

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

LUT School of Energy Systems

LUT Kone

BK10A0402 Kandidaatintyö

METALLIEN TEOLLISEN LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TARPEEN KARTOITUS
KAAKKOIS-SUOMESSA

SURVEY OF NEEDS FOR INDUSTRIAL ADDITIVE MANUFACTURING OF
METALLIC MATERIALS IN SOUTH-EAST FINLAND

Lappeenrannassa 16.2.2018

Viljam Anttoni Hirvonen

Tarkastaja Professori Antti Salminen, TkT

Ohjaaja Dosentti Heidi Piili, TkT

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
LUT Energiajärjestelmät
LUT Kone

Viljam Anttoni Hirvonen

Metallien teollisen lisäävän valmistuksen tarpeen kartoitus Kaakkois-Suomessa

Kandidaatintyö

2018

40 sivua, 14 kuvaa, 1 taulukko ja 1 liite.

Tarkastaja: Professori Antti Salminen, TkT

Ohjaaja: Dosentti Heidi Piili, TkT

Hakusanat: Lisäävä valmistus, Metallit, 3D-tulostus, Kaakkois-Suomi, Valmistusteknologia, Teollisuuden tarpeet, Teolliset sovellutukset, Yritysmallit

Tutkimuksessa kartoitettiin yritystoiminnan mahdollisuutta Green Campus Innovations Oy:lle. Mahdollisuuksia kartoitettiin valitsemalla Kaakkois-Suomen alueelta kohdeyrityksiä haastattelukierrosta varten. Tutkimuksen kokeellinen osuus perustui kohdeyrityksistä valittujen asiantuntijoiden henkilöhaastatteluihin. Asiantuntijoilta kerättiin tietoa haastattelulomakkeen avulla avoimilla kysymyksillä. Tulokset jakautuivat osiin yritysten käyttämien komponenttien, niiden materiaalien ja metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuuksien perusteella.

Tutkittavia yritysmalleja olivat: yritysten investointi omaan laitteistoon, alihankinta, digitaaliset tietopankit sekä konsortio Kaakkois-Suomen alueella. Asiantuntijoiden haastattelujen perusteella todettiin yritystoiminnan tarve ja mahdollisuudet Kaakkois-Suomen alueella sekä komponentit ja niiden materiaalit. Asiantuntijoiden haastattelujen perusteella tutkimuksessa kartoitettiin myös tietoisuutta teknologiasta sekä yritysten ajatusta teknologian haasteista ennen käyttöönottoa.

Tutkimuksen tuloksena voidaan todeta, että tarvetta metallien lisäävän valmistuksen yritystoiminnalle on Kaakkois-Suomen alueella. Tutkimuksen perusteella lisääntyvä tietoisuus metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuuksista on karsinut teollisuuden ennakkoluuloja teknologiaa kohtaan. Seurauksena metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuuksia ja teknologian kehittymistä seurataan yrityksissä aktiivisesti.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYSLUETTELO

LYHENNELUETTELO

1	JOHDANTO.....	6
1.1	Tutkimuksen tavoitteet ja motivaatio	7
1.2	Tutkimusongelmat ja kysymykset	7
1.3	Tutkimuksen rajaus.....	8
2	TUTKIMUSMETODIT	9
2.1	Kokeellinen osuus.....	9
2.2	Kirjallinen osuus	9
3	LISÄÄVÄ VALMISTUS.....	10
3.1	Prosessit	11
3.1.1	Jauhepetisulatus	12
3.2	Lisäävän valmistuksen edut ja haasteet	14
4	LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TARVE KAAKKOIS-SUOMESSA.....	16
4.1	Haastattelut ja toteutus.....	16
4.2	Yritykset ja niiden valintakriteerit	16
5	TULOKSET	17
5.1	Tietoisuus metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuuksista.....	17
5.1.1	Valmistusmenetelmän käyttö.....	18
5.1.2	Koulutuksen tarve	20
5.2	Materiaalit.....	21
5.2.1	Komponentit	22
5.2.2	Tuotannon jakautuminen	22
5.3	Yritysmallit	23
5.3.1	Alihankinta.....	24
5.3.2	Investointi omaan laitteistoon	25
5.3.3	Konsortio	25
5.3.4	Digitaaliset tietopankit	25
5.4	Komponenttien toimitusajat.....	26

