettujen metallikoneiden myynti on kasvanut voimakkaasti vuosi vuodelta (kuva 20). Lisäyvä valmistuksen käyttö vaatii uudenlaisen ajatusmallin luomista. Siinä lisäävällä valmistuksella tehdyn tuotteen hyöty lasketaan koko tuotteen elinkaaren ajaksi, eli kuinka paljon säästöä se voi tuoda koko tuotteen eliniän aikana. Ei voida enää perustella hankintaa välttämättä sillä, mikä tuote on halvin valmistaa. (Mellor et al., 2014, s. 194, 198.)



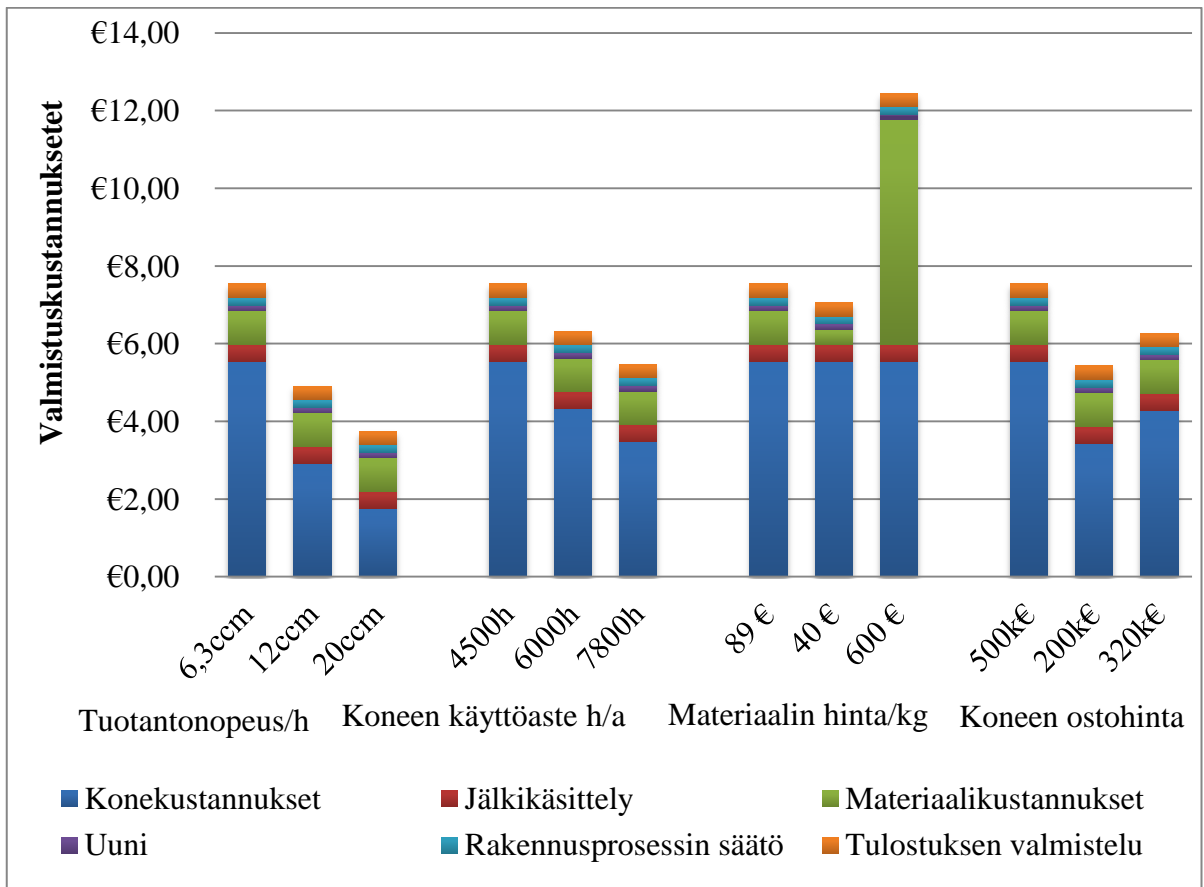
Kuva 20. Metallien lisäävään valmistukseen tarkoitettujen laitteistojen myynti 2000–2013 (Forbes / Tech, 2014).

Koska lisäävän valmistuksen laitteet ovat kalliita, konekustannukset ovat suurin osa kappaleen hinnasta. Valmistusnopeuden tai koneen vuotuisen käyttöasteen kasvattaminen pienentäisi käyttökustannuksia ja näin ollen laskisi lopullisen kappaleen hintaa. Myös useamman kappaleen tulostaminen samalla kertaa laskee koneen käyttöaikaa suhteessa yhteen valmistettavaan kappaleeseen ja laskee näin ollen kappalehintaa tiettyyn sarjakokoon asti. (Lindemann et al., 2012, s. 185–186; Piili et al., 2014, s. 22–24.) Kuvassa 21 on esitetty eri valmistuskustannusten suhteelliset osuudet koko valmistuskustannuksesta.



Kuva 21. Jauhepetiprosessilla metallista valmistetun kappaleen hinnan muodostuminen ja eri kulujen suhteelliset osuudet esimerkkikappaleen hinnasta (mukaillen Lindemann et al., 2012, s. 185).

Eri parametrien, kuten tuotantonopeuden tai koneen käyttöasteen muutoksien vaikutusta kappaleen lopulliseen hintaan voidaan vertailla muuttamalla yhtä parametria kerrallaan. Kuten kuvasta 22 huomataan, jauhepetiprosessin nopeutta lisäämällä saataisiin huomattavat säästöt kappaleen lopullisessa kokonaishinnassa muiden kustannusten pysyessä samana.



Kuva 22. Jauhepetiprosessilla metallista valmistetun kappaleen hinta ja sen muutokset eri prosessin osa-alueita muutettaessa (mukaiillen Lindemann et al., 2012, s. 186).

Koska useamman kappaleen valmistaminen samalla alustalla laskee yksittäisen kappaleen hintaa, on edullista sijoittaa rakennusalustalle mahdollisimman monta kappaletta yhtä aikaa. Kun valmistettavien kappaleiden maksimikorkeus pysyy samana, vähentää useamman kappaleen valmistaminen kerralla yhteen kappaleeseen käytettyä valmistusaikaa ja siten koneen käyttökustannuksia. Koska jauheen levitys alustalle vie suuren osan valmistusprosessin ajasta, ei kappaleiden määrän kaksinkertaistaminen kaksinkertaista valmistusaikaa, jos kappaleiden korkeus on sama. Kuvassa 23 on vertailtu samanlaisten kappaleiden sarjatuotantoa metallien jauhepetiprosessilla. Kuvan esimerkkikappaleet on sijoitettu samalle alustalle ja vaikka kappaleiden määrä on 40, kestää koko sarjan valmistus noin 8 kertaa kauemmin verrattuna yhden kappaleen valmistukseen. (Piili et al., 2014, s. 22–24.)

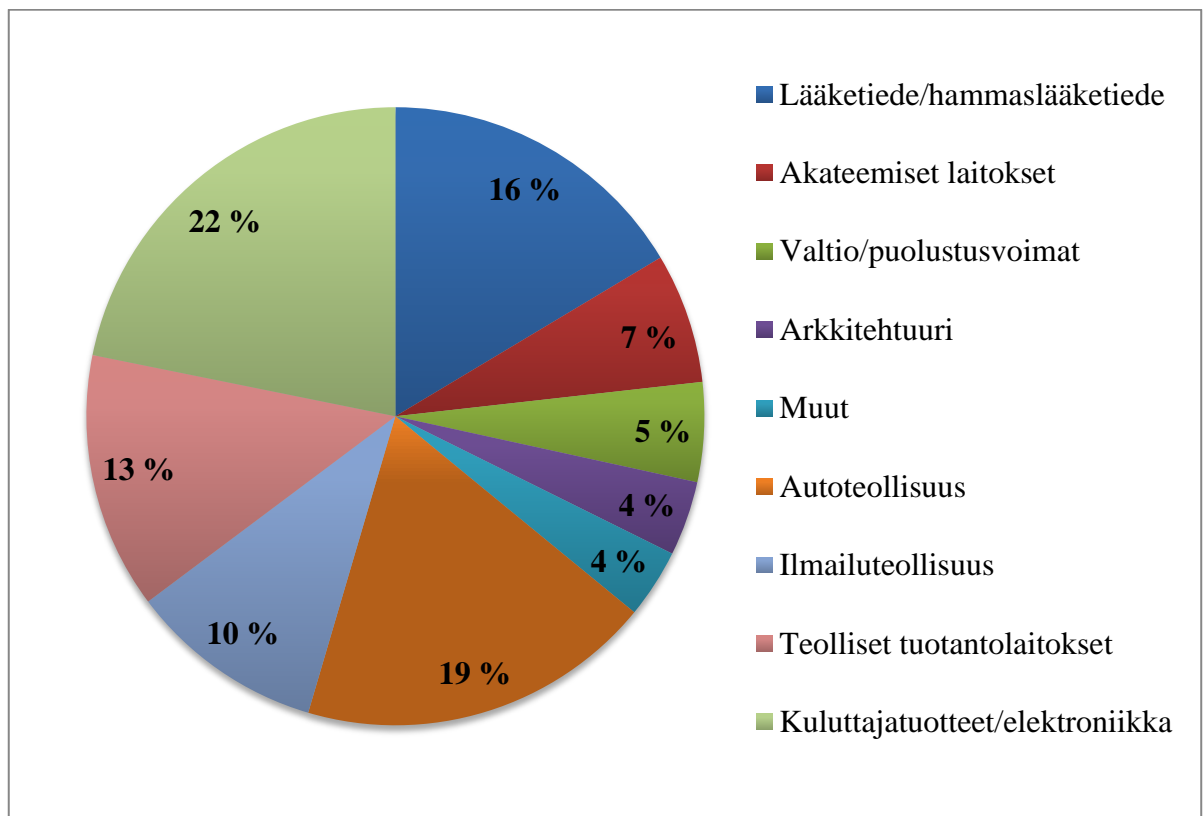
Taulukko 3. Metallien jauhepetiprosessi sarjatuotannossa, energian kulutus ja valmistusaika (mukaillen Piili et al., 2014, s. 23).

	Yksi kerrallaan	40 kpl samalla alustalla
Valmistusaika	8 h 49 min	67 h 42 min
Valmistusaika/kappale	8 h 49 min	1 h 42 min
Energian kulutus	22,5 kWh	173 kWh
Energian kulutus/kappale	22,5 kWh	4,3 kWh
Materiaalikustannus/kappale	2,44 €	2,44 €

Koska konekustannukset ovat suurin osa lopullisen kappaleen hinnasta ja kappaleen korkeus on suurin tekijä koneajasta, saadaan samalla alustalla tehtävästä sarjatuotannosta suuri hyöty. Yksi kerrallaan valmistettavan kappaleen hinnaksi on laskettu tässä tapauksessa 158,23€. Kun kappaleita saadaan valmistettua alustalla 40 kappaletta yhdellä kertaa, muodostuu yhden kappaleen hinnaksi enää 32,35€. (Piili et al., 2014, s. 22–24.)

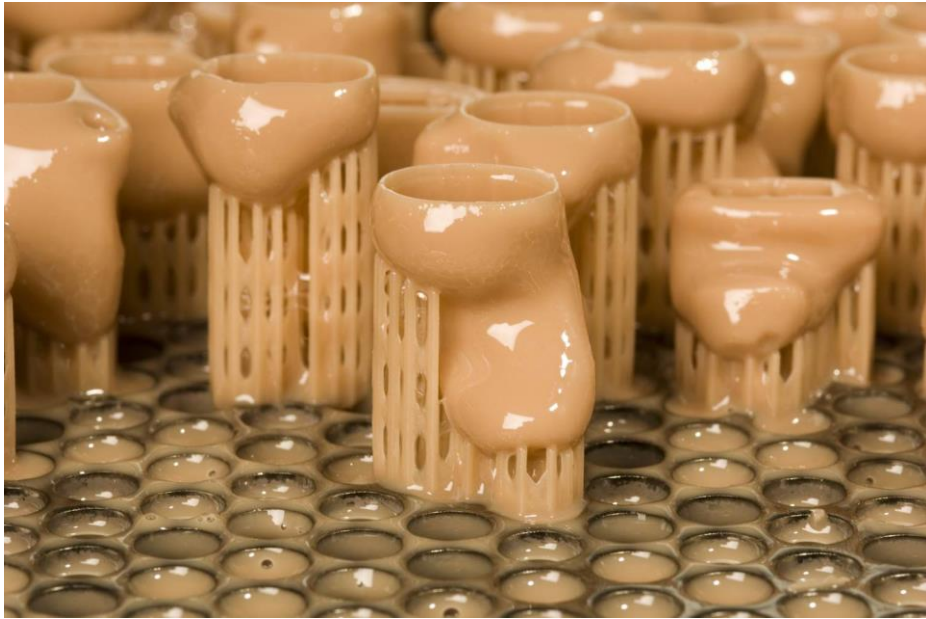
6 TEOLLISUUDEN TILANNEKATSAUS MAAILMALTA

Lisäävä valmistus teollisuudessa on nopeasti vaihtunut pelkkien mallien ja prototyyppien tekemisestä lopputuotevalmistukseen. Teknologiaa käytetään jo lentokoneollisuudessa, lääketieteessä ja autoteollisuudessa. Myös kuluttajatuotteiden valmistus on yksi lisäävän valmistuksen suuri käyttäjäryhmä. Kuvassa 23 on esitelty miten lisäävän valmistuksen käyttö teollisuudessa on jakautunut. Siitä voi nähdä edellä mainitut teknologian suurimmat vetäjät.



Kuva 23. Lisäävän valmistuksen käyttö aloittain teollisuudessa ja muun tyyppisten tuotteiden valmistuksessa (mukaillen Wohlers Associates, 2013, s. 10).

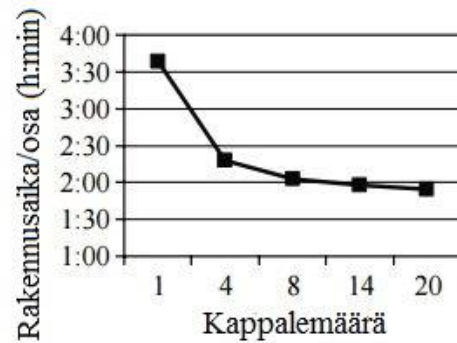
Esimerkiksi kaikki kuulokojeita valmistavat lääketieteen yritykset hyödyntävät lisäävää valmistusta räätälöityjen, asiakkaan korvan mukaan mallinnettujen osien valmistukseen. Lisäävä valmistus mahdollistaa usean erilaisen kuulolaitteen valmistuksen samanaikaisesti. Kuvassa 24 on esitetty kuulolaitteiden osien valmistusta allasvalokovetuksella. (D’Aveni, 2015; Banker 2013; Gartner, 2015.)



Kuva 24. Usean, asiakkaan korvan mukaan räätälöidyn kuulolaitteen kuoren valmistusta samaan aikaan allasvalokovetuksella (Disruptive Innovation.se, 2013).

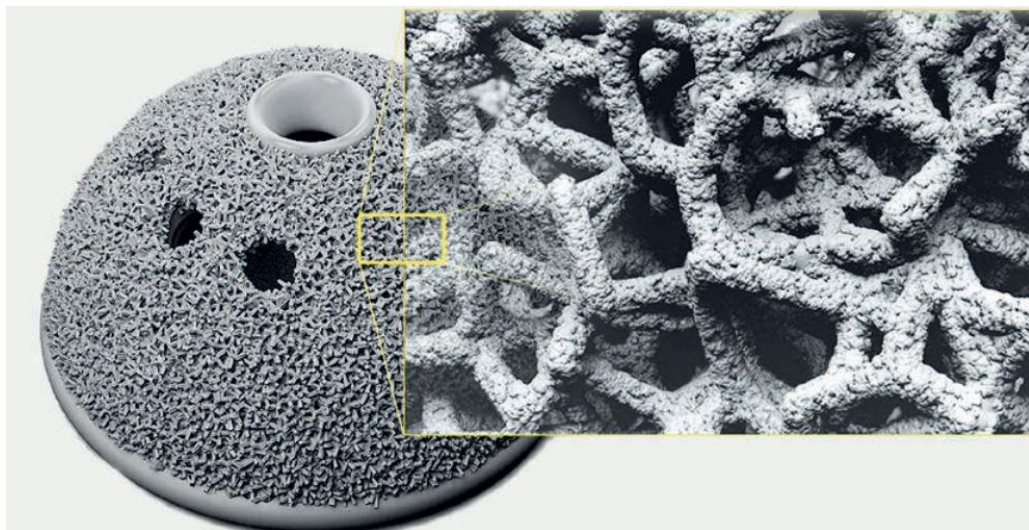
Myös teolliseen lisäävään valmistukseen soveltuvien laitteiden myynti on kovassa nousussa. Esimerkiksi vuonna 2014 Yhdysvalloissa lisäävän valmistuksen teollisuuslaitteistojen myynti oli jo 1/3 teollisuusrobottien myynnistä. Koska voidaan myös olettaa, että nykyistä vielä hidasta tuotantonopeutta pystytään kasvattamaan, tulee teknologia hyvin todennäköisesti nousemaan vähintään nykyisten valmistustekniikoiden rinnalle. (D’Aveni, 2015.)

Lääketiede on teollisen valmistuksen puolelta teknologian yksi suurimpia vetäjiä, koska alalla tarvitaan pieniä yksilöllisesti ja asiakaskohtaisesti räätälöityjä tuotteita jatkuvasti. Lisäävillä menetelmillä pystytään lääketieteessä lyhentämään ja yksinkertaistamaan huomattavasti valmistusketjua ja samalla valmistamaan tuotteita jotka ovat luotettavampia ja mukavampia käyttää. Esimerkiksi kuulokojeen valmistusketjuun kuluva aika voidaan vähentää jopa 80 %. (Snyder, Cotteleer & Kotek, 2014.) Vandenbroucken ja Kruthin (2007, s. 202–203) tekemän tutkimuksen mukaan esimerkiksi hammaslääketeollisuudessa voidaan titaanista valmistaa lasersulatuksen avulla tehokkaasti ja nopeasti valmistaa potilaskohtaisia proteeseja (kuva 25).



Kuva 25. Vasemmalla on esitetty metallista lisäävästi valmistettu hammasproteesi, oikealla sen valmistukseen kulunut aika ja kappalemäärän vaikutus yhden kappaleen valmistusaikaan (Vandenbroucke & Kruth, 2007, s. 203).

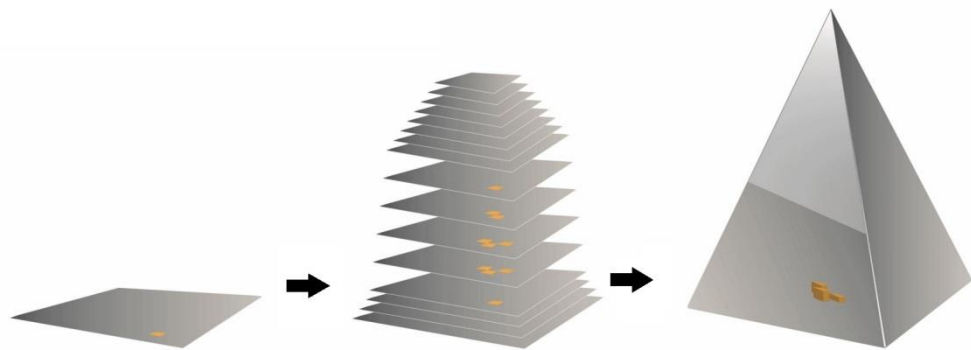
Lääketeollisuuden proteesivalmistuksessa on myös mahdollista saavuttaa muita etuja. Lisäväällä valmistuksella voidaan kappaleesta tehdä juuri oikeanlainen ja kappaleen pintaan voidaan rakentaa samassa prosessissa, kappaleen valmistuksen yhteydessä, verkkomaista rakennetta, jonka avulla vähennetään kehon luontaista hylkimisreaktiota vieraisiin kappaleisiin (kuva 26).



Kuva 26. Lasersulatuksella metallista valmistettu nivel, jonka pintaan on rakennettu elimistön hylkimisreaktiota rajoittava verkkomainen rakenne (Additive Manufacturing in the Medical Field, 2013, s. 1).

Tällä hetkellä tekniikan teollista käyttöä rajoittaa kestävien kappaleiden valmistaminen, valmistuslaadun toistettavuus ja sen varmistus. Jotta tekniikka saadaan yleiseen käyttöön

teollisuudessa, täytyy valmistajien pystyä tarjoamaan asiakkaalle luotettavia tuotteita ja tuotelupauksia. Tuotteiden laadun lisäksi pyritään koko ajan kasvattamaan tekniikan tuottavuutta sekä alentamaan valmistettujen kappaleiden hintaa. Yksi kehityskohteista tällä hetkellä on valmistusprosessin monitorointi. Monitorointia voidaan suorittaa esimerkiksi kuvaamalla prosessia suurnopeuskameralla. Kameran kuvien perusteella voidaan jokaisesta kerroksesta muodostaa yksityiskohtainen kuva ja tarkastella prosessin onnistumista. Jo nykyään pystytään kappaleesta muodostamaan 3D-kuva, josta voidaan nähdä prosessivirheet kuten huokokset (kuva 27). Myös prosessissa syntyvää lämpöä pystytään tarkastelemaan esimerkiksi kameran avulla ja liiallisesta lämpenemisestä johtuvia virheitä ennustamaan (Craeghs et al., 2012, s. 757–759). Tekniikka ei kuitenkaan vielä mahdollista parametrien muuttamista kesken valmistusprosessin eikä esimerkiksi lentokone-teollisuus tätä edes salli, jotta pystytään varmistamaan kappaleiden toimivuus sovelluskohteessa. Jotta lisäävä valmistus saadaan juurtumaan perinteisten menetelmien rinnalle, pitää tekniikan toimia mahdollisimman saumattomasti niiden kanssa. Tavoitteena on luoda teollisuuteen yhä automaattisempia valmistuslaitoksia, joissa työntekijän ei tarvitse olla jauhekosketuksessa, vaan kappaleen jälkikäsitteily ja työstö on automatisoitu. Myös prosessin monitoroinnista on eri valmistajilla erityyppisiä sovelluksia. (Abeln, 2015.)



Kuva 27. Havainnekuva EOS:n kehittämästä lisäävän valmistusprosessin monitorointijärjestelmästä joka rakentaa kuvan kappaleesta, josta mahdolliset virheet voidaan havaita (EOSTATE MeltPool Monitoring).

Lisäävät valmistusmenetelmät ovat paljon käytössä autoteollisuudessa, joka on kyseisen teknologian teollisen kehityksen toinen suuri vetäjä. Esimerkiksi Audi ja BMW pyrkivät yhdistämään lisäävän valmistuksen menetelmiä sekä perinteisiä menetelmiä esimerkiksi työkalumuottien ja niiden osien valmistuksessa. On huomattu, että tulostetut osat

muoteissa kestävät syntyviä rasituksia paremmin kuin jyrsimällä valmistetut. Myös jäähdytyskanavistojen valmistus kuumamuovaustyökaluihin lisäävästi mahdollistaa nopeamman työkalun jäähtymisen ja siten nopeamman valmistuksen. Työkalut voivat lisäksi olla kevyempiä kuin perinteiset, jolloin niiden liikkeet kuluttavat vähemmän energiaa. Valmistukseen liittyvien työkalujen lisäksi lisäävän valmistuksen menetelmiä voidaan käyttää parantamaan työntekijöiden työkykyä, esimerkiksi kokoonpanolinjalla käsityönä samanlaista liikettä tekeville työntekijöille voidaan valmistaa yksilöllisiä sormitukia (kuva 28), jotka pienentävät rasitusta ja mahdollisuutta rasitusvammaan. Myös erilaisia kokoonpanoja nopeuttavia automallikohtaisia asennustyökaluja sekä harvinaisempien automallien varaosia valmistetaan. Metallien lisäävät menetelmät ovat jo näiltä osin kovassa käytössä, mutta muovien osalta autoteollisuudessa ei vielä olla sillä tasolla millä voitaisiin ja haluttaisiin olla. (Breme, 2015; Friedrich, 2015.)



Kuva 28. BMW:n valmistama työntekijälle personoitu sormituki, joka auttaa vähentämään asennustyössä kehoon kohdistuvaa rasitusta (BMW Group, 2015).

Lisäävän valmistuksen laitteiden rakentamiseen erikoistuneen yhtiön Stratasysin ja BMW:n mukaan käsikäyttöisiä asennustyökaluja lisäävästi valmistettaessa, saavutetaan etuja perinteisin menetelmin valmistettuihin verrattuna. Esimerkiksi erään BMW:n

tekemän tutkimuksen mukaan työkalun painoa on voitu pudottaa jopa 72 prosenttia alkuperäisestä, mikä tässä työkalussa tarkoittaa 1.3 kg:n painonpudotusta. Tässä tapauksessa alkuperäinen työkalu oli valmistettu koneistamalla alumiinista. Lisäavulla valmistuksella kappale tehtiin muovista ja sisusta jätettiin ontoksi tukirakenteita lukuun ottamatta (kuva 29). Työkalun valmistusprosessia muuttamalla pystyttiin tämän lisäksi säästämään rahaa sekä valmistusaikaa. Valmistusaika väheni alkuperäisestä 18 päivästä vain 36 tuntiin. Rahallinen säästö osaa kohden on 58 % eli 244 \$. Tämäntapainen optimointi vähentää myös rasitusta, parantaa laitteen käytettävyyttä ja mahdollistaa työntekijän mukaan suunnitellun laitteen. (Stratasys, 2013.)



Kuva 29. Asennustyökalu käytettäväksi autojen valmistuksessa (Stratasys, 2013).

Kolmas lisääviä valmistusmenetelmiä vetävä teollisuuden ala on ilmailuteollisuus. Pienilläkin painonpudotuksilla on lentokoneissa saavutettavissa koneen elinkaaren aikana suuria säästöjä. Kappaleille on kuitenkin erittäin suuret laatuvaatimukset, jotta turvallisuus voidaan säilyttää. Lentokoneissa käytettävät kappaleet vaativat kovaa testausta ja tällä hetkellä suurin ongelma on tuotteen laadun varmistuksessa ja kappaleen toistettavuudessa. Kappaleeseen saattaa valmistuksen aikana syntyä mikrokokoisia halkeamia, joita voi olla vaikea havaita ja siksi valmistusprosessin seuranta on tärkeässä osassa. Koska itse valmistusprosessia ei voida kuitenkaan muuttaa, ei seurannasta tällä hetkellä ole vielä kovin suurta hyötyä. GE-Aviation on tällä hetkellä suurin lisäävien menetelmien käyttäjistä lentokoneteollisuudessa ja on arvioitu, että vuoteen 2020 mennessä se yksinään on valmistanut yli 100 000 kappaletta lentokoneisiin. (Abeln, 2015.) Esimerkiksi Leap-moottorin polttoainesuuttimien valmistuksessa ennen 20 osasta valmistettu suutin saadaan

muutettua yhdeksi osaksi. Tämän lisäksi optimoiduilla muodoilla osan elinikää saadaan kasvatettua viisinkertaiseksi ja painoa pudotettua 25 %. Kuvassa 30 on esitelty Leap-moottorin polttoainesuutin. (Industrial Laser Solutions, 2013.)



Kuva 30. Jauhepetimenetelmällä CoCr (kobolttikromi) materiaalista valmistettu polttoainesuutin (Industrial Laser Solutions, 2013).

Potentiaali teollisuudessa nähdään osittain saavutettavan siten, että lisäävä valmistus pystytään liittämään perinteisiin menetelmiin saumattomasti. Näkyvissä on yhä enemmän automatisoituja tehtaita, joissa eri valmistusmenetelmiin perustuvat laitteet keskustelevat saumattomasti toistensa kanssa. Kun jälkikäsittely ja -työstö automatisoituvat, voidaan prosessia nopeuttaa huomattavasti ja synnyttää paikallisia valmistuskeskittymiä. Potentiaalia nähdään myös erilaisten muottien ja työkalujen valmistuksessa sekä varastojen pienentämisessä esimerkiksi varaosatulostuksen avulla. Erilaiset tuotekohtaisesti räätälöidyt asennustyökalut nopeuttavat jo nykyään valmistusprosessia senkin takia, että työkaluista saadaan valmistettua kevyempiä ja helpommin käsiteltäviä. Lisäksi niiden valmistus onnistuu yleensä alle vuorokaudessa. (Reis, 2015.)

7 TEOLLISUUDEN TILANNEKATSAUS SUOMESTA

Lisäävä valmistus on ollut Suomessa vahvasti tutkimuksen kohteena jo 1980-luvulta lähtien. Laseriin ja metallijauheen sulatukseen perustuva tekniikka onkin alun perin suomalainen Turussa tehty keksintö. Tästä huolimatta suomalaisessa teollisuudessa ei tekniikkaa ole kunnolla otettu käyttöön, vaikka sen luomat mahdollisuudet ovat suuria. Tässä kappaleessa käsitellään Suomessa jo tehtyjä tutkimuksia lisäävän valmistuksen käyttöönotosta yrityksissä ja tutkimuksissa havaittuja asioita yritysten tietämyksestä ja asenteesta tekniikkaa kohtaan.

Hämäläisen (2014, s. 39–49.) tekemän tutkimuksen mukaan on havaittu, että suurin osa pienistä ja keskisuurista (pk) yrityksistä ei koe hyötyvänsä lisäävän valmistuksen tuomista ratkaisuista. Hämäläinen on päätenyt tähän johtopäätökseen yrityksille tehdyissä haastatteluissa, joissa tutkittiin pk-yritysten kiinnostuneisuutta lisäävään valmistukseen ja metallien 3D-tulostukseen. Suomessa teknologian käyttö on vähäistä ja jos sitä käytetään, sovelluskohteena on prototyyppien valmistus. Hämäläisen tekemässä tutkimuksessa on kuitenkin huomattu, että monet yritykset pohtivat menetelmän mahdollisuuksia ja sitä, saadaanko siitä riittävää lisäarvoa, jotta sen käyttöönottoa kannattaa harkita. Jos lisäävällä valmistuksella valmistettuja kappaleita tarvitaan, käytetään pääsääntöisesti alihankintaa. (Hämäläinen, 2014, s. 39–49.)

Hämäläisen tekemän tutkimuksen pohjalta voidaan kuitenkin päätellä, että tarkemmassa käsittelyssä lisäävät valmistusmenetelmät herättävät kiinnostusta yrityksissä. Pk-yritykset Suomessa voivat menetelmän avulla parantaa kilpailukykyään lyhentämällä erikoiskappaleiden tuotantoaikoja. Menetelmää voitaisiin hyödyntää myös lopullisten, käyttökohteisiin valmiiden kappaleiden valmistuksessa sekä valmiiden prototyyppien valmistuksessa. Suomessa arvoa menetelmällä saavutetaan isojen ja pienten yritysten välisessä alihankintasuhteessa ja verkostoituminen ja erilaisten toimijoiden linkittyminen keskenään luo arvoa. Pienet yritykset voivat laajentaa tarjontaansa verkostoitumisen ja tapauskohtaisesti räätälöityjen kappaleiden valmistuksen avulla. (Hämäläinen, 2014, s. 39–49.)

Oululainen Oulu PMC (precision mechanics manufacturing centre), joka on perustettu CIM 2005 -hankkeessa, tarjoaa palveluita yrityksille ja oppilaitoksille. Yritys toimii myös pohjana tutkimukselle ja projekteille. Hankkeen aikana ja sen jälkeen yrityksessä tehty työ on saanut yritykset käyttämään laitteita ja palveluita lisäävien menetelmien osalta. Tämä on luonut alueen yrityksille potentiaalia omille investoinneille ja yritysten kasvulle. Oulu PMC:n tuoma lisäarvo valmistettavalle tuotteelle on nopeat vastauksen asiakkaiden tilaukseen sekä asiakkaiden tarpeiden tunnistaminen. Lisäävässä valmistuksessa on myös tärkeää tuntea omat valmistuslaitteet ja niiden valmistuskapasiteetti, jotta pystytään määrittämään aikataulut, joissa pystytään pysymään. (Lohilahti, 2011, s. 39–40.)

8 KOKEELLISEN OSUUDEN TAUSTA

Tämän diplomityön kokeellinen osa tehdään osana Cursor Oy:n, Kotkan-Haminan seudun kehittämissyhtiön, hallinnoimaa ja EU:n rahoittamaa 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hanketta. Kotkan-Haminan seutuun kuuluvat Kotkan ja Haminan lisäksi ympäröivät kunnat Pyhtää, Virolahti ja Miehikkälä. Hankkeen myötä Kotkan-Haminan seudulle perustetaan itsenäisesti toimiva ja kannattava lisäävää valmistusta harjoittava yritys. Yrityksen pääasiallisena tavoitteena on tarjota lisäävän valmistuksen palveluita suomalaisille yrityksille sekä verkostoida jo olemassa olevaa, mutta osittain hajanaista suomalaista lisäävän valmistuksen toimintaa. Työn kokeellisen osan avulla kartoitetaan Kaakkois-Suomen yritysten näkemyksiä lisäävästä valmistuksesta ja tuetaan näin perustettavan keskittymän toimintaa. Tämän työn kysely on keskeisessä osassa, kun tarkastellaan mahdollista keskittymän liiketoimintasuunnitelmaa ja potentiaalisia asiakkaita sekä yhteistyökumppaneita seudulta. Keskittymän tarkoituksena on myös luoda Kotkan-Haminan seudulle muuta kannattavaa liiketoimintaa lisäävän valmistuksen ympärille, jolla pystytään muun muassa tukemaan paikallisten yritysten kehittymistä. 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä toimii tiiviissä yhteistyössä Aalto-yliopiston, Kymenlaakson ammattikorkeakoulun sekä Lappeenrannan teknillisen yliopiston kanssa. Korkeakoulujen lisäävän valmistuksen osaaminen yhdistetään näin alueella jo olevaan vahvaan teolliseen osaamiseen ja pyritään näin luomaan yritysten tuotevalikoimasta valituille tuotteille parempia ratkaisumalleja. 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hankkeen avulla levitetään yrityksille ja yksityishenkilöille myös tarkempaa tietoa lisäävästä valmistuksesta ja siihen kuuluvista eri tekniikoista.