5.5	Haasteet ennen teknologian käyttöönottoa	26
6	TULOSTEN POHDINTA JA JATKOTUTKIMUSAIHEET	28
6.1	Johtopäätökset ja tulosten analysointi.....	28
6.2	Tutkimuskysymysten pohdinta	31
6.3	Tutkimuksen luotettavuus ja objektiivisuus	32
6.4	Esimerkkejä maailmalta.....	33
6.4.1	Virtausteknisesti optimoidut komponentit.....	33
6.5	Ehdotukset jatkon kannalta	35
	LÄHTEET	38
	LIITTEET	

LYHENNELUETTELO

AM	Additive Manufacturing
CAD	Computer Aided Design
DFAM	Design For Additive Manufacturing
DFMA	Design For Manufacture and Assembly
DMLS	Direct Metal Laser Sintering
GCI	Green Campus Innovations
PBF	Powder Bed Fusion
RP	Rapid Prototyping
SLS	Selective Laser Sintering
WYSIWYB	What You See Is What You Build

1 JOHDANTO

Nykypäivän kilpailuorientoituneessa maailmassa toiminnallisuuden kannalta mahdollisimman käytännöllisten ja geometrialtaan monimutkaisten komponenttien kysyntä lisääntyy jatkuvasti. Käytännöllisellä tarkoitetaan komponenttia, joka on valmistettu tuottaakseen parhaimman mahdollisen toiminnallisuuden sen käyttökohteeseen. Perinteiset konepajatekniikat eivät pysty aina vastaamaan kysyntään tarpeeksi kustannustehokkaasti, nopeasti ja ympäristöystävällisesti. Lisäävän valmistuksen (Additive manufacturing, AM) prosesseja on alettu hyödyntämään perinteisistä valmistusmenetelmistä aiheutuvien ongelmien ratkaisussa. Lisäävän valmistuksen teolliset sovellutukset ovat yksi nykypäivän nopeimmin kehittyvistä teknologioista. (Attaran 2017, s. 677-680)

Lisäävän valmistuksen avulla komponenttien suunnittelu kehittyi kohti vapaampaa ajattelumallia, kun erilaisia monimutkaisia geometrioita pystytään valmistamaan lisäävän valmistuksen teknologioilla suoraan ilman useita valmistusvaiheita. Monimutkaisten geometrioiden suunnittelu ja valmistus kustannustehokkaaseen hintaan voi mullistaa piensarjatuotannon ja uniikkien komponenttien valmistuksen. Piensarjojen ja uniikkien kustomoitujen kappaleiden kustannustehokas valmistaminen ovat vaikuttaneet merkittävästi ilmaisu-, auto- ja lääketieteellisuuteen, jossa valmistusmenetelmää hyödynnetään jo paljon. (Babu & Goodridge 2015, s. 881-883)

Lisäävä valmistus on ollut teknologiana olemassa 80-luvulta asti, mutta vasta nykypäivänä teknologian kehittyessä sen mahdollisuuksia aletaan tiedostamaan (Herzog, Seyda, Wycisk & Emmelmann 2016, s.371). Metallien lisäävän valmistuksen nopeaan teknologian kasvuun on syynä tietokoneiden ja ohjelmistojen kehittyminen sekä lasertekniikan kehittyminen. Tehokkaampien laserien tulo metallien lisäävän valmistuksen käyttöön vei materiaalien työstämisen uudelle tasolle. (Pinkerton, A.J. 2016, s. 25-32) Lappeenrannan teknillinen yliopisto, yhteistyössä Green Campus Innovations Oy:n kanssa, on myös reagoinut metallien lisäävän valmistuksen teknologioiden nopeaan kehitykseen ja selvittää tämän tutkimuksen avulla metallien lisäävän valmistuksen teollisen implementoinnin mahdollisuuksia Kaakkois-Suomessa.

1.1 Tutkimuksen tavoitteet ja motivaatio

Tämän tutkimuksen tavoitteena on kartoittaa Kaakkois-Suomen alueella metallien lisäävän valmistuksen tarvetta haastattelemalla tutkimukseen valittujen yritysten asiantuntijoita. Tutkimuksessa tutkitaan erityisesti metallien lisäävän valmistuksen teollista käyttöä. Tutkimuksen taustalla on Lappeenrannan teknillinen yliopisto ja Green Campus Innovations Oy, jonka tarpeiden osalta tämä tutkimus tehdään mahdollisten yritysmallien kartoittamiseksi.

Lappeenrannan teknillisellä yliopistolla on tutkittu lasertyöstön laboratoriossa metallien lisäävää valmistusta vuodesta 2009. Lappeenrannan teknillinen yliopisto oli myös ensimmäinen suomalainen yliopisto, johon tuli metallien lisäävän valmistuksen laitteisto vuonna 2011.

Tutkimuksen kokeellinen osuus suoritettiin yrityskierroksella, johon sisältyy henkilöhaastatteluiden lisäksi lyhyt esitelmä metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuuksista. Haastattelujen päätavoitteena on kartoittaa Kaakkois-Suomen yritysten tarvetta lisäävän valmistuksen teknologioille. Jos todellista tarvetta lisäävälle valmistukselle ilmenee, tutkimuksen tavoitteena on löytää sopiva yritysmodeli hyödynnettäväksi. Green Campus Innovations Oy:n tarpeisiin kartoitettiin yritysmodelleista: investointia omaan laitteistoon, alihankintaa, digitaalisia tietopankkeja sekä Kaakkois-Suomen alueen konsortiomahdollisuuksia.

1.2 Tutkimusongelmat ja kysymykset

Metallien lisäävä valmistus tarjoaa mahdollisuuksia yrityksille parantaa kilpailukykyä, innovatiivisuutta ja valmistuksen tehokkuutta (Attaran 2017, s. 677-688). Yritykset valmistavat kuitenkin pääosin kaikki metallituotteensa perinteisellä konepajatuotannolla. Tietoisuus ja palveluiden vähäinen tarjonta antaa perustan tälle tutkimukselle. Tässä tutkimuksessa vastataan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

- Millainen tietoisuus yrityksillä on metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuuksista?
- Onko yrityksillä lisäävällä valmistuksella valmistettavia komponentteja?
- Ovatko yritykset valmiita käyttämään metallien lisäävää valmistusta osana omaa toimintaansa ja minkälaisella yritysmodelleilla?

- Onko metallien lisäävässä valmistuksessa yritystoiminnan mahdollisuutta Green Campus Innovations Oy:lle?

1.3 Tutkimuksen rajaus

Tutkimus rajataan Kaakkois-Suomen alueelle, koska haastateltavat yritykset ovat Lappeenrannan teknillisen yliopiston läheisyydessä. Lappeenrannan, Imatran ja Ruokolahden alueilta valitut yritykset ovat sijaintinsa takia potentiaalisia yhteistyökumppaneita. Yrityksiä valitaan eri teollisuuden aloilta kymmenen kappaletta.

Tutkimuksessa tarkasteltavat metallien lisäävän valmistuksen prosessit ja laitteisto rajataan jauhepetisulatusmenetelmään (Powder Bed Fusion, PBF), koska tarkasteltavan prosessin ja laitteiston pitää soveltua metallien lisäävään valmistukseen sekä soveltua hyödynnettäväksi muodostuvassa yritystoiminnassa.

2 TUTKIMUSMETODIT

2.1 Kokeellinen osuus

Tämä kandidaatintyö koostuu pääasiassa kokeellisesta osasta, jossa yritysvierailujen aikana haastatellaan valittuja asiantuntijoita haastattelulomakkeen avulla (LIITE I). Yrityskierroksilla esitetään ennen haastattelua haastateltavalle asiantuntijalle lyhyt esitelmä metallien lisäävästä valmistuksesta, sen tilanteesta maailmalla ja mahdollisuuksista teollisuudessa. Yritysten asiantuntijoiden haastatteluista kerätty haastatteludata kerätään ja esitetään Microsoft Excelillä tehtyihin diagrammeihin ja taulukoihin. Haastateltavat henkilöt ovat yritysten valmistuksesta ja tuotekehityksestä vastaavia henkilöitä, tai kunnossapidossa toimivia asiantuntijoita.