9 TAVOITE JA TARKOITUS

Kysely koostuu kahdesta selkeästä osiosta. Kyselyn ensimmäisen osion tarkoituksena oli kartoittaa yleisellä tasolla tarpeesta ja kokemuksista lisäävään valmistukseen liittyen sekä menetelmän käytöstä. Toinen osuus oli tarkempi kartoitus yrityksille, joilla lisäävä valmistus on käytössä tai sen käyttöä on kokeiltu. Tavoitteena oli kerätä tietoa siitä, miten moni alueen yrityksistä tunsi lisäävän valmistuksen menetelmänä, kuinka moni sitä oli omassa toiminnassaan kokeillut, kuinka hyödyllisenä sitä pidettiin ja minkälaista apua käyttöönotossa tai käytössä yritykset kaipaisivat. Myös käytössä olevista materiaaleista tiedusteltiin. Kyselyn tavoitteena oli kerätä yleinen tieto siitä, miten Kaakkois-Suomen alueella lisäävä valmistus on menetelmänä tunnettu ja millainen kiinnostus on lähteä kehittämään sen tuntemusta ja käyttöä eteenpäin. Vaikka itse 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hanke sijoittuu Kotkan-Haminan seudulle, haluttiin kuitenkin ottaa kyselyn alueeksi Kaakkois-Suomi. Tarkoituksena on myös luoda kuva 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymän potentiaalisesta asiakaskunnasta. Koska nähtiin, että yritykset eivät välttämättä tiedä, mitä lisäävä valmistus on, he eivät myöskään osaa ottaa yhteyttä asian osalta. Näin ollen valtaosassa tapauksista yhteydenpito yritykseen päin täytyy aloittaa itse. Kyselyn tarkoituksena oli toimia myös ajatusten sekä kiinnostuksen herättäjänä lisäävää valmistusta kohtaan, jos vastaava yritys sitä ei vielä ollut kokeillut. Kyselyssä tarjottiin myös mahdollisuutta tarkempaan haastatteluun ja lisäävään valmistukseen liittyvään neuvonantoon. Tällä kysymyksellä voidaan nähdä se, miten yritykset itse näkevät menetelmän sekä sen mahdollisuudet ja kokeeko yritys sen toiminnalleen hyödylliseksi. Kysely on liitteessä I.

10 LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TARVE KAAKKOIS-SUOMESSA

Seuraavissa kappaleissa esitellään tämän työn kokeellisena osuutena toimiva kysely. Kyselyn suoritusmenetelmä ja tavoite käydään läpi yhdessä kyselyyn osallistuneiden yritysten valintaperusteiden kanssa.

10.1 Kysely ja sen toteuttaminen

Tämän diplomityön kokeellisen osuuden kysely tehtiin lähettämällä webropol-pohjainen kysely valittuihin kohdeyrityksiin. Tällä varmistuttiin siitä, että kaikki kysymyksiin vastaavat yritykset saavat saman kyselyn eikä esimerkiksi puheen avulla johdattelevia lisäkysymyksiä voi tehdä. Kyselyn ohella käytiin myös 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hankkeen aikana muutamassa yrityksessä keskustelemassa henkilökohtaisesti lisäävästä valmistuksesta, sen mahdollisista vaikutuksista yritysten toimintaan ja yritysten omista näkemyksistä. Nämä yritykset ovat myös vastanneet webropol-kyselyyn ennakkoon. Kyselyn lisäksi näissä keskusteluissa tehtyjä havaintoja käytetään arvioitaessa lisäävän valmistuksen tarvetta ja menetelmän ymmärrystä Kaakkois-Suomen teollisuudessa. Webropol-kyselyn ja henkilökohtaisen haastattelun tuloksia myös vertaillaan osittain, ja haastattelun vaikutuksia yritysten mielipiteisiin lisäävää valmistusta kohtaan pohditaan.

Kyselyn pohjana on käytetty Lappeenrannan teknillisen yliopiston FAST COINS -hankkeen aikana tehtyä kyselyä. Hanke on toteutettu vuosina 2013–2014 ja sen rahoittajana toimi innovaatioiden rahoittamiskeskus TEKES. Hankkeessa oli mukana myös Lappeenrannan ammattikorkeakoulu (Saimia) sekä suomalaisia yrityksiä ja sen tarkoituksena oli tutkia innovaatio toiminnan kehittämistä. Eräs kehittämismenetelmä oli 3D-tulostus.

Kyselyssä lisäävästä valmistuksesta käytettiin termiä 3D-tulostus. Kyselyn alussa mainittiin kuitenkin myös, että 3D-tulostus -termillä tarkoitetaan yleisesti lisäävää valmistusta. 3D-tulostus termiä käytettiin, koska on oletettu että se on vielä yrityksille tutumpi termi kuin lisäävä valmistus. Termiä 3D-tulostus käytetään kuitenkin lähes poikkeuksetta kaikissa aiheeseen liittyvissä uutisissa ja lisäävää valmistusta harjoittavien

yritysten internetsivuilla kuvaamassa menetelmää. Lisäävä valmistus -termi haluttiin kuitenkin nyt tuoda yrityksille esiin juuri sen takia, että se kattaa kaikki aiheeseen liittyvät menetelmät.

10.2 Kohdeyritykset

Kyselyn yritykset valittiin Kaakkois-Suomen alueelta ja yritysten jakauma alueittain pyrittiin pitämään mahdollisimman tasaisena. Yritysten kokoluokkaa ei rajoitettu, mutta suurilta, yli 250 henkilöä työllistäviltä suomalaisilta ja kansainvälisiltä yrityksiltä vaadittiin merkittävän Suomen toimipisteen sijaitsevan Kaakkois-Suomen alueella. Kyselyn kohdeyrityksien toimiala rajoitettiin seuraavan luettelon mukaisesti:

- Konepajat
- Muut teollisuuden tuotteita valmistavat yritykset
- Suunnittelu- ja insinööritoimistot
- Paperi- ja prosessiteollisuus
- Rakennustoimistot
- Teollisuuden kunnossapito
- Lääketeollisuus

10.3 Valintaperusteet ja ryhmittely

Yritykset ja niiden toimialat valittiin 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hankkeen toimintaa ja sen kartoitusvaihetta tukeviksi. Liitteenä (liite III) on innovaatiokeskittymä -hankkeen perusidean avaava esitysdiagrammi. Koska hankkeen tavoitteena on keskittyä kehittämään ja luomaan uutta liiketoimintaa teollisen lisäävän valmistuksen avulla, keskitettiin kysely teollista valmistusta harjoittaviin yrityksiin. Rajaamalla kohderyhmää kysely pyrittiin kohdentamaan yrityksiin, jotka pystyvät hyötymään lisäävän valmistuksen tarjoamista mahdollisuuksista. Kuluttajatuotteiden valmistajat rajattiin pois kyselyn kohdeyrityksistä. Kysely lähetettiin 65:lle Kaakkois-Suomessa toimivalle yritykselle.

Kyselyn yritykset ryhmiteltiin myös henkilöstömäärän perusteella. Ryhmittelyssä käytettiin yrityssuomen verkkosivuilta löytyvää määritelmää yritysten henkilöstömäärän mukaisesta jaottelusta (Yritys-Suomi). Yritykset jaettiin neljään ryhmään alla olevan luettelon mukaisesti:

- Mikroyritys, henkilöstömäärä < 10 hlöä

- Pieni yritys, henkilöstömäärä < 50 hlöä
- Keskisuuri yritys 50–249 hlöä
- Suuryritys >250 hlöä

Myös yritysten vuotuisen liikevaihdon määrää tai taseen loppusumman suuruutta on rajoitettu tässä luokittelussa. Mikroyrityksillä liikevaihto saa olla enintään < 2 miljoonaa € tai taseen loppusumma < 2 miljoonaa €, pienillä nämä luvut ovat vastaavasti <10 miljoonaa € tai < 10 miljoonaa €, keskisuurilla yrityksillä <50 miljoonaa € tai < 43 miljoonaa €. Suurilla yrityksillä luvut ovat näitä isommat.

11 KYSELYN TULOKSET

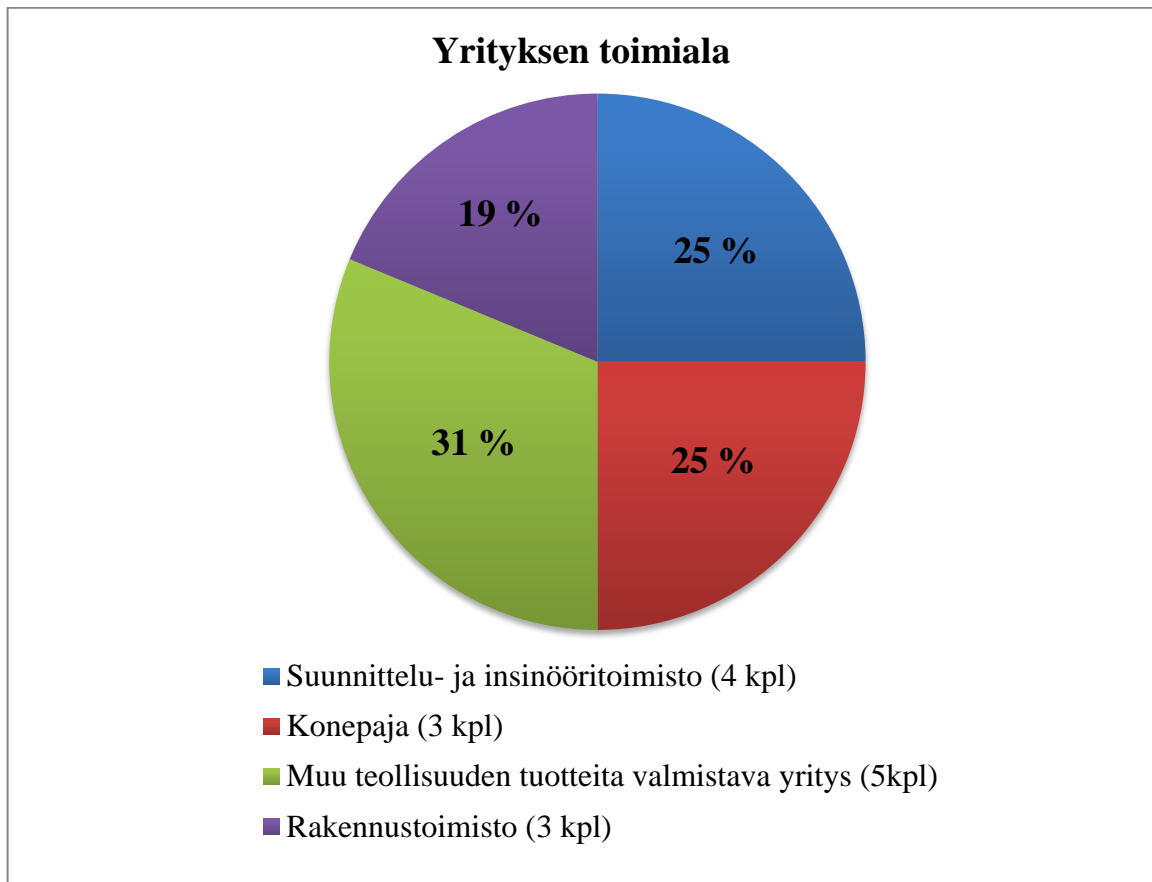
Tämän diplomityön tutkimusosuuden kyselyyn vastasi 16 yritystä. Suurin osa vastanneista yrityksistä oli pieniä ja keskisuuria yrityksiä (pk-yrityksiä). Kuusi kyselyyn vastanneista yrityksistä kielsi yrityksen nimen maininnan kyselyn tuloksia analysoitaessa, näiden yritysten nimiä ei siis tulla käyttämään vastauksien läpikäynnin yhteydessä. Vaikka yritys antoi luvan nimensä mainitsemiselle, ei yksittäisten yritysten nimiä tulla tässä työssä kuitenkaan yhdistämään mihinkään tiettyyn vastaukseen tai kyselyn tuloksiin. Kyselyssä mukana olleet yritykset on lueteltu taulukossa 4.

Taulukko 4. Kyselyyn vastanneiden yritysten lista joiden nimien julkaisuun annettiin lupa.

Yrityksen nimi	Toimipisteen paikkakunta
Robomec Oy	Kotka
Eagle Filters Oy	Kotka
Andritz Oy	Kotka
Wise Group Finland Oy	Kotka
Lasivuorimaa Oy	Kotka
Konepaja Hamjets Oy	Hamina
Ahlstrom Glassfibre Oy	Kotka
Juhani Haavisto Oy	Kotka
Rakennustoimisto Insinöörilinja Oy	Siltakylä
Oy Rakennuspartio	Hamina

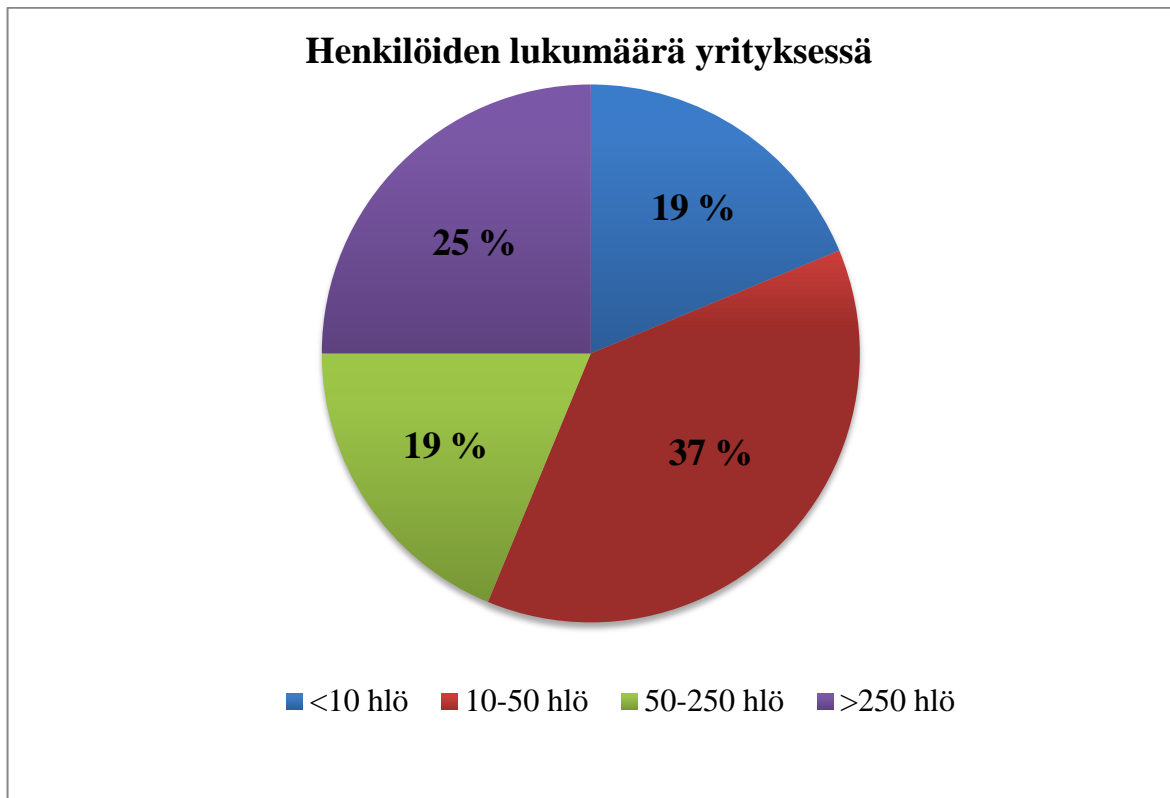
11.1 Yritystyypit

Kyselyyn vastanneet yritykset ovat suunnittelu- ja insinööritoimistoja, konepajoja, rakennustoimistoja sekä muita teollisuuden tuotteita valmistavia yrityksiä. Kyselyyn vastanneet yritykset jakautuvat tasaisesti eri toimialoittain. Tämä auttaa käsittämään eri toimialojen erilaiset tarpeet lisäävään valmistukseen. Kuitenkaan kaikilta toimialoilta, jonka yrityksiin kyselyä lähetettiin, ei saatu vastauksia. Esimerkiksi paperiteollisuus ja kunnossapitoa harjoittavat yritykset eivät vastanneet kyselyyn. Yritysten toimialojen jakautuminen ja eri toimialojen yritysten määrä on nähtävissä kuvassa 31.



Kuva 31. Kyselyyn vastanneet yritykset toimialoittain.

Kyselyyn vastasi erikokoisia yrityksiä. Henkilömäärät jakautuivat alle kymmenen henkilöä työllistävästä mikroyrityksistä suurempiin, yli 250 henkilöä työstäviin yrityksiin. Osa yrityksistä on kansainvälisiä konserneja, joilla on tärkeä toimipiste Kaakkois-Suomen alueella. Kuvassa 32 on nähtävissä kyselyyn vastanneiden yritysten kokojakauma.

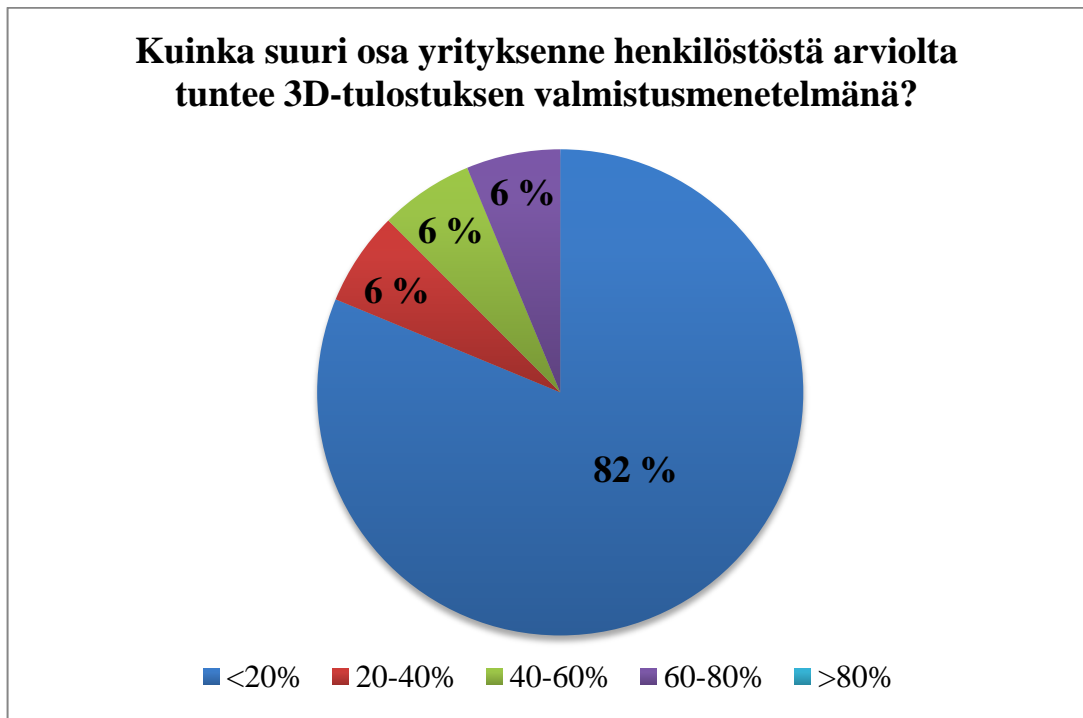


Kuva 32. Kyselyyn vastanneiden yritysten työllistämä henkilömäärä.