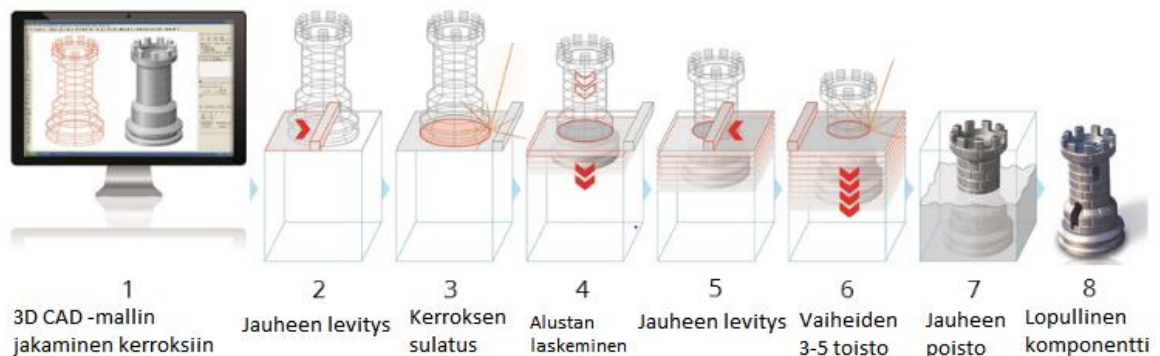
2.2 Kirjallinen osuus

Kokeellisen osan lisäksi työssä on kirjallinen osio, jossa käydään metallien lisäävän valmistuksen menetelmiä, laitteistoa ja case -esimerkkejä. Metallien lisäävä valmistus on teknologiana nopeasti kehittyvää, joten kirjallisuuden lähteinä käytetään alle 5 vuoden ikäistä tietoa luotettavista tieteellisistä lähteistä. Kaikki lähteet pyritään etsimään mahdollisimman tuoreista ja useammasta lähteestä luotettavuuden parantamiseksi.

3 LISÄÄVÄ VALMISTUS

Tässä osiossa käsitellään yleisesti lisäävää valmistusta ja sen prosesseja. Teknologian yleiskatsauksen jälkeen käsitellään tutkimuksen kannalta oleellisia AM-valmistusteknologioita ja sen etuja perinteisiin valmistusmenetelmiin verrattuna.

Lisäävä valmistus on valmistusmenetelmä, jossa perinteisestä konepajatuotannosta poiketen voidaan valmistaa komponentteja ainetta lisäämällä (Herzog et al. 2016, s. 371-392). SFS-EN ISO/ASTM 52900 (2017) standardin mukaan lisäävän valmistuksen menetelmät voidaan jaotella seitsemään eri teknologiaan, jotka ovat sideaineen suihkutus, kohdennettu sulatus, materiaalin pursotus, materiaalin suihkutus, jauhepetisulatus, arkkilaminointi ja valokovetus altaassa. Lisäävässä valmistuksessa valmistettava komponentti suunnitellaan mallinnusohjelmalla ennen sen tulostamista. Tuotteesta luodaan CAD -malli (Computer Aided Design, CAD), josta laitteisto valmistaa lopullisen tuotteen kerros kerrokselta kuvan 1 mukaisesti.



Kuva 1. CAD -mallin muuntaminen kerroksiin ja valmistus lisäävällä valmistuksella (mukaillen EOS).

Jokainen kerros on ohut poikkileikkaus alkuperäisestä CAD-mallista. Mitä ohuempia kerroksia tehdään, sitä tarkempi lopullisesta tuotteesta tulee alkuperäiseen CAD-mallinnukseen verrattuna. Tietokoneella tehty CAD-malli muunnetaan ennen prosessin aloitusta STL -muotoon 3D-tulostimelle sopivaksi. (Gibson, Rosen & Stucker 2015, s. 4-6; Goodridge & Ziegelmeier 2016, s. 181-2014) Lisäävässä valmistuksessa kappale tulostetaan suoraan tietokoneella tehdystä mallista haluttuun muotoon ennen jälkikäsittelyä. Lisäävää

valmistusta onkin kutsuttu What You See is What You Build (WYSIWYB) prosessiksi, koska CAD -mallista näkee suoraan tulostuksen lopputuloksen. WYSIWYB -prosessi tulee arvokkaaksi komponenttien geometrian monimutkaistuesssa. (Gibson et all. 2015, s. 9)

Lisäävän valmistuksen valmistusmenetelmässä valmistusvaiheet ovat yleisesti:

1. CAD -mallin luominen
2. CAD -mallin muuttaminen 3D -tulostimelle sopivaksi STL muotoon.
3. STL -tiedoston pilkkominen ohuisiin poikkileikkauksiin.
4. Osan valmistaminen lisäävän valmistuksen prosesseilla.
5. Jälkiviimeistely ja tukirakenteiden poisto.

Lisäävän valmistuksen menetelmästä riippuen viimeistelyn ja tukirakenteiden poiston tarve vaihtelee. (Dongdong 2015, s. 4-6)

3.1 Prosessit

Standardin SFS-EN ISO/ASTM 52900 (2017) mukaan lisäävän valmistuksen menetelmät voidaan jakaa kategorioihin taulukon 1 mukaan.

Taulukko 1. Lisäävän valmistuksen prosessit SFS-EN ISO/ASTM 52900 (2017).

Prosessi	Prosessin kuvaus
Sideaineen suihkutetus (engl. Binder jetting)	Nestemäistä sideainetta suihkutetaan kerros kerrokselta, jotta jauhemainen materiaali sitoutuu näissä kohdissa toisiinsa ja täten aikaansaadaan valmis, fyysinen kappale.
Kohdennettu sulatus (engl. Direct energy deposition)	Lisättävää materiaalia sulatetaan suoraan kohdennetun lämpöenergian avulla kerros kerrokselta, jotta aikaansaadaan valmis, fyysinen kappale.
Materiaalin pursotus (engl. Material extrusion)	Materiaalia pursotetaan kohdennetusti suuttimen tai reiän läpi ja täten aikaansaadaan valmis, fyysinen kappale.
Materiaalin suihkutetus (engl. Material jetting)	Materiaalia suihkutetaan pisaroina kerros kerrokselta fyysisen kappaleen aikaansaamiseksi.

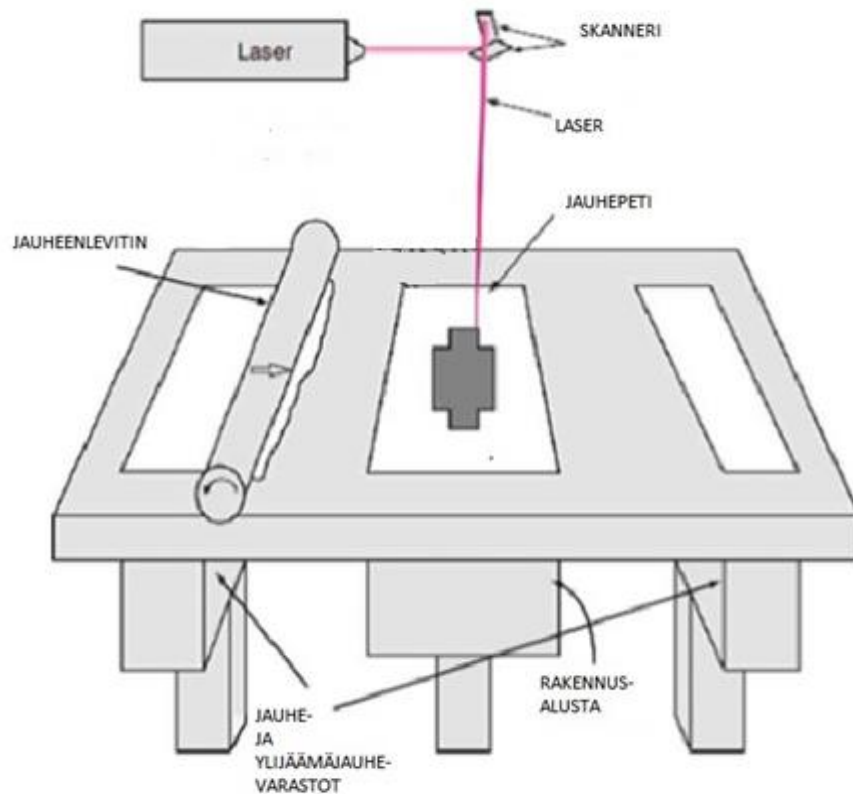
Taulukko 1. Lisäävän valmistuksen prosessit SFS-EN ISO/ASTM 52900 (2017).