Kysely lähetettiin tasaisesti Kaakkois-Suomen alueella toimiviin yrityksiin. Suurin osa vastanneista yrityksistä sijoittui kuitenkin Kotkan-Haminan seudulle. Vain kolme vastanneista yrityksistä oli Kotkan-Haminan seudun ulkopuolelta. Näistä 2 sijoittui Lappeenrantaan ja yksi Imatralle. Tämä saattaa johtua 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hankkeen sijoittumisesta Kotkan-Haminan seudulle.

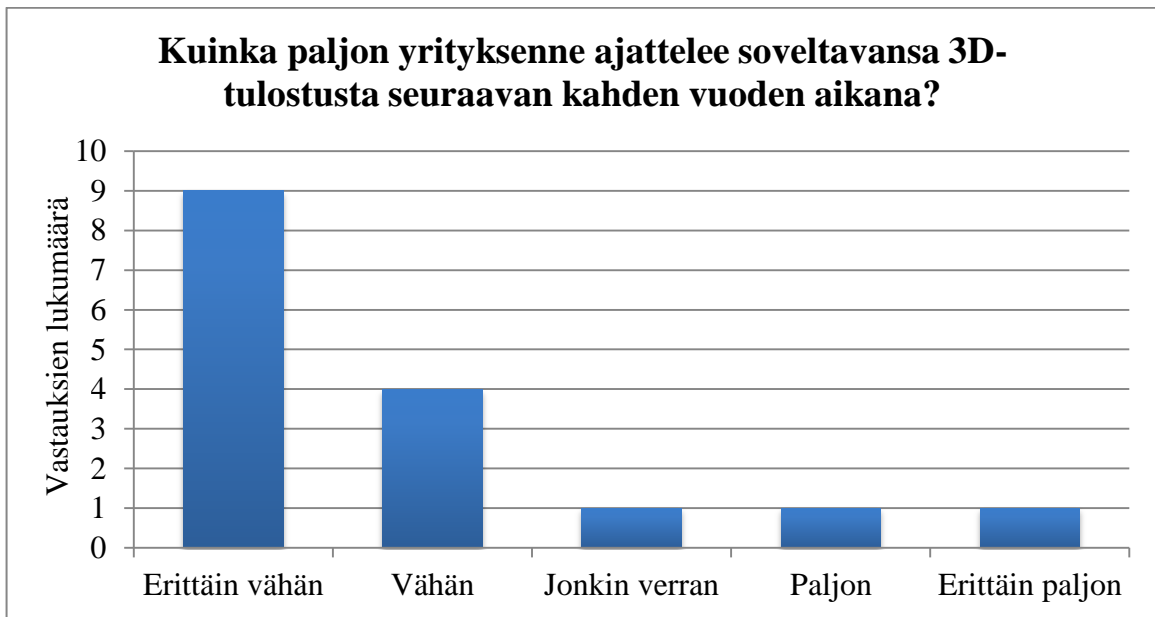
11.2 Lisävä valmistus yrityksissä

Lisävä valmistus tunnetaan yrityksissä huonosti (kuva 33). 13 yritystä vastasi, että arviolta alle 20 % yrityksen henkilökunnasta tuntee menetelmän. Missään yrityksessä ei myöskään yli 80 % henkilöstöstä tunne tämän kyselyn perusteella lisävää valmistusta menetelmänä. Menetelmän huono tunnettavuus voi vaikuttaa osaltaan menetelmän vähäiseen käyttöön. 13 kappaletta yrityksistä ei nykyisin käytä lisävää valmistusta omassa tuotannossaan yleisesti eikä koe, että menetelmällä saataisiin yrityksen omaan toimintaan lisäarvoa. Vähäisestä käytöstä huolimatta menetelmä aiheuttaa kuitenkin yrityksissä kiinnostusta.



Kuva 33. Kyselyyn vastanneiden yritysten oma arvio siitä kuinka suuri osa yrityksen henkilöstöstä tuntee lisäävän valmistuksen.

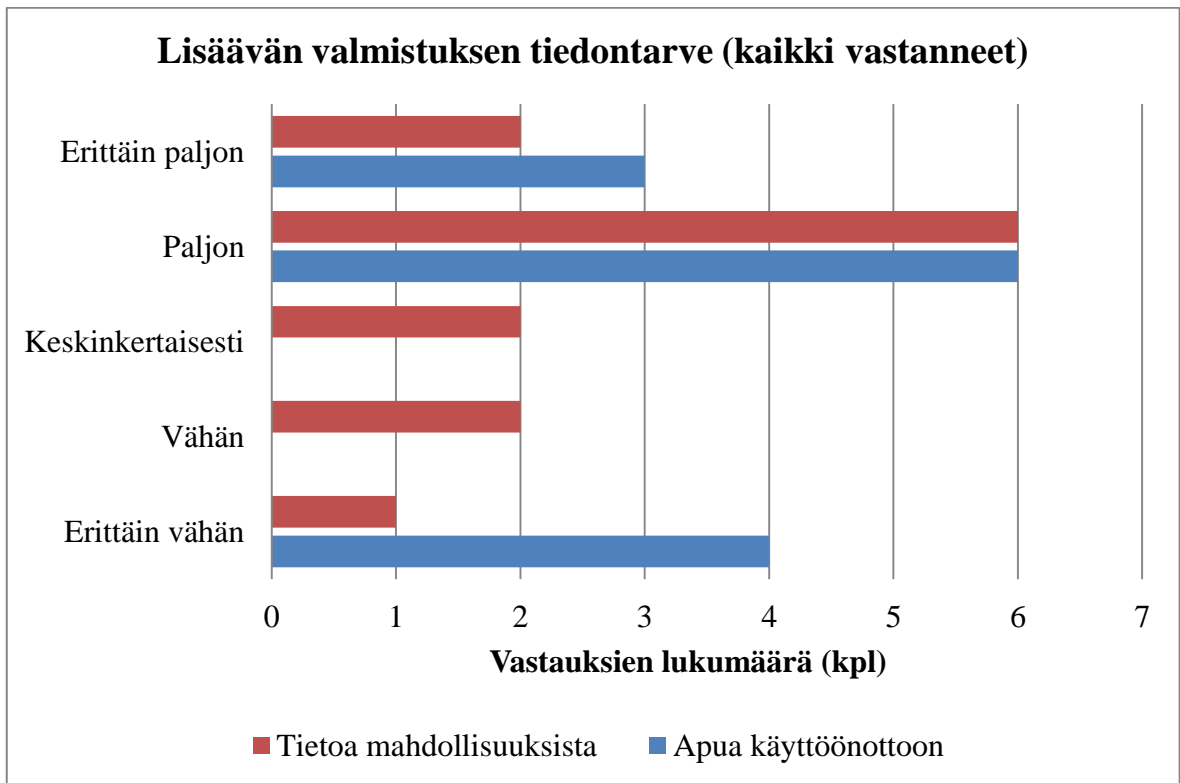
Kiinnostus kohdistuu lähes tasaisesti muoveihin, metalleihin ja muihin materiaaleihin. Kuitenkaan suurin osa yrityksistä ei kyselyn perusteella koe lisäävää valmistusta kovinkaan suurena mahdollisuutena oman toimintansa kannalta, eikä menetelmää laajalti ajatella sovellettavan seuraavan kahden vuoden aikana (kuva 34). Kyselyn lopussa annettiin mahdollisuus tarkempaan yritysکوhtaaseen haastatteluun, koskien lisäävän valmistuksen käyttöä. Lähes poikkeuksetta yrityksillä ei ollut kiinnostusta tarkempaan haastatteluun. Ainoana poikkeuksena olivat yritykset, joihin oli oltu yhteydessä 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hankkeen vuoksi. Vaikuttaa siltä, että yritykset eivät ole valmiita suuntaamaan resurssejaan lisäävän valmistuksen suuntaan edes alustavalla tasolla tai sitten tämän kaltaisilla kyselyillä ei ennen ole saavutettu hyötyä ja ne on koettu rasitteiksi.



Kuva 34. Yritysten näkemys siitä, kuinka paljon ne ajattelevat soveltavansa lisäävää valmistusta omassa toiminnassaan seuraavan kahden vuoden aikana.

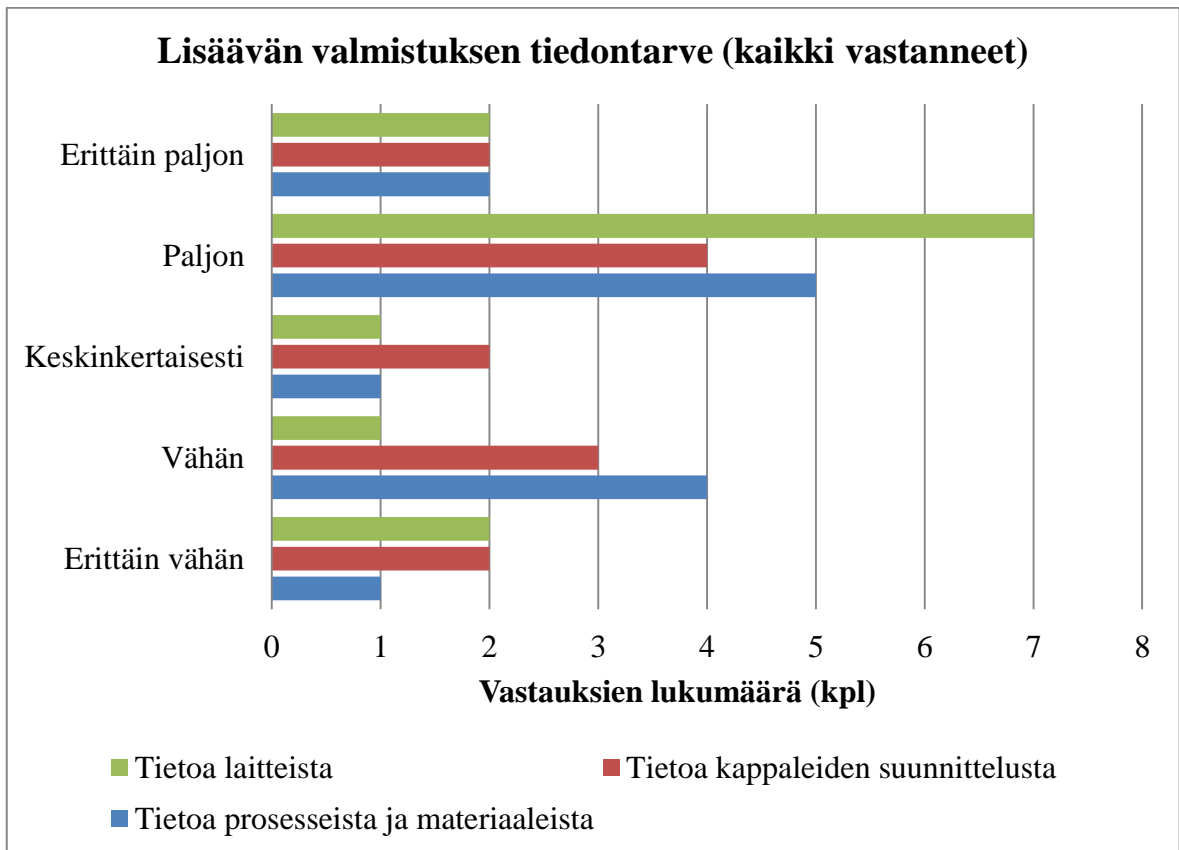
11.3 Lisäavan valmistuksen käyttöönotto ja koulutustarve

Kyselyssä tiedusteltiin myös yritysten näkemyksiä lisäävän valmistuksen käyttöönotosta ja lisätiedon tarpeesta. Lisätiedon tarve jaoteltiin seuraavasti: käyttöönotto, prosessit ja materiaalit, suunnittelu, laitteistot, menetelmän mahdollisuudet, muu tieto. Kyselystä selvisi että, yritykset näkevät oman tiedontarpeensa lisäävistä valmistusmenetelmistä suureksi. Tietoa mahdollisuuksista ja apua käyttöönottoon tarvitaan yritysten mielestä paljon. Kuitenkin myös 4 yritystä vastasi, että heidän avuntarpeensa menetelmän käyttöönottoon on erittäin vähäinen (kuva 35).



Kuva 35. Vastanneiden yritysten näkemys siitä, kuinka paljon tietoa he kaipaisivat lisäävästä valmistuksesta ennen sen mahdollista käyttöönottoa. Kuvassa tiedontarve mahdollisuuksista ja käyttöönottoon liittyvä avuntarve.

Kyselyn perusteella myös lisäävän valmistuksen laitteistoista halutaan tietää lisää ja sen tiedontarve jakautui samalla tavalla kuin käyttöönoton ja mahdollisuuksien tiedontarve. Vähiten tietoa yritykset tarvitsevat itse kappaleiden suunnittelusta ja käytössä olevista materiaaleista. Niiden jakauma painottuu muihin tiedontarpeisiin verrattuna keskimääräistä vähäisemmäksi, mutta kuitenkin keskiarvoltaan keskinkertaista suuremmaksi (kuva 36).



Kuva 36. Vastanneiden yritysten näkemys siitä, kuinka paljon tietoa he kaipaisivat lisäävästä valmistuksesta ennen sen mahdollista käyttöönottoa. Kuvassa tiedontarve laitteistoista, kappaleiden suunnittelusta sekä prosesseista ja materiaaleista.

Vaikka tietoa kerrottiin tarvittavan, koetaan isossa osassa yrityksiä tiedon tarve juuri nyt melko pieneksi ja kymmenessä yrityksessä kuudestatoista tarve on joko pieni tai erittäin pieni. Tämä peilaa osaltaan näkemyksiä tulostuksen käytöstä yritysten lähitulevaisuudessa. Koulutuksen tarve koetaan kohtalaiseksi, mutta koska yritykset eivät näe käyttävänsä lisäävää valmistusta omassa toiminnassaan lähitulevaisuudessa, tämän hetken koulutustarve on pieni.

Vaikka tiedon tarve tällä hetkellä ilmoitettiin suuressa osassa yrityksiä melko pieneksi, ilmoitti suurin osa yrityksistä, että käyttöönottoon tarvittavan tiedon tarve on suuri. Kaksi yritystä ilmoitti, että tarvitsee tietoa jokaisesta annetusta osa-alueesta liittyen lisäävään valmistukseen erittäin paljon. Koska tarve tiedolle tällä hetkellä koetaan yrityksissä pieneksi, eikä lisäävää valmistusta ajatella käyttää voidaan päätellä, että kyselyyn vastanneet yritykset eivät vielä ole löytäneet omasta toiminnastaan aluetta missä lisäävää

valmistusta kannattaa käyttää. Yrityksissä koetaan, että tietoa ennen käyttöön ottoa tarvitaan. Samalla kuitenkin koetaan lisäävä valmistus menetelmäksi, mikä on vasta lähitulevaisuutta eikä kosketa yrityksen toimintaa tällä hetkellä.

11.4 Tulostuksen käyttö yrityksissä

16:sta kyselyyn vastanneesta yrityksestä vain kolme joko käyttää lisäävää valmistusta toiminnassaan tai on kokeillut sitä. Koska osa yrityksistä ei halua nimeään julkiseksi, käsitellään kolmea lisäävää valmistusta kokeillutta yritystä anonymisti. Näistä yrityksistä käytetään nimityksiä yritys 1, 2 ja 3. Yritys 1 on hyödyntänyt lisäävää valmistusta kehitystyön yhteydessä ja yritykset 2 ja 3 ovat valmistaneet prototyyppisiä menetelmän avulla. Perustiedot yrityksistä on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Kyselyyn vastanneiden, lisäävää valmistusta jo käyttäneiden yritysten vertailua.