Jauhepetisulatus (engl. Powder bed fusion)	Jauhemaista materiaalia, joka on levitetty jauhepediksi rakennusalustalle, sulatetaan kerros kerrokselta kohdennetun lämpöenergian avulla, jotta aikaansaadaan valmis, fyysinen kappale.
Arkkilaminointi (engl. Sheet lamination)	Materiaaliarkkeja liitetään toisiinsa (esimerkiksi hitsaamalla) kerros kerrokselta muodostamaan valmiin, fyysisen kappaleen.
Valokovetus altaassa (engl. Photopolymerization)	Nestemäinen muovi kovetetaan kohdennetusti käyttäen valoaktiivista polymerointia.

Standardissa mainituista lisäävän valmistuksen prosesseista tämän tutkimuksen kannalta ovat oleellisia ne prosessit, joilla voidaan valmistaa metallisia komponentteja. Metalleille soveltuvia lisäävän valmistuksen prosesseja ovat kohdennettu sulatus, sideaineen suihkutus, jauhepetisulatus ja arkkilaminointi. (Eyers & Potter 2017, s. 208-218) Lisäksi tarkasteltavien prosessien pitää olla sopivia mahdollisen yritystoiminnan perustamisen käyttämäksi prosessiksi. Näistä prosesseista pidetään tämän tutkimuksen kannalta oleellisena jauhepetisulatusta, koska se soveltuu haastateltujen yritysten komponenttien valmistukseen.

3.1.1 Jauhepetisulatus

Jauhepetisulatus on ensimmäisten kaupallisten lisäävän valmistuksen prosessien joukossa. Jauhepetisulatuksen prosesseista ensimmäinen kaupallinen menetelmä oli 3D systems:n tuotemerkki Selective Laser Sintering, SLS. (Gibson et al. 2015, s. 107) Jauhepetisulatus on AM-teknologioista yleisin ja menestynein metalleista, keraameista, polymeereistä ja komposiiteista valmistetuille komponenteille. (Ruys, Gingu, Sima & Maleksaeedi 2015, s. 487-566) Jauhepetisulatuksen toiminta on esitetty kuvassa 2.



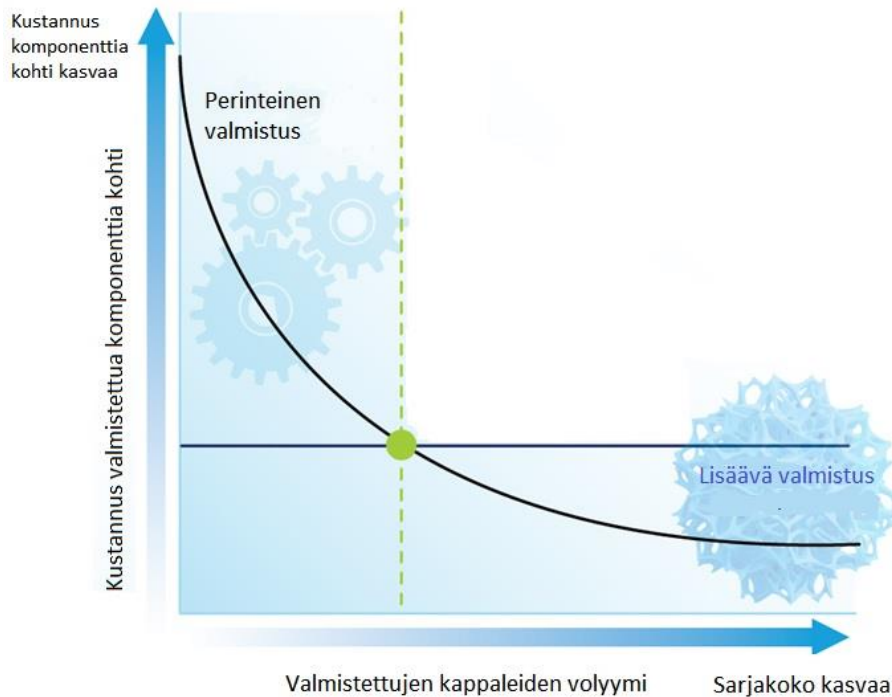
Kuva 2. Jauhepetimenetelmän toimintaperiaate (mukaillen Gibson et all. 2015, s. 108).