	Yritys 1	Yritys 2	Yritys 3
Henkilöstömäärä	>250 hlöä	<10 hlöä	50–249 hlöä
Toimiala	Suunnittelu- tai insinööritoimisto	Suunnittelu- tai insinööritoimisto	Muita teollisuuden tuotteita valmistava
Yrityksessä lisäävän valmistuksen tuntee	<20 %	<20 %	<20 %
Laitteet	Teettävät kappaleet muualla	Omistaa laitteen	Teettävät kappaleet muualla

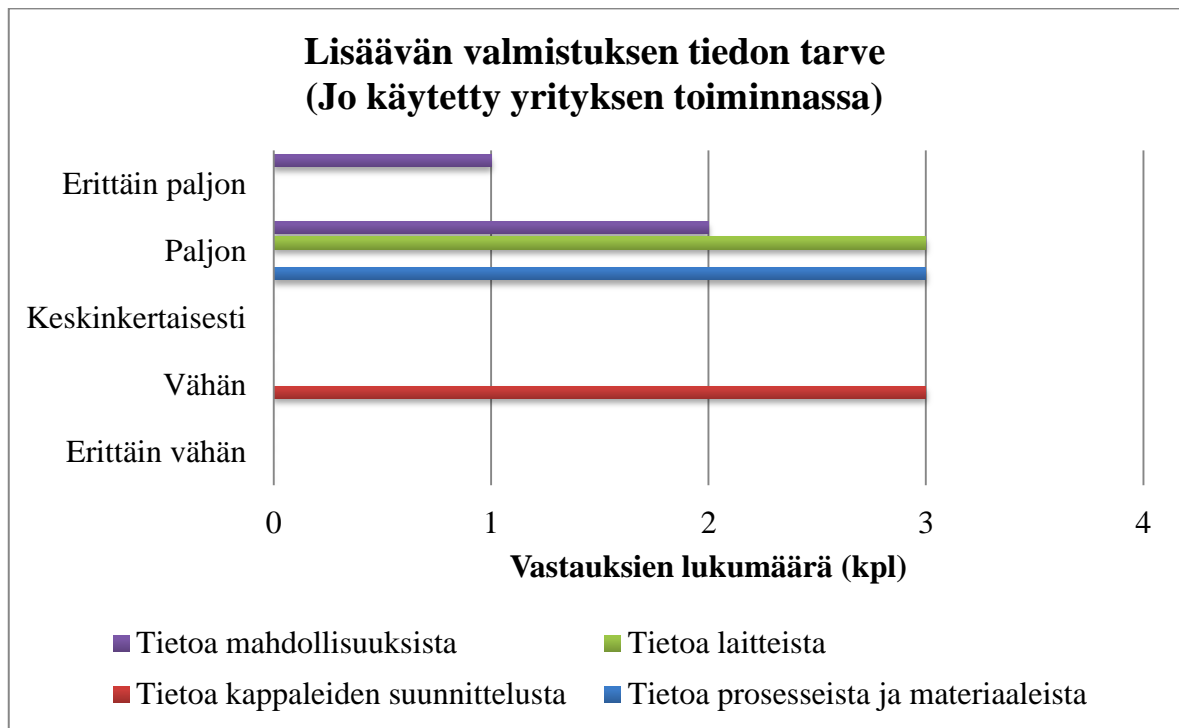
Yritys 1 ei kokeilussaan kokenut lisäävän valmistuksen tuoneen hyötyä toiminnalleen, eikä koe pystyvänsä lisäämään yrityksen toimintaa menetelmän avulla jatkossakaan. Lisäävää valmistusta on kokeiltu kuluneen vuoden aikana harvemmin kuin muutaman kerran vuodessa ja suurin syy menetelmän käyttämiseen oli kehitystyön apuvälineen nopea valmistus. Jatkossakin yritys aikoo soveltavansa lisääviä valmistusmenetelmiä erittäin vähän, mutta kokee kuitenkin menetelmän kiinnostavaksi. Tiedon tarve laitteistoista, prosesseista, materiaaleista sekä menetelmän mahdollisuuksista tulevaisuudessa koetaan kyseisessä yrityksessä tällä hetkellä kaikkein tarpeellisimmaksi.

Yritys 2 on käyttänyt lisäävää valmistusta prototyyppien lisäksi piensarjojen valmistukseen. Yrityksellä on ollut tarkoituksena muoviosien varaston arvon pienentäminen sekä massatuotteiden kokeiluversioiden tulostaminen ennen varsinaisen muotin valmistusta. Yrityksessä 2 lisäävä valmistus on koettu toiminnan kannalta todella hyödylliseksi ja menetelmää sovelletaan omalla laitteella muutamia kertoja viikossa. Lisäävä valmistus on ollut yrityksellä 2 käytössä 3–5 vuotta. Laite on hankittu yritykseen, koska prototyyppien ja tuotesuunnittelun tekeminen oman yrityksen sisällä koettiin tarpeelliseksi. Vaikka yrityksellä on kokemusta lisäävästä valmistuksesta, se kokee lisätiedon tarpeen erittäin suureksi. Erityisesti tieto menetelmän mahdollisuuksista kiinnostaa yritystä tällä hetkellä.

Yritys 3 on käyttänyt lisäävää valmistusta kerran. Menetelmää hyödynnettiin visualisointikäyttöön tulleen prototyypin valmistuksessa sen takia, ettei kappaletta tarvinnut koneistaa teräksestä tai ettei sille tarvinnut tehdä erikseen valumallia. Menetelmän ei kuitenkaan koettu tässä tarkoituksessa yrityksen toiminnan kannalta hyödylliseksi, eikä lisääviä valmistusmenetelmiä ole sen jälkeen käytetty. Kahden muun menetelmää käyttäneen yrityksen tavoin yritys 3 kuitenkin ilmoitti kokevansa tiedon tarpeen menetelmästä suureksi. Laitteiden, mahdollisuuksien, materiaalien ja prosessien tieto koettiin tärkeimmäksi ja muista yrityksistä poiketen myös tieto menetelmän käyttöönotosta koettiin tarpeelliseksi.

Kaikki kolme lisäävää valmistusta käyttänyttä yritystä tekivät kappaleet muovista. Myös muovien lisäävä valmistus koetaan kaikkein mielenkiintoisimmaksi menetelmäksi ennen metallien lisäävää valmistusta. Näyttää myös siltä, että yritykset mieltävät käyttökohteeksi lisäävälle valmistukselle jatkossakin prototyyppien valmistuksen tai sitten yritysten pääasiallinen tuotanto koostuu muovituotteista. Lisäävää valmistusta on kokeiltu tai se on ollut käytössä viimeisen viiden vuoden aikana. Kyselyn tuloksista voidaan myös päätellä, että kyseisissä kolmessa yrityksessä lisäävästi valmistettavien kappaleiden suunnitteluosaaminen on hyvää. Kaikki kolme yritystä vastasi, että juuri kappaleiden suunnittelutiedon tarve on vähäistä, vaikka muuten lisäävästä valmistuksesta kaivattaisiin tietoa. Kuvassa 37 on esitetty lisäävää valmistusta koskeva tiedon tarve tapauksessa, jossa yritykset ovat jo käyttäneet menetelmää. Yritykset arvioivat myös, että vain alle 20 %

yrityksen henkilöstöstä tuntee lisäävän valmistuksen menetelmänä. Tämä oletettavasti vaikuttaa myös tiedon tarpeeseen.



Kuva 37. Yritysten näkemys lisätiedon tarpeen määrästä, kun tulostusta on jo käytetty/kokeiltu.

Yrityksien 1 ja 2 kanssa on käyty henkilökohtaista keskustelua lisäävästä valmistuksesta ja sen mahdollisuuksista ja rajoitteista. Tämä on kyselyn jälkeen avannut uudenlaisia näkökulmia menetelmään ja esimerkiksi yritys 1 on kokenut oman henkilökunnan koulutuksen myös valmistettavien kappaleiden suunnittelun osalta tärkeäksi, vaikka itse kyselyn vastauksissa näkökanta oli päinvastainen. Myös yrityksen 1 tapauksessa itse koulutusta on pidetty tärkeämpänä tässä vaiheessa kuin itse kappaleiden valmistusta. Molemmissa keskusteluissa on huomattu, että menetelmään liittyy vääriä olettamuksia ja lisäävä valmistus ja sen mahdolliset sovelluskohteet eivät ole niin tunnettuja kuin itse on aluksi kuviteltu.

Kun lisäävää valmistusta jo käyttäneiden yritysten lisätiedon tarvetta verrataan yleiseen menetelmän tiedontarpeeseen, se näyttää jakautuvan samalla tavalla. Tiedon tarve painottuu molemmissa siten, että tietoa tarvitaan paljon. Kappaleiden suunnittelutiedon

tarve on vähäisintä ja mahdollisuuksien sekä laitetiedon tarve suurinta (kuvat 36 ja 37). Menetelmän käyttö ei siis ole vaikuttanut yleiseen lisätiedon tarpeeseen, eikä sillä näytä olevan merkitystä yrityksen osaamisen kannalta. Lisäävän valmistuksen voidaankin olettaa olevan vasta kokeilun tasolla. Tärkeää on saada yrityksille tietoa lisäävästä valmistuksesta ja kouluttaa yritysten henkilökuntaa ajattelemaan uuden menetelmän vaatimalla tavalla. Koska suunnittelutiedon tarve yrityksissä koettiin pieneksi, voi tämä tarkoittaa kahta asiaa. Joko yritykset osaavat suunnittelun lisäävälle valmistukselle hyvin tai sitten yrityksen henkilöstö ei tiedä kuinka paljon suunnittelutapaa pitää muuttaa, jotta kappaleita pystytään valmistamaan ja lisäävästä valmistuksesta saadaan suurimmat hyödyt valmistuksessa.

12 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä kappaleessa esitellään tärkeimmät havainnot työstä. Kyselyn tuloksia ja suullisissa keskusteluissa syntyneitä mielipiteitä arvioidaan. Työn tuloksia verrataan myös jo olemassa olevaan tutkimukseen Suomesta. Myös työn luotettavuutta ja objektiivisuutta teorian ja tutkimuksen osalta arvioidaan.

12.1 Luotettavuus ja objektiivisuus

Tämän diplomityön teoriaosuuden luotettavuutta pidettiin yllä käyttämällä lähteinä vain uusimpia tieteellisiä artikkeleita. Perustiedossa, kuten menetelmäkuvauksissa, sallittiin kuitenkin vanhemmatkin artikkelit, koska menetelmän periaatteet eivät ole muuttuneet. Koska lisäävä valmistus kehittyy koko ajan kovaa vauhtia, uusien artikkelien löytäminen oli helppoa, ja tästä syystä käytetyn tiedon voidaan olettaa olevan luotettavaa. Nopeasti kehittyvä ala on myös osasyynä siihen, että tässä työssä pyrittiin käyttämään vain uusinta tietoa. Jos vanhempia artikkeleita jouduttiin käyttämään lähteenä, pyrittiin esitetty tieto varmistamaan oikeaksi ja edelleen päteväksi etsimällä samaa tietoa uudemmista lähteistä. Tätä menetelmää käytettiin myös, jos diplomityössä jouduttiin käyttämään lähteenä jonkun valmistajan kaupallista sivua, minkä tiedon voidaan olettaa olevan vähintään osittain puolueellista. Kaupallisilta sivuilta ja uutisista löytyviä tietoja suhteutettiin tieteellisistä artikkeleista löytyviin ja näin rajattiin pois yritysten tuottamaa omia laitteita ja menetelmiä mainostavaa ja joissain tapauksissa liiallisen kehuva tietoa. Työn aikana kaikkeen tietoon suhtauduttiin myös objektiivisesti ja asioiden sekä hyvät että huonot puolet tuotiin mahdollisimman hyvin esiin. Lähteiden välillä tehtiin myös vertailua, millä varmistetaan tiedon objektiivisuus ja luotettavuus. Käytetyn aineiston, lähteiden ja kyselyn avulla jokainen pystyy päätyämään samoihin lopputuloksiin tämän diplomityön kanssa.

12.2 Keskeiset havainnot

Lisäävä valmistus on koko ajan kehittyvä menetelmä, mutta jo tällä hetkellä potentiaalinen valmistusmenetelmä perinteisten menetelmien rinnalle. Kuitenkin suhteellisen hitautensa ja tällä hetkellä korkean hintansa takia se ei sovellu suurten, samanlaisia kappaleita sisältävien sarjojen valmistukseen. Kuitenkin esimerkiksi prototyyppien valmistukseen ja pienille, räätälöidyille sarjoille lisäävä valmistus on hyvä menetelmä. Euroopassa ja

esimerkiksi Yhdysvalloissa lisäävä valmistus on ollut käytössä useiden vuosien ajan ja sen käyttö on koko ajan ollut kasvavaa. Menetelmän mahdollisuudet ja heikkoudet on tunnustettu, minkä vuoksi menetelmän käyttö eri teollisuuden aloilla on kannattavaa ja tarkoituksenmukaista. Koska Suomessa ei ole suuria lisäävää valmistusta hyödyntäviä teollisuuden aloja kuten auto- ja lentokone-teollisuutta, lisäävien menetelmien käyttö on jäänyt melko vähäiseksi. Johtuen myös siitä, että kuluttajalaitteista johtuva menetelmän yleistys saapui Suomeen ennen kuin itse suuret teolliset käyttökohteet, ei menetelmän potentiaalisista sovelluskohteista vielä tiedetä paljon, eikä sen käyttöä osata teollisessa mittakaavassa vielä tarpeeksi avoimesti ajatella.

Suomalainen valmistavan teollisuuden osaaminen Kaakkois-Suomen alueella on pitkään toiminut vastaamaan varsinkin paperiteollisuuden vaatimuksia. Konepajoissa valmistettavat tuotteet ovat pääosin suuria ja siksi lisäävä valmistus suljetaan menetelmänä yleensä ilman suurempaa tarkastelua suoraan pois, koska valmistusalueiden koot ovat tarpeisiin nähden liian pieniä. Lisäävän valmistuksen avulla voitaisiin kuitenkin esimerkiksi laajentaa nykyistä erikoistuotteiden valikoimaa tai ottaa menetelmä työkaluna tuotekehityksen apuvälineeksi.

Tässä työssä tehdyn tutkimuksen mukaan lisäävän valmistuksen käyttö yrityksissä on erittäin vähäistä. Yritykset eivät myöskään osaa nähdä sille käyttökohteita. Jos lisäävää valmistusta on käytetty, sillä on tehty prototyyppejä tai kokeilukappaleita muovista. Käytössä ovat myös olleet halvat, muutaman tuhannen euron kuluttajalaitteet. Osittain myös tästä johtuen nähdään, että menetelmän tuntemus käyttökelpoisena valmistusmenetelmänä teollisuudelle on heikkoa. Muovien pursotusmenetelmien käyttö kokeilukappaleissa aiheuttaa oletettavasti usein vääriä käsityksiä lisäävästä valmistuksesta, koska se on vain yksi menetelmistä, eikä välttämättä juuri yrityksen kokeilemaan käyttökohteeseen paras.

Tämän tutkimuksen perusteella voidaankin sanoa, ettei Kaakkois-Suomen teollisuus näe vielä tällä hetkellä lisäävän valmistuksen täyttä potentiaalia, eikä juuri tästä syystä aio käyttää menetelmää seuraavan kahden vuoden aikana. Yritykset kokevat kuitenkin lisäävän valmistuksen kiinnostavana ja varsinkin käyttöönotosta, materiaaleista, prosesseista, laitteista sekä lisäävän valmistuksen tulevaisuudenkuvista ja mahdollisuuksista halutaan

tietoa. Tiedon ilmoitettu tarve yllätti verrattuna siihen, kuinka vähäistä yritysten lisäävän valmistuksen ajatellaan olevan lähivuosina. Tästä voidaankin päätellä, etteivät teolliset yritykset ole menetelmän kiinnostavuudesta huolimatta löytäneet omasta tuotevalikoimastaan potentiaalisia tuotteita, joissa lisäävän valmistuksen avulla voitaisiin saada hyötyä. Yritykset tietävät mahdollisesti uuden menetelmän tulevan, mutta eivät kuitenkaan pysty suuntaamaan omia resurssejaan tuotevalikoiman tutkimiseen ja menetelmän käyttöönottoon. Osittain tiedon tarve voi myös johtua siitä, että yritykset kokivat ja ilmoittivat, ettei henkilöstö tunne lisäävää valmistusta menetelmänä. Suurimpana haasteena Kaakkois-Suomen teollisuudessa voidaankin nähdä tiedon levittäminen ja ajattelutavan siirtäminen perinteisistä, ainetta poistavista valmistusmenetelmistä, lisäävään valmistukseen.

Tämän työn tulokset ovat samankaltaisia verrattuna Hämäläisen (2014) teettämään samantyyppiseen kyselyyn Pirkanmaan alueen teollisille yrityksille. Myös siinä huomattiin, että yritykset eivät vielä koe hyötyvänsä menetelmästä. Jos menetelmä on ollut käytössä, myös Pirkanmaan alueella sitä on hyödynnetty pääosin yritysten prototyyppien valmistukseen liittyvissä kokeiluissa. Myös Hämäläisen (2014) tekemässä työssä huomattiin, että tarkemmassa käsittelyssä lisäävät valmistusmenetelmät herättivät suurta kiinnostusta yrityksissä, vaikka omia sovelluskohteita ei vielä olisikaan löydetty. Myös lisäävällä valmistuksella tehtyjen kappaleiden hankinta oli samanlaista. Pirkanmaan alueen yrityksistä osa hankkii tuotteet ulkopuoliselta valmistajalta ja osa haluaa hyödyntää omaa tulostinta.

Jos lisäävän valmistuksen tietoutta suomalaisille yrityksille pystytään lisäämään, löytyy sille menetelmänä varmasti käyttöä. Osa teollisuudesta, jolle käyttökohteita voisi löytyä, ei osaa tarkastella tuotevalikoimaansa oikealla tavalla, eikä myöskään näe menetelmän potentiaalia. Jotta lisäävä valmistus saadaan teollisuuden käyttöön Suomessa nykyisten valmistusmenetelmien tilalle tai tukemaan niitä, menetelmän hyvistä ja huonoista puolista pitää aktiivisesti kertoa ja auttaa yrityksiä löytämään potentiaalisia sovelluskohteita. Ilman menetelmän tuntemusta ja sen aktiivista kasvattamista tulee lisäävän valmistuksen yleistymisen Suomen teollisuudessa olemaan hidasta. Näillä näkymin suurimpana hyötyjänä Kaakkois-Suomen teollisuuden aloista lisäävästä valmistuksesta olisivat suunnittelu- ja insinööritoimistot tai yritykset, joissa tuotekehitys tapahtuu yrityksen

sisällä. Tuotekehityksen apuvälineenä lisäävä valmistus on halpa ja helppo kokeilla, koska jo muutaman tuhannen euron kuluttajalaitteet pystyvät tuottamaan tähän tarkoitukseen sopivia kokeilu- ja visualisointimalleja. Yrityksille täytyy myös luoda positiivisia kokemuksia menetelmästä. Kun tuotteita aletaan valmistaa, positiivisen julkisuuden avulla voidaan saada yritykset kiinnostumaan ja menetelmä laajempaan käyttöön. Tällainen vetovoima on saatu luotua Oulun seudulle, jossa 2005 hankkeen avulla perustettu yritys Oulu PMC tarjoaa tutkimus- ja projektityyppistä palvelua valmistuksen rinnalla.

Koska Kaakkois-Suomen alueen yritykset eivät koe menetelmää vielä oman toiminnan kannalta oleellisena, konkreettisia esimerkkejä sovelluskohteista ei vielä tämän työn aikana saatu. Yritykset eivät pääsääntöisesti olleet kiinnostuneita tarkempaan lisähaastatteluun aiheesta ja näin ollen erityistarpeita alueen teollisuudesta ei muutamaa esimerkkiä lukuun ottamatta löytynyt. Nämä esimerkit ovat yrityksiltä, jotka ovat jo hyödyntäneet lisäävää valmistusta toiminnassaan. Ensinnäkin kokeilumallien valmistus on haluttu toteuttaa oman yrityksen sisällä ja kun prototyypisarjat ovat olleet pääosin yksittäiskappaleita, on lisäävä valmistus ollut potentiaalisin menetelmä.

12.3 Työn arvo ja vertailu olemassa olevaan tutkimukseen

Tämänkaltaista kartoitusta suomalaisesta teollisuudesta ja lisäävän valmistuksen käytöstä ei vielä paljon ole tehty. Tästä johtuen työn uutuusarvo on hyvä. Tutkimusosuutena tehty kysely antoi myös samanlaisen käsityksen siitä, miten yritykset itse näkevät lisäävän valmistuksen omassa tuotannossaan, kuin muissakin Suomessa tehdyissä tutkimuksissa on havaittu. Työn aihealueen tutkimuksen arvoa voidaan edelleen lisätä luvussa 14 Jatkotutkimusaiheet mainittujen tarkemmin kohdistettujen tutkimuksien avulla.

13 KESKUSTELUA KYSELYN ULKOPUOLISISTA HAVAINNOISTA

Yksi havainto EU-rahoitteisen 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hankkeen aikana on noussut lähes poikkeuksetta aina esille. Kun henkilöille ja yrityksen edustajille on kerrottu lisäävästä valmistuksesta, sen eri menetelmistä ja niiden sovellusmahdollisuuksista, on jo erittäin vähällä tiedolla pystytty herättämään uutta ajattelua ja ideointia menetelmän käyttökohteista. Koska tällä hetkellä mediassa esitetään, että lisäävällä valmistuksella valmistetaan kohta kaikki, aina ruuasta taloihin, on varsinkin yritysten vaikea kohdistaa omaa tarvettaan juuri yhteen menetelmään ja hankkia siitä tarvittavaa lisätietoa. Tieto menetelmästä on usein ollut melko rajoittunutta ja parhaat käsitykset lisäävästä valmistuksesta on usein kuluttajatason tulostimista ja materiaalin pursotusmenetelmästä. Menetelmä mielletään myös lähes aina tulevaisuuden menetelmänä, joka on muutaman lähivuoden aikana tulossa laajaan käyttöön, eikä tietoa menetelmän iästä ja sen nykyisen käytön laajuudesta ole. Yleinen väärä käsitys on myös ollut, että lisäävästi valmistetut kappaleet ovat hauraita eivätkä sovellu muuhun kuin lopullisen kappaleen visualisointimalleiksi. Muovin pursotusmenetelmällä valmistetut kappaleet ovat osoittautuneet yritysten henkilöiden mielestä yllättävän lujiksi. Metallikappaleista ja niiden valmistuksesta tieto on ollut vähäistä ja usein valmistusmenetelmän periaatetta ei tiedetä ja monet menetelmät eri materiaaleille sotketaan osittain keskenään. 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hankkeen aikana on yrityksille ja muille asiasta kiinnostuneille henkilöille pidetty yleisiä tiedotustilaisuuksia lisäävästä valmistuksesta ja siitä, mitä se oikeasti on. Yleisen tiedon levittäminen on usein avannut uudenlaista ajattelua ja herättänyt kiinnostusta siitä, mitä tällä menetelmällä voisi tehdä. Voidaan siis päätellä, että median levittämä tieto sotkee ajatuksia, ja vaikka mediassa esitetään usein suuria visioita lisäävästä valmistuksesta tulevaisuudessa, ei kaikkein tärkein tieto päädy sitä tarvitsevien henkilöille teollisuudessa.

Kun lisäävää valmistusta on käyty esittelemässä, se on suuressa osassa kohdehenkilöitä saanut aikaa uusien ideoiden kehittämistä menetelmän ympärille. Uusia sovelluskohteita on alettu miettiä ja uuden tiedon tarve, muun muassa materiaaliominaisuuksien osalta on koettu suureksi. On myös pidetty usein tärkeänä lähteä edes kokeilemaan lisäävää valmistusta, ettei jäädä kehityksessä jälkeen. Tämäntyyppisestä kiinnostuksen vuoksi onkin

herättänyt ihmetystä, miksi menetelmä ei ole jo laajemmassa käytössä tai suuremman kokeilun asteella Suomessa. Tavoitteena on kuitenkin lisätä ihmisten ja yritysten tietoutta ja valistaa menetelmästä realistisesti. 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hanke pyrkiikin juurruttamaan lisäävän valmistuksen osaksi suomalaista teollisuutta ja hyödyntämään jo olemassa olevan menetelmän suomalaisen osaamisen.

Kun yritysten kanssa on käyty keskustelua tämän tutkimuksen ulkopuolella, jotkut yritykset ovat kertoneet harkinneensa kuluttajatason laitteen hankkimista. Myös tällä hetkellä laitehankinnat ovat paljolti esillä. Myös tutkimusryhmän ulkopuolella olevat pienemmätkin yritykset harkitsevat joissain tapauksissa pienen laitteen hankkimista omiin kokeiluihinsa. Keskustelujen kautta yrityksille onkin viestitty varovaiseen ajatteluun menetelmän suhteen, koska kuluttajalaitteiksi tarkoitetut materiaalin pursotusta hyödyntävät laitteistot eivät usein anna koko kuvaa lisäävän valmistuksen mahdollisuuksista ja rajoitteista

14 JATKOTUTKIMUSAIHEET

Tässä luvussa esitellään näkemyksiä jatkotutkimusaiheista. Jatkotutkimusaiheet perustuvat kyselyn aikana kerättyihin näkemyksiin lisäävästä valmistuksesta ja sen soveltamisesta suomalaisessa teollisuudessa. Jokaista jatkotutkimusaihetta on myös tarkennettu muutamalla lauseella.

Tässä työssä tehdyn tutkimuksen ja EU:n rahoittaman 3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä -hankkeen aikana havaittiin, että yritykset reagoivat hitaasti uusiin valmistusmenetelmiin. Yrityksillä on vaikea hahmottaa sitä, miten he voisivat hyötyä lisäävästä valmistuksesta. Oma-aloitteinen tiedon etsintä ja resurssien käyttö menetelmän tutkimiseen näyttää olevan myös marginaalista. Yrityksiä pitäisi siksi auttaa ja tukea tuotteiden löytämisessä omasta tuotannosta. Samalla saataisiin levitettyä realistista tietoa menetelmästä, sen eduista ja haitoista.

Tähän diplomityöhön liittyvä jatkotutkimusaihe voisi olla tarkempi kartoitus alueen teollisuuden yksittäisen tai muutaman yrityksen tuotevalikoimasta. Tämän kartoituksen pohjalta voisi lähteä kehittämään hyväksi nähtyä tuotetta lisäävän valmistuksen käyttöön. Kappaleita pitäisi valmistaa ja tutkia käytössä. Sen jälkeen projektin avulla voisi tehdä kyseisen tuotteen valmistamisesta kannattavuusanalyysin. Tämä vaatii yritysten kiinnostusta ja resursseja lähteä tarkastelemaan potentiaalisia tuotteita valikoimastaan. Jos yrityksiä ja tuotteita löydettäisiin mukaan, voitaisiin tehdä tarkempi analyysi siitä, miten ja minkälaisissa tuotteissa suomalainen teollisuus voi hyötyä lisäävän valmistuksen tuomista mahdollisuuksista.

Myös tarkempaa kartoitusta suomalaisten teollisuusyritysten mahdollisuuksista hyötyä lisäävästä valmistuksesta pitäisi tehdä. Kartoituksen pitäisi samalla olla tarkkaa ja yrityskohtaista, mutta sen pitäisi myös pystyä kattamaan laaja alue eri teollisuuden aloja. Tähänkin vaaditaan myös yritysten mielenkiinto lähteä tarkastelemaan omaa tuotantoaan. Oikean tiedon levittäminen lisäävän valmistuksen prosesseista täytyy olla ensimmäinen lähtökohta, jolla saadaan teollisuuden mielenkiinto herätettyä.

Tarkempaa tutkimusta pitäisi tehdä myös varaosa- ja muiden varastojen digitalisoinnista ja lisäävän valmistuksen hyödyntämistä tässä aiheessa. Lisäävä valmistus voi mahdollistaa joillain teollisuuden aloilla nykyisten suurten varastojen pienentämisen, kun esimerkiksi pienimenekkkiset, lisäävästi valmistettavaksi soveltuvat tuotteet saadaan mallinnettua tietokoneelle ja pois varastosta. Näin varaston arvo pienenee ja tuotteet voidaan kuitenkin valmistaa nopeasti tilauksen mukaan lisäävää valmistusta hyödyntäen.

Uusien materiaalien tutkimus on myös tärkeää. Yksi suomalaisen teollisuuden sovelluksista lisäävälle valmistukselle voi tulla uusien materiaalien kautta. Materiaaleina voivat toimia nykyisin jätemateriaaliksi luetut aineet. Tulostuslangan valmistusta materiaalin pursotusmenetelmälle esimerkiksi kierrätysmuovista tai paperiteollisuuden jätteeksi jäävästä puumateriaalista pitäisi tutkia. Kierrätys ja ekologisuus ovat paljon esillä nykypäivänä ja uusien ratkaisujen löytäminen myös lisäävään valmistukseen toisi menetelmälle ja sitä käyttävälle teollisuudelle positiivista julkisuutta.

Koulutuksen kehittäminen menetelmää varten tulee olemaan myös tärkeää, kun tarkastellaan teollisuuden tulevaisuutta. Koulutusta täytyisi kehittää ja lisäävää valmistusta pitäisi ottaa mukaan jo alemmillakin koulutusasteilla. Tällaisten uusien koulutusten järjestäminen ja kehittämistutkimus on tärkeää, jotta tietoa lisäävästä valmistuksesta saadaan yhä nuoremmille opiskelijoille. Ei siis riitä, että menetelmää opetetaan suppeasti vasta korkeakoulutasolla.

LÄHTEET

Abeln, T. 2015. Teknologiajohtaja, EOS GmbH. Formnext powered by tct konferenssisiesitelmä 17.11.2015.

Additive Manufacturing. 2013. EOS: Economic, Precise and Digital Additive Manufacturing (AM) of Removable Partial Dentures (RPD). [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.3.2016]. Saatavissa: <http://additivemanufacturing.com/2013/04/13/eos-dmls-economic-precise-and-digital-additive-manufacturing-am-of-removable-partial-dentures-rpd/>

Additive manufacturing: opportunities and constraints. 2013. A summary of a roundtable forum held on 23 May 2013 hosted by the Royal Academy of Engineering. 21 s.

Additive Manufacturing in the Medical Field. 2013. [verkkodokumentti]. [Viitattu 16.3.2016]. Saatavissa: <https://scrivito-public-cdn.s3-eu-west-1.amazonaws.com/eos/public/b674141e654eb94c/c5240ec3f487106801eb6963b578f75e/medicalbrochure.pdf>

Ali, A.M.R. 2013. A Strategy to Deploy Rapid Prototyping within SMEs. Bournemouth University, Doctoral Thesis. 325 s.

Arntz, K. 2015. Pääinsinööri, Fraunhofer IPT, lasertyöstön osasto. Formnext powered by tct konferenssisiesitelmä 17.11.2015.

Atzeni, E. & Salmi, A. 2012. Economics of additive manufacturing for end-usable metal parts. *International Journal of Advanced Manufacturing Technologies*, 62. S. 1147-1155.

Atzeni, E. & Salmi, A. 2015. Study on unsupported overhangs of AlSi10Mg parts processed by Direct Metal Laser Sintering (DMLS). *Journal of Manufacturing Processes*, 20: 3. S. 500-506.

ASTM F2792-12a. 2012. Standard Terminology for Additive Manufacturing Technologies. 3 s.

Banker, S. 2013. Forbes: 3D Printing Revolutionizes the Hearing Aid Business [verkkodokumentti]. Julkaistu 15.10.2013. [Viitattu 4.3.2016]. Saatavissa: <http://www.forbes.com/sites/stevebanker/2013/10/15/3d-printing-revolutionizes-the-hearing-aid-business/#73639bfa7eed>

Berman, B. 2012. 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons*, 55. S. 155-162.

Berumen, S., Bechmann, F., Lindner, S., Kruth, J-P. & Craeghs, T. 2010. Quality control of laser- and powder bed-based Additive Manufacturing (AM) technologies. *Physics Procedia*, 5. S. 617-622.

Bland, S. & Aboulkhair, N.T. 2015. Reducing porosity in additive manufacturing. *Metal Powder Report*, 70:2. S. 79-81.

BMW Group. 2015. 25 years of 3D Printing at the BMW Group: Pioneers in additive manufacturing methods. [BMW Groupin www.sivuilla]. Julkaistu 18.11.2015. [Viitattu 15.1.2015]. Saatavissa: <https://www.press.bmwgroup.com/global/article/detail/T0243462EN/25-years-of-3d-printing-at-the-bmw-group-pioneers-in-additive-manufacturing-methods>

Bogers, M., Hadar, R. & Bilberg, A. 2015. Additive manufacturing for consumer-centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing. *Technological Forecasting & Social Change*, 102. S. 225-239.

Breme, M. 2015. Head of Toolmaking, AUDI. Formnext powered by tct konferenssisitelmä 17.11.2015.

Buchbinder, D., Schleifenbaum, H., Heidrich, S., Meiners, W. & Bültmann, J. 2011. High Power Selective Laser Melting (HP SLM) of Aluminum Parts. *Physics Procedia*, 12:Part A. S. 271-278.

- Calignano, F. 2014. Design optimization of support structures in aluminum and titanium alloys by selective laser melting. *Materials & Design*, 64. S. 203-213.
- Carneiro, O.S., Silva, A.F. & Gomes, R. 2015. Fused deposition modeling with polypropylene. *Materials & Design*, 83. S. 768-776.
- Casalino, G., Campanelli, S.L., Contuzzi, N. & Ludovico, A.D. 2015. Experimental investigation and statistical optimization of the selective laser melting process of a maraging steel. *Optics & Laser Technology*, 65. S. 151-158.
- Cazón, A., Lardizában, M. 2014. PolyJet technology for product prototyping: Tensile strength and surface roughness properties. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 228: 12. S. 1664-1675.
- Cheng, B. & Chou, K. 2015. Geometric consideration of support structures in part overhang fabrications by electron beam additive manufacturing. *Computer-Aided Design*, 69. S. 102-111.
- Craeghs, T., Clijsters, S., Kruth, J-P., Bechmann, F. & Ebert, M-C. 2012. Detection of process failures in Layerwise Laser Melting with optical process monitoring. *Physics Procedia*, 39. S. 753-759.
- D'Aveni, R. 2015. The 3-D Printing Revolution [verkkodokumentti]. Julkaistu 2015 [Viitattu 4.3.2016]. Saatavissa: <https://hbr.org/2015/05/the-3-d-printing-revolution>
- Dadbakhsh, S., Hao, L. & Sewell, N. 2012. Effect of selective laser melting layout on the quality of stainless steel parts. *Rapid Prototyping Journal*, 18:3. S. 241-249.
- Disruptive Innovation.se. 2013. 3D Printing of Hearing Aids at Widex, Denmark [verkkodokumentti]. Julkaistu 28.9.2013. [Viitattu 4.3.2016]. Saatavissa: <http://disruptiveinnovation.se/?p=343>

Emmelmann, C., Sander, P., Kranz, J. & Wycisk, E. 2011. Laser Additive Manufacturing and Bionics: Redefining Lightweight Design. *Physics Procedia*, 12. S. 364-368.

EOSTATE MeltPool Monitoring. [EOS GmbH:n www.sivuilla]. [Viitattu 12.12.2015]. Saatavissa: <http://www.eos.info/software/dmls-meltpool-monitoring>

Forbes / Tech. 2014. Sales Of 3D Metal Printers Grew Over 75% In 2013 [verkkodokumentti]. Julkaistu 21.5.2014. [Viitattu 14.3.2016]. Saatavissa: <http://www.forbes.com/sites/alexknapp/2014/05/21/sales-of-3d-metal-printers-grew-over-75-in-2013/#5887c97428c6>

Foroomez, A., Badrossamay, M., Foroomez, E. & Golabi S. 2016. Finite Element Simulation of Selective Laser Melting process considering Optical Penetration Depth of laser in powder bed. *Materials and Design*, 89. S. 255-263.

Friedrich, M. 2015. PhD Candidate, BMW Group. Formnext powered by tct konferenssisitelmä 17.11.2015.

Gartner. 2015. Gartner Says Medical Applications Are Leading Advancement in 3D Printing [verkkodokumentti]. Julkaistu 25.8.2015. [Viitattu 4.3.2016]. Saatavissa: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3117917>

Gibson, I., Rosen, D.W. & Stucker, B. 2010. *Additive Manufacturing Technologies Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. Boston, MA: Springer US. 459 s.

Holmström, J., Partanen, J., Tuomi J. & Walter, M. 2010. Rapid manufacturing in the spare parts supply chain: Alternative approaches to capacity deployment. *Journal of Manufacturing technology Management*, 21: 6. S. 687-697.

Hu, K., Jin, S. & Wang, C.C.L. 2015. Support slimming for single material based additive manufacturing. *Computer-Aided Design*, 65. S. 1-10

Hussein, A., Hao, L., Yan, C., Everson, R. & Young, P. 2013. Advanced lattice support structures for metal additive manufacturing. *Journal of Materials Processing Technology*, 213:7. S. 1019-1026.

Hämäläinen, M. 2014. Customer-centric and value-based business model design – impacts of the additive manufacturing technology on firm's business model [verkkodokumentti]. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto, [Viitattu 9.10.2015]. Tietojärjestelmätieteen pro gradu – tutkielma. Saatavissa: <https://jyx.jyu.fi/dspace/handle/123456789/44378>

Ibrahim, D., Broilo, L.T., Heitz, C., De Oliveira, M.G., De Oliveira, W.H., Nobre, S.M.W., Dos Santos Filho, J.H.G. & Silva, D.N. 2009. Dimensional error of selective laser sintering, three-dimensional printing and PolyJet models in the reproduction of mandibular anatomy. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 37:3. S. 167-173.

Industrial Laser Solutions. 2013. Additive manufacturing at GE Aviation [verkkodokumentti]. Julkaistu 26.11.2013. [Viitattu 15.1.2016]. Saatavissa: <http://www.industrial-lasers.com/articles/print/volume-28/issue-6/features/additive-manufacturing-at-ge-aviation.html>

Järvinen, J-P., Matilainen, V., Li, X., Piili, H., Salminen, A., Mäkelä, I. & Nyrhilä, O. 2014. Characterization of Effect of Support Structures in Laser Additive Manufacturing of Stainless Steel. *Physics Procedia*, 56. S. 72-81.

Khajavi, S.H., Partanen, J. & Holmström, J. 2014. Additive manufacturing in the spare parts supply chain. *Computers in Industry*, 65. S. 50-63.

Kiezmann, J., Pitt, L. & Berthon, P. 2015. Disruptions, decisions and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. *Business Horizons*, 58. S. 209-215.

Klahn, C., Leutenecker, B. & Meboldt, M. 2014. Design fo Additive Manufacturing – Supporting the Substitution of Components in Series Products. *Procedia CIRP*, 21. S. 138-143.

Klahn, C., Leutenecker, B. & Meboldt, M. 2015. Design Strategies for the Process of Additive Manufacturing. *Procedia CIRP*, 36. S. 230-235.

Lehtinen, K. 2014. Fabrication additive ou Impression 3D. [verkkodokumentti]. Turku: Turun yliopisto. [Viitattu 22.11.15]. Kieli- ja käännöstieteen laitos, Ranskan kääntäminen ja tulkkaus. Gradututkielma. Saatavissa: <https://www.doria.fi/xmlui/handle/10024/103386>

Lindemann, C., Jahnke, U., Moi, M. & Koch, R. 2012. Analyzing Product Lifecycle Costs for a Better Understanding of Cost Drivers in Additive Manufacturing. 23rd Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium – An Additive Manufacturing Conference, Austin/TX/USA, 6.-8.8.2012. S. 177-188.

Liska, R., Schuster, M., Inführ, R., Turecek, C., Fritscher, C., Seidl, B., Schmidt, V., Kuna, L., Haase, A., Varga, F., Lichtenegger, H. & Stampfl, J. 2007. Photopolymers for rapid prototyping. *Journal of Coatings Technology and Research*, 4:4. S. 505-510.

Lohilahti, J. 2011. Selvitys 3D-tulostamisen tilanteesta Suomessa [verkkodokumentti]. Oulu: Oulun seudun ammattikorkeakoulu. [Viitattu 15.10.2015]. Kone- ja tuotantotekniikka, koneautomaatio opinnäytetyö. Saatavissa: <http://publications.theseus.fi/handle/10024/36967>

Masood, S.H., Rattanawong, W. & Iovenitti, P. 2000. Part Build Orientations Based on Volumetric Error in Fused Deposition Modelling. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 16. S. 162-168.

Mellor, S., Hao, L., Zhang, D. 2014. Additive manufacturing: A framework for implementation. *Int. J. Production Economics*, 149. S. 194-201.

Mueller, J., Shea, K. & Daraio, C. 2015. Mechanical properties of parts fabricated with inkjet 3D printing through efficient experimental design. *Materials & Design*, 86. S. 902-912.

Palanivel, S., Dutt, A.K., Faierson, E.J. & Mishra, R.S. 2016. Spatially dependent properties in a laser additive manufactured Ti-6Al-4V component. *Materials Science & Engineering A*, 654. S. 39-52.

Piili, H., Hirvimäki, M., Väistö, T., Nyamekye, P., Pekkarinen, J. & Salminen, A. 2014. Katsaus lisäävän valmistuksen (aka 3D-tulostus) mahdollisuuksiin ja kustannuksiin metallisten tuotteiden valmistuksessa [verkkodokumentti]. [Viitattu 13.3.2016]. Saatavissa: <http://www.doria.fi/handle/10024/102281>

Piili, H., Purtonen, T., Väistö, T., Widmaier, T., Salminen, A. & Nyrhilä, O. 2013. Additive manufacturing as resource-efficient fabrication technology in digital production. *Forum of Euromold*, 4.12.2013.

Piili, H. & Salminen, A. 2013. Helsingin Sanomat. Suomi on jäämässä jälkeen 3d-tulostuksen kehityksessä. Pääkirjoitus 12.4.2013 [verkkodokumentti]. [Viitattu 11.11.2015]. Saatavissa: <http://www.hs.fi/paakirjoitukset/a1365653213051>

Ratnadeep, P. & Anand, S. 2015 Optimization of layered manufacturing process for reducing form errors with minimal support structures. *Journal of Manufacturing Systems* 36. S. 231-243.

Reis, D. 2015. Toimitusjohtaja, Stratasy Ltd. Formnext powered by tct konferenssiesitelmä 17.11.2015.

Shinbara, T. 2015. 3D Printing: Separating Hype from Reality for Distributors [verkkodokumentti]. [Viitattu 7.3.2016]. Saatavissa: http://www.fpda.org/aws/FPDA/pt/sd/news_article/102413/blank/blank/true

SLM Solutions. 2015. SLM 3D printing machine orders double. *Metal Powder Report*, 70: 2. S. 89.

Stansbury, W.J. & Idacavage, J.M. 2016. 3D printing with polymers: Challenges among expanding options and opportunities. *Dental Materials*. S. 54-64.

Strano, G., Hao, L., Everson, R.M. & Evans, K.E. 2013. A new approach to the design and optimization of support structures in additive manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 66:9. s. 1247-1254.

Stratasys. 2013. DIRECT DIGITAL MANUFACTURING AT BMW [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.3.2016]. Saatavissa: <http://usglobalimages.stratasys.com/Case%20Studies/Automotive/SSYS-CS-Fortus-BMW-07-13.pdf?v=635139936049694673>

Stratasys. PolyJet Technology. 2016. [Stratasys:n www-sivuilla]. Päivitetty 2016. [Viitattu 4.3.2016]. Saatavissa: <http://www.stratasys.com/3d-printers/technologies/polyjet-technology>

Snyder, H.G., Cotteleer, M.J. & Kotek, B. 2014. AM AND MEDICAL DEVICES: A NATURAL FIT [verkkodokumentti]. Julkaistu 28.4.2014. [Viitattu 4.3.2016]. Saatavissa: <http://dupress.com/articles/additive-manufacturing-3d-opportunity-in-medtech/>

TCT Magazine. 2013. Growth of Personal Printers. [verkkodokumentti]. Julkaistu 27.7.2013. [Viitattu 10.11.2015]. Saatavissa: <http://www.tctmagazine.com/blogs/industry-snapshot/growth-of-personal-printers/>

Technology Strategy Board. 2006. Redesigned airline buckle to save energy [verkkodokumentti]. [Viitattu 4.3.2016]. 2 s. Saatavissa PDF-tiedostona: http://www.manufacturingthefuture.co.uk/_resources/case-studies/TSB-AirlineBuckle.pdf

The SAVING Project. Sustainability in Manufacturing. [The SAVING Projectin www-sivuilla]. [Viitattu 4.3.2016]. Saatavissa: <http://www.manufacturingthefuture.co.uk/>

Thomas, S.D. & Gilbert, S.W. 2014 Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing. NIST Special Publication 1176 [verkkodokumentti]. [Viitattu 14.3.2016]. Saatavissa: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1176>

Thompson, S.M., Aspin, Z.S., Elwany, A., Shamsaei, N. & Bian L. 2015a. Additive Manufacturing of Heat Exchangers: A Case Study on a Multi-Layered Ti-6Al-4V Oscillating Heat Pipe. *Additive Manufacturing*, 8. S. 163-174.

Thompson, S., Bian, L., Shamsei, N. & Yadollahi, A. 2015b An Overview of Direct Laser Deposition for Additive Manufacturing; Part I: Transport Phenomena, Modeling and Diagnostics. *Additive Manufacturing*, 8. S. 36-62.

Too, M.H., Leong, K.F., Chua, C.K., Du, Z.H., Yang, S.F., Cheah, C.M. & Ho, S.L. 2002. Investigation of 3D non-random porous structures by fused deposition modelling, 19:3. S. 217-223.

Vandenbroucke, B. & Kruth, J-P. 2007. Selective laser melting of biocompatible metals for rapid manufacturing of medical parts. *Rapid Prototyping Journal*, 13: 4. S. 196-203.

Waldbaur, A., Rapp, H., Länge, K. & Rapp, B. E. 2011. Let there be chip – towards rapid prototyping of microfluidic devices: one-step manufacturing processes. *Analytical Methods*, 3. S. 2681-2716.

Wei, Q., Zhao, X., Wang, L., Li, R., Liu, J. & Shi, Y. 2011. Effects of the Processing Parameters on the Forming Quality of Stainless Steel Parts by Selective Laser Melting. *Advanced Materials Research*, 189-193. S. 3668-3671.

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

Wohlers Associates. 2013. Wohlers Report 2013 Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry Annual Worldwide Progress Report. 297 s.

Wong, K. V. & Hernandez, A. 2012. A Review of Additive Manufacturing. *Mechanical Engineering*, 2012. 10 s.

Yadroitsev, I., Bertrand, Ph. & Smurov, I. 2007. Parametric analysis of the selective laser melting process. *Applied Surface Science*, 253:19. S. 8064-8064.

Yritys-Suomi. Yrityksen koko. [Yritys-Suomen www-sivuilla]. [Viitattu 21.3.2016].
Saatavissa: <https://www.yrityssuomi.fi/yrityksen-koko>

Zhang, B., Dembinski, L. & Coddet, C. 2013. The study of laser parameters and environment variables effect on mechanical properties of high compact parts elaborated by selective laser melting 316 powder. *Materials Science and Engineering: A*, 584:1. S. 21-31.

Kyselypohja lisäävän valmistuksen tarpeen kartoitukseen

1. Vastaajan tiedot:
 - Yritys
 - Postitoimipaikka
 - Vastaajan nimi
 - Vastaajan ammattinimike
 - Vastaajan puhelinnumero
 - Vastaajan sähköposti

2. Henkilöiden lukumäärä yrityksessä
 - <10 henkilöä
 - 10-50 henkilöä
 - 50-250 henkilöä
 - >250 henkilöä

3. Kuinka suuri osa yrityksenne henkilöstöstä tuntee 3D-tulostuksen?
 - 1) <20%
 - 2) 20-40%
 - 3) 40-60%
 - 4) 60-80%
 - 5) >80%

4. Käyttääkö yrityksenne jo nykyään 3D-tulostusta?
 - Ei käytä
 - Hankkii palvelut muualta
 - Omistaa laitteet

5. Kuinka kiinnostavaksi yrityksenne kokee 3D-tulostuksen?
 - a. Metalleille Ei Kiinnosta [1-5] Kiinnostaa paljon
 - b. Muoveille Ei kiinnosta [1-5] Kiinnostaa paljon
 - c. Muille materiaaleille Ei Kiinnosta [1-5] Kiinnostaa paljon

6. Kuinka suurena mahdollisuutena yrityksenne näkee 3D-tulostuksen omassa toiminnassaan?
 - Erittäin pieni [1-5] Erittäin suuri
 - a. Millaisia hyödyntämismahdollisuuksia?

7. Kuinka paljon yrityksenne ajattelee soveltaa 3D-tulostusta seuraavan kahden vuoden aikana?
Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
a. Missä kohteissa?
8. Jos yrityksenne ei ole vielä käyttänyt 3D-tulostusta, kuinka paljon tietoa yrityksenne kaipaisi ennen 3D-tulostuksen käyttöönottoa?
a. Apua käyttöönottoon Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
b. Tietoa prosesseista Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
c. Tietoa kappaleiden suunnittelusta Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
d. Tietoa laitteista Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
e. Tietoa mahdollisuuksista Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
f. Muuta tietoa, mitä? Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
9. Jos 3D-tulostus on käytössä, kuinka paljon lisätietoa yrityksenne kaipaa?
a. Tietoa prosesseista Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
b. Tietoa kappaleiden suunnittelusta Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
c. Tietoa laitteista Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
d. Tietoa mahdollisuuksista Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
e. Muuta tietoa, mitä? Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
10. Kuinka suureksi koette tiedon tarpeen 3D-tulostuksesta juuri nyt?
Erittäin pieneksi [1-5] Erittäin suureksi
11. Jos yrityksenne on kokeillut 3D-tulostusta,
a. Kuinka kauan menetelmä on ollut käytössä?
<1kk
1kk-1v
1v-3v
3v-5v
>5v
b. Kuinka usein tulostusta käytetään?
Päivittäin
Muutaman kerran viikossa
Muutaman kerran kuukaudessa
Muutaman kerran vuodessa
Harvemmin

- c. Mille materiaaleille tulostusta käytetään?
- | | |
|-------------|----------|
| i. Metallit | Kyllä/Ei |
| ii. Muovit | Kyllä/Ei |
| iii. Muut | Kyllä/Ei |
- d. Kuinka paljon koette pystyneen lisäämään yrityksen toimintaa 3D-tulostuksen avulla?
- | | |
|--|----------------------|
| i. Uusien palveluiden kautta | Erittäin vähän [1-5] |
| Erittäin paljon | |
| ii. Uusien tuotteiden/tuoteratkaisuiden kautta | Erittäin vähän [1-5] |
| Erittäin paljon | |
- e. Minkälaisissa tuotteissa/palveluissa 3D-tulostusta on käytetty?
- f. Minkä takia päädyttiin käyttämään 3D-tulostusta?
- g. Kuinka hyödylliseksi 3D-tulostus koetaan yrityksenne kannalta?
Ei ollenkaan [1-5] Todella hyödylliseksi

12. Jos yrityksenne omistaa 3D-tulostukseen soveltuvaa laitteistoa;

- Mille materiaaleille laitteisto soveltuu?
- Mitä tulostusmenetelmää laite käyttää?
- Minkä valmistajan laite on kyseessä?
- Miksi päädyttiin laitteen hankkimiseen?
- Onko hankinta ollut mielestänne kannattava?
Erittäin kannattamaton [1-5] Erittäin kannattava

13. Saako yrityksenne nimeä mainita kyselyn tuloksia analysoitaessa? Yritystänne ei tulla suoraan yhdistämään mihinkään kyselyn vastauksista.

14. Onko yrityksellänne kiinnostusta tarkempaan henkilökohtaiseen haastatteluun koskien 3D-tulostusta?

Seuraava sanasto on pääsääntöisesti Kati Lehtisen (2014) teoksesta.

Termi englanniksi	Termi suomeksi	Määritelmät
Yleistermi		
Additive manufacturing	Materiaalia lisäävä valmistus	Materiaalia lisäävässä valmistusmenetelmissä tehdään 3D malling pohjalta materiaalikerroksia lisäämällä, lisäävässä valmistuksessa pyritään löytämään joustavampia ja monimutkaisempia rakennustapoja, menetelmät on jaettu ASTM standardissa seitsemään kategoriaan
3D Printing	3D-tulostus	Suunnittelussa tarvittavien mallikappaleiden valmistaminen materiaalia lisäävällä käyttäen erilaisia yksinkertaisia ja edullisia 3D-tulostuslaitteita. Alun perin termi tarkoitti 3DP-tekniikkaa, ja 3D-toimistotulostimia, nykyisin myös lisäävän valmistuksen synonyymi
Rapid tooling	Muottien ja työvälineiden pikavalmistus	1) Muottien ja työvälineiden valmistaminen lisäävillä menetelmillä; joko heti käyttöön otettavien työvälineiden ja muottien valmistus suoraan tai muottien ja työvälineiden valmistamiseen tarvittavien mallien tekeminen. 2) Muottien ja työvälineiden nopea valmistaminen perinteisillä menetelmillä
Rapid prototyping	Prototyyppien pikavalmistus	Prototyyppien ja piensarjojen lisäävä valmistus, jonka avulla testataan iteratiivisesti kappaleen muotoa, mittatarkkuuksia ja toimivuutta tuotekehitysprosessin aikana ja ennen varsinaista tuotantoa.
Direct manufacturing	Suoravalmistus	Toiminnallisten lopputuotteiden valmistus lisäävillä menetelmillä ilman muotteja ja muita vastaavia välivaiheita.

Conformal cooling channel	Jäähdytyskanavisto	Lisäävän valmistuksen ansiosta työkaluihin ja muotteihin voi suunnitella niiden muotoja mukailevia kanavia, joihin jäähdyttävä aine pääsee virtaamaan, jolloin valettava kappale jäähtyy nopeasti ja tasaisesti. Perinteisten suorien jäähdytyskanavien sijoittelu muotin sisällä on rajoitetumpaa.
Prototype	Prototyyppi	Tuotekehityksen eri vaiheissa eri tarkoituksiin käytettyjä eriaisteisia malleja. Lisäävillä menetelmillä voidaan valmistaa monimutkaisia kolmiulotteisia malleja, joilla voi havainnollistaa sekä tuotteen ulkonäköä, mittasuhteita että toiminnallisuutta, minkä ansiosta vain yksi prototyyppi voi riittää suunnitelmien verifiointiin.
Small series production	Piensarjavalmistus	Pienien tuotantoerien valmistussarja. Ensimmäistä tuotteen kokeilusarjaa kutsutaan nollasarjaksi.
Hybrid manufacturing	Hybridivalmistus	1) Valmistusta, jossa skannaus- ja pikavalmistusmenetelmät on automatisoitu yhteen prosessiin. 2) Lisäävien menetelmien ja perinteisen CNC-menetelmien yhdistäminen automatisoidussa valmistusprosessissa.
Conventional manufacturing	Perinteiset valmistusmenetelmät	Materiaalia poistavat ja muovaavat valmistusmenetelmät.
Subtractive manufacturing	Materiaalia poistavat menetelmät	Perinteisiä koneistusmenetelmiä, joilla poistetaan materiaalia työstettävästä kappaleesta: moniakselinen jyrshintä ja sorvaus, kipinätyöstö (EDM), hionta, laserleikkaus, poraus ja mikrokoneistus.

Suunnittelutermit		
3D scanning	3D-scannaus	Kappaleen koon ja muodon määrittämistä automaattisella mittauksella, missä optisen laitteen ja mittausantureiden ja kolmiomittauksen avulla lasketaan kappaleen pinnan xyz-koordinaatteja. Mittaustietoa voi kerätä myös valokuvaamalla kappaletta eri kulmista
3D data	3D-pistepilvi	3D-scannauksessa mitattu data, joka sisältää koordinaattiarvoja.
Lattice structures	Ristikkorakenne	Kappaleen lujuutta lisäävä monimutkainen, usein laskennallisesti optimoitu sisäinen rakenne, jonka ansiosta kappaleesta voi samalla suunnitella kevyitä ja onttoja, jolloin säästyy materiaalia.
Support structure	Tukirakenne	Kun kappaleen muoto laajenee kerroksittain, ylempiä kerroksia tuetaan rakennusaluustasta tai alemmista muodoista lähtien kasvatetuilla tukirakenteilla, jotka takaavat valmiin kappaleen käyttökelpoisuuden. Tuet eivät kuulu kappaleeseen, vaikka ne on yleensä tehty samasta materiaalista. Ne pitävät kappaleen kiinni rakennusaluustassa ja tukevat muotoa alhaaltapäin.

Valmistustapatermit		
Binder jetting	Sideaineen ruiskutus	Menetelmässä kappale rakentuu jauhemaiseen aineeseen, johon ruiskutetaan perusmateriaalin kanssa reagoivaa nestemäistä sideainetta. Sideaine jää aina osaksi kappaletta. Vaikka sideaine reagoi huoneenlämmössä, jauheen pitää jäähmettyä muutamia tunteja ennen kappaleiden irrottamista.
Directed energy deposition	Materiaalin ja lämmön kohdistus	Menetelmässä lämpö suunnataan uuden materiaalikerroksen lisäämisen yhteydessä yhteen kohdistuspisteeseen. Usein lämmönlähteenä on lasersäde ja materiaalina käytetään metallijauheita. Materiaalisuutin ja lämmönlähde voivat olla erillisiä tai integroituja. Useimmissa laitteissa on 4- tai 5- akselinen ohjaus tai robottikäsi tulostuspään siirtämiseen, joten menetelmä ei rajoitu kerroksittain rakentamiseen.
Material extrusion	Materiaalin pursotus	Menetelmässä sulatettua materiaalia pursotetaan suuttimen läpi rakennuspinnalle kerroksittain. Materiaalina voi olla kestopuovinauhaa, tai kasetilta tai putkistoa pitkin annosteltavaa massaa. Menetelmässä tarvitaan tukirakenteita.
Material jetting	Materiaalin ruiskutus	Menetelmässä materiaalipisarointa ruiskutetaan määriteltyihin kohtiin rakennuspinnalle. Pisaroiden ruiskuttamiseen käytetään yhtä tai useampaa tulostuspäätä, jotka liikkuvat rakennusalustan yläpuolella. Materiaalina käytetään yleisimmin kasetilta syötettävää valokovettuvaa polymeeriä tai vahaa.

Powder bed fusion	Jauhepetiteknikka	Menetelmässä kohdistetaan lämpöä sulatettaviin kohtiin jauhepedillä. Jauhetta lisätään kerroksittain ja pinta tasoitetaan kerroksien välillä. Sulattamaton jauhe voi tukea kappaletta valmistuksen ajan, jolloin ei tarvita tukirakenteita.
Sheet lamination	Laminointi	Menetelmässä materiaalia liitetään ohuina levymäisinä kerroksina päällekkäin. Levymäinen sidonta-aineella pinnoitettu materiaali laminoidaan kiinni edelliseen kerrokseen kuumennetun rullan avulla. Levymäinen materiaali syötetään joko rullilta tai valmiina arkkeina. Kappaleen muoto saadaan kevykerrokseen leikkaamalla.
Vat photopolymerization	Allasvalopolymerisaatio	Menetelmässä polymeerialtaan rakennuspinnalle kohdistuva näkyvä tai UV-valo valokovettaa pyyhkäisemänsä kohdan.
Cure, curing	Valokovettaminen	Nestemäisen polymeerin muuttuminen kiinteäksi, kun pintaa pyyhkäistään UV-laservalolla.
Laitteiden ja laiteosien termit		
Additive systems	Pikavalmistulaitteet	Laitteita, jotka lisäävän valmistuksen menetelmillä muodostavat kolmiulotteisia kappaleita yhdistäen esimerkiksi nauhamaisia, nestemäisiä, jauhemaisia tai levymäisiä materiaaleja.
Industrial AM system	Teolliset pikavalmistulaitteet	Pikavalmistulaitteita, jotka täyttävät tyypilliset teollisuuden sovelluskohtaiset laatuvaatimukset.

3D Printer	3D-tulostin	3D-tulostimiksi kutsutaan halvan hinta-laatu-teholuokan pikavalmistuslaitteita. Pari viime vuoden aikana laitteiden käytettävyys sekä tulosteiden laatu ovat parantuneet ja materiaalivaihtoehdot ovat monipuolistuneet.
Print head	Tulostuspää	Kiinteän varren tai robottikäden päähän sijoitettu laitteen osa, josta ainetta tai sideainetta siirretään tulostettavaan kappaleeseen. Joissain laitteissa tulostuspää sisältää myös erillisen kohdistetun energian lähteen.
Thermal print head	Lämmitettävä tulostuspää	Tulostuspää, jossa on kiinteän materiaalin sulattamiseksi lämmitin. Sulanut materiaali valutetaan suuttimen tai aukon kautta rakennuspinnalle. Materiaalin syötön nopeutta voidaan säätää erillisellä ruuvilla.
Material supply	Materiaalisäiliö	Yleiskäsite vaihtoehdoisille materiaali- ja muodoille AM-laitteissa. Materiaalisäiliönä voi olla filamenttikela, materiaalikasetti, polymeeriallas tai jauhepeti, materiaalin ominaisuuksista ja laiterakenteesta riippuen.
Filament spool	Filamenttikela	Kiinteä nauhamainen tulostusmateriaali, joka säilytetään kelan ympärille rullattuna.
Thermoplastics	Kestomuovi	Kestomuoveissa on lineaarisia tai haaroittuneita molekyyliketjuja, joiden välillä ei ole kemiallisia sidoksia. Kestomuovin iskunkestävyys on hyvä ja työstäminen helppoa, ja sitä voidaan pehmittää työstettäväksi uudestaan useita kertoja.

Thermoset plastics	Kertamuovi	Kertamuovissa on vahva ristikkomainen molekyylirakenne, joka hajoaa, jos sitä yritetään lämmittämällä pehmittää ja työstää.
Material cartridge	Materiaalikasetti	Vaihdeettava säiliö, joka sisältää lisäävässä valmistuksessa tarvittavan aineen.
Powder bed	Jauhepeti	Jauheella täytetty kammio tai astia, jossa mäntä ohjaa jauhekerroksen korkeutta.
Vat	Polymeeriallas	Vedenpitävä läpinäkyvä säiliö, joka voi sisältää nestemäistä rakennusainetta.
Material spreader	Tasoitin	Laitteen osa, joka tasoittaa jauheen tai nesteen rakennettavien kerrosten välissä.
Build surface	Rakennuspinta	Edellinen kerros tai muu alue, johon kappaletta rakennetaan lisäämällä.
Build chamber	Rakennuskammio	Kammio on laitteen suljettu tila, jossa lämmönsäätely on mahdollista prosessin aikana.
Build platform	Rakennusalusta	Laitteessa oleva taso, jonka päälle kapale rakennetaan. Alustaa voi liikutella korkeus- tai vaakasuunnassa.
Build area	Rakennusalue	Tulostuspään ulottuvuuksien rajaama alue.
Build orientation	Orientaatio	Kappaleen asemointi pikavalmistulaitteessa valmistusprosessin aikana. Orientaatio määritellään 3D-mallin suunnittelun yhteydessä. Oikea asemointi voi nopeuttaa valmistusta ja parantaa kappaleen laatua.

Atomization of metal	Metallisulan atomisointi	Tässä pulverimetallurgian alaan liittyvässä metallijauheen valmistusmenetelmässä metallisula hajotetaan pieniksi pisaroiksi, jotka jäähdytetään joko vesi-, ilma- tai kaasusuihkulla. Hyvin nopean jäähtymisen tuloksena metallin rakenne hajoaa hyvin pieniksi partikkeleiksi.
Jälkikäsittelytermit		
Post-processing	Jälkikäsittely	Jos valmistettu kappale ei täytä pinnan tarkkuus- ja laatuvaatimuksia lisäävän valmistuksen jälkeen, jälkikäsittely koneistamalla ja hiomalla on välttämätöntä. Jälkikäsittelyyn kuuluu tukirakenteiden posto ja kappaleeseen kuulumattoman materiaalin puhdistaminen ja usein myös infiltraatio.
Post-machining	Jälkityöstö	Jälkityöstömenetelmiä ovat esim. CNC-poraus ja -hionta, jotka muuttavat materiaalipinnan ominaisuuksia ja parantavat siten ulkonäköä.
Post-build cleanup	Pinnan puhdistus	Kappaleen pinta puhdistetaan paineilman avulla kaikesta kappaleeseen kuulumattomasta materiaalista, esim. jauheen sulatuksessa kappaleen pintaan jääneestä muovi- tai metallijauheesta. Puhdistus-jälkikäsittely pitää tehdä ennen lämpökäsittelyä.
Post-thermal processes	Jälkikuumennus	Jälkikuumennus vapauttaa jännityksiä kappaleen sisällä ja parantaa kappaleen mekaanisia ominaisuuksia.

Sintering	Sintraus	Lisäävässä valmistuksessa sintraus liitetään jälkikäsitteilyyn, missä huokoinen kappale sintrataan eli jälkikuunnetaan uunissa, jolloin materiaali sulaa osittain tai kokonaan materiaalin ominaisuuksista riippuen.
Support removal	Tukirakenteen poisto	Tukirakenteet poistetaan, kun kappaleelle on tehty välttämätön lämpökäsittely. Poistaminen yksinkertaistuu, jos tukirakenne on eri materiaalia kuin varsinainen kappale.
Surface finishing	Pinnan viimeistely	Pinta voidaan viimeistellä hiomalla ja maalaamalla, tai metallisella pintakerroksella. Muottipinta vaatii yleensä myös mekaanisen viimeistelyn.

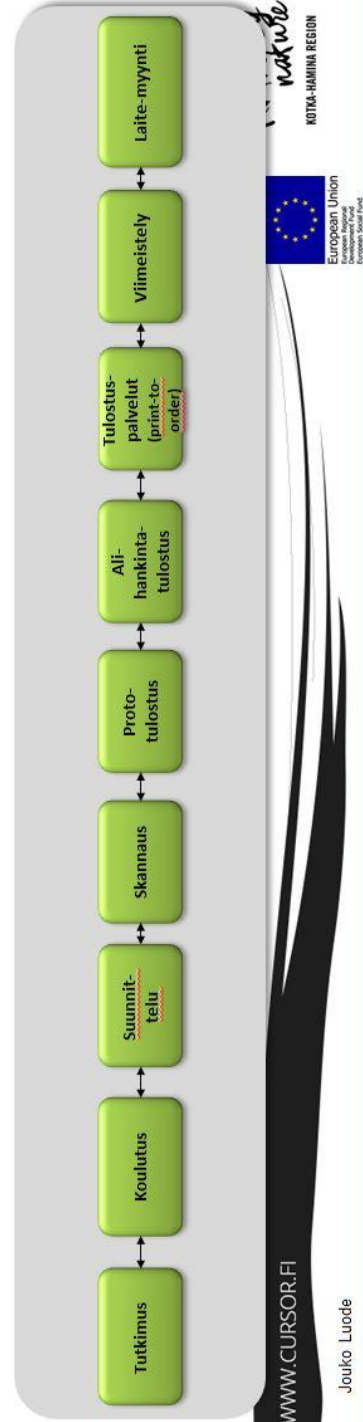
3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä, hankekuvaus

3D-valmistuksen innovaatiokeskittymä; 3D Navetta

Missio: ”3D Protoilusta to 3D Tuotantoon”

3D Navetta on:

- 3D-tulostamisen osaamisen ja tekemisen fyysinen keskus Suomessa
- Kokoaa yhteen koko 3D-tulostuksen arvoketjun
- Kytkeytyy muihin 3D-keskuksiin Suomessa ja kansainvälisesti
- Liiketoiminnan kehittäjä
- Start-Up-yrittyskiihdyttämö
- Tutkimuksen kärki ja tiedon kokooja ja levittäjä
- Ytimenä on syntyvä itsenäisesti toimiva palveluyksikkö
- **Painopisteinä ovat teollinen valmistus ja kunnossapito sekä viihde- ja kuluttajapalvelut.**



AM tekniikat (prosessit) F2792-12a standardin mukaan

- 1. Sideaineen suihkut** (**binder jetting**), n — lisäävän valmistuksen prosessi, jossa nestemäistä sideainetta suihkutetaan kerros kerrokselta viipaloitun datan mukaisesti jauhepedin pinnalle, jotta jauhemainen materiaali sitoutuu näistä kohdin toisiinsa ja täten aikaansaadaan valmis, fyysinen kappale.
- 2. Kohdennettu sulatus (directed energy deposition)**, n — lisäävän valmistuksen prosessi, jossa lisättävää materiaalia sulatetaan suoraan kohdennetun lämpöenergian avulla kerros kerrokselta viipaloitun datan mukaisesti, jotta aikaansaadaan valmis, fyysinen kappale.
- 3. Materiaalin pursotus (material extrusion)**, n — lisäävän valmistuksen prosessi, jossa materiaalia pursotetaan kerros kerrokselta viipaloitun datan mukaisesti suuttimen tai vastaavan lävitse valmiin, fyysisen kappaleen aikaansaamiseksi.
 1. Tähän kuuluu FDM, joka on vain yksi tämän kategorian tekniikoista
- 4. Materiaalin suihkut** (**material jetting**), n — lisäävän valmistuksen prosessi, jossa materiaalia suihkutetaan pisaroina kerros kerrokselta viipaloitun datan mukaisesti valmiin, fyysisen kappaleen aikaansaamiseksi.

AM tekniikat (prosessit) F2792-12a standardin mukaan

- 5. Jauhetisulatus (powder bed fusion), n** – lisäävän valmistuksen prosessi, jossa jauhemaista materiaalia, joka on levitetty jauhepediksi rakennusalustalle, sulatetaan kerros kerrokselta viipaloitun datan mukaisesti kohdennetun lämpöenergian avulla, jotta aikaansaadaan valmis, fyysinen kappale.
 - 6. Arkkilaminointi (sheet lamination), n** – lisäävän valmistuksen prosessi, jossa materiaaliarkkeja liitetään toisiinsa (esim. hitsaamalla) kerros kerrokselta muodostamaan valmiin, fyysisen kappaleen.
 - 7. Valokovetus altaassa (vat photopolymerization), n** – lisäävän valmistuksen prosessi, jossa nestemäistä, valokovettuvaa fotopolymeeriä käsitellään suljetussa altaassa valolähteen avulla, siten että materiaalia kovetetaan kerros kerrokselta viipaloitun datan mukaisesti valmiin, fyysisen kappaleen aikaansaamiseksi.
5. SLA on tämän tekniikan alakategoria