Menetelmässä laserilla sulatetaan haluttuun kohtaan kerroksia pedillä olevasta jauheesta. Yksi kerros on ohut poikkileikkaus tietokoneella suunnitellusta CAD-mallista, joka on muunnettu laitteelle sopivaksi STL-tiedostoksi. Kerroksen muodostuttua alusta laskeutuu kerroksen verran alaspäin ja rulla tai muu vastaava jauheenlevitin levittää pedille uuden kerroksen jauhetta. Jauheenlevittimelle ja jauheenlevitykselle on olemassa laitteistosta riippuen erilaisia ratkaisuja. Pysty akselin suuntaan liikkuvan rakennusalustan lisäksi laitteistoon kuuluu säiliöt jauheelle ja ylijäämäjauheelle. Prosessia toistetaan, kunnes haluttu geometria on saatu aikaiseksi. Valmiiden komponenttien annetaan jäähtyä ennen niiden poistamista rakennusalustalta. Käyttämätön jauhe voidaan käyttää uudelleen. (Gibson et all. 2015, s. 107-109; Goodridge & Ziegelmeier 2016, s. 181-204)

Kaikki jauhepetisulatusprosessit sisältävät yhden tai useamman lämmönlähteen (yleensä laser), jonka avulla sulatetaan metallijauhe. Lisäksi prosessit sisältävät tavan kontrolloida jauheenlevitystä halutulle alueelle sekä mekanismin, joka levittää ja lisää jauhetta jauhepedille (Gibson et all. 2015, s. 107-109; Goodridge & Ziegelmeier 2016, s. 181-204).

3.2 Lisäävän valmistuksen edut ja haasteet

Lisäävä valmistus on aloittanut kasvuvaiheen ja pystyy nykyisin kilpailemaan muiden valmistusmenetelmien kanssa valmistusnopeudessa, luotettavuudessa ja tarkkuudessa yksittäisten – tai piensarjatuotettujen komponenttien tapauksessa. Yksittäisten komponenttien ja sarjakoon kasvu on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Sarjakoon vaikutus lisäävällä valmistuksella ja perinteisillä valmistusmenetelmillä valmistettuihin komponentteihin (mukaiillen Deloitte 2014.).

Teknologian nopea kasvu johtuu valmistusvaiheiden vähenemisen takia laskevista kustannuksista, tietokoneiden ja tietokoneohjelmien kehityksestä, laserteknologian kehityksestä, panostuksesta materiaalien laatuun sekä yleisen tietoisuuden kasvamisesta valmistusmenetelmän mahdollisuuksista. (Ruys et all. 2015, s. 487-566) AM-teknologioista tulee perinteisille valmistusmenetelmille varteenotettava kilpailija materiaalikirjon laajentuessa ja raakamateriaalin hinnan tippuessa. Lisäksi AM-teknologioita hyödyntävät konepajat pysyvät tuotannon suhteen virtaviivaisempina ja monipuolisempina kuin ennen. (Gibson et all. 2015, s. 9-10; Goodridge & Ziegelmeier 2017, s. 181-2014)

Alueet, joissa lisäävällä valmistuksella saavutetaan etuja verrattuna perinteisiin valmistusmenetelmiin ovat:

1. Suunnittelun vapaus. Innovatiivinen suunnittelu mahdollistuu, kun geometrioiden asettamat rajoitteet poistuvat ja rakenteista voidaan tehdä perinteisille valmistustekniikoille mahdottomia muotoja (ristikkorakenne, sisäiset ontelot, ohuet seinämäpaksuudet). Lisäävän valmistuksen suunnittelulla on kuitenkin omat rajoitteensa.
2. Tuotannon nopeus. Muottien ja työkalujen tarvetta ei ole, valmistaja voi valmistaa prototyyppisiä ja komponentteja joustavasti mallinnusta muuntaen. Lisäävää valmistusta hyödynnetään valmistusvaiheiden vähentämiseksi tai yksinkertaistamiseksi (Gibson et al. 2015, 9-10; Rejeski, Zhao & Huang 2018, s.22).
3. Kustannustehokkuus. Komponenteista voidaan tulostaa suoraan kokonaisuuksia, jolloin komponenttien määrä vähenee ja materiaalia ei kulu hukkaan. Digitaalisia tietopankkeja hyödynnettäessä toimitusketju lyhenee, kun komponentit voidaan lähettää paikalle sähköisessä muodossa ja valmistaa paikan päällä.
4. Ympäristöystävällisyys (Rejeski et al. 2018, s. 21-28). Materiaalia ei kulu hukkaan, kun valmistuksessa käytetään materiaalia vain haluttuihin paikkoihin ja materiaali voidaan kierrättää uudelleenkäyttöä varten. (Dongdong 2015, s. 6-8; Attaran 2017, s. 677-688)

Teknologialla on saavutettavissa huomattavia etuja sopivien komponenttien löydyttyä. Lisäävän valmistuksen prosesseja hyödynnettäessä realistista on kuitenkin tunnistaa teknologiaan liittyvät haasteet. Lisäävän valmistuksen prosessit tarjoavat komponenttien suunnittelulle uusia mahdollisuuksia, mutta myös omia rajoitteita. Nykypisteessä teknologialla pystytään valmistamaan vain pieni osa esimerkiksi teollisuuden varaosista laitteiston kokoluokan ja materiaalien rajoitusten takia.

Lisäävällä valmistuksella valmistettaessa komponentit vaativat lähes poikkeuksetta jälkiviimeistelyä. Komponenttiin saavutettava laatu ja materiaalin hinta ovat vielä alueita, jossa lisäävän valmistuksen pitää kehittyä kilpailukyvyn kannalta. (Debroy, T. et al. 2018, s. 207-208)

4 LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TARVE KAAKKOIS-SUOMESSA

Tässä osiossa käsitellään yritykseen järjestettyjä haastatteluita, niiden toteutusta ja valintakriteereitä. Haastattelut ja toteutus sekä yritykset ja niiden valintakriteerit ovat esitetty omina osioinaan.

4.1 Haastattelut ja toteutus

Haastattelut sovittiin yritysten toimitiloihin Lappeenrannan, Imatran ja Ruokolahden alueella. Haastateltaviksi valikoitui teollisuuden alojen asiantuntijoita, jotka vastaavat yritysten valmistuksesta, tuotekehityksestä tai ovat esimiesasemassa yrityksen kunnossapidossa. Haastattelut tehtiin henkilökohtaisesti kasvotusten. Haastattelutilanteessa pidettiin lyhyt esitelmä, johon oli mietitty yhdessä kandidaatintyön ohjaajien kanssa metallien lisäävän valmistuksen kannalta oleellisia asioita ennen haastattelua. Lyhyen esitelmän tarkoitus oli saada haastateltavat henkilöt syventymään aiheeseen ja pohjustaa haastattelua taustoineen. Esitelmän jälkeen haastattelu toteutettiin avoimien kysymyksien muodossa. Haastattelun jälkeen käytiin haastateltavien henkilöiden antamat vastaukset läpi asiavirheiden varalta. Haastattelukysymykset liittyivät yritysten nykyisiin komponenttien valmistusmenetelmiin, sekä metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuuksiin. Haastattelukysymykset ovat esitetty liitteessä 1.

4.2 Yritykset ja niiden valintakriteerit

Yrityksiä valittiin tutkimukseen mahdollisimman laajasti eri teollisuuden aloilta. Haastatteluihin valittiin eri teollisuudenalojen lisäksi myös eri kokoluokan yrityksiä. Mukana haastatteluissa oli yrityksiä, jotka:

- Valmistivat metallisia komponentteja asiakkaan tilauksesta
- Olivat järjestelmän toimittajia ja valmistivat osan metallisista komponenteistaan itse ja hankkivat osan alihankintana
- Olivat järjestelmän toimittajia ja ostivat kaikki komponenttinsa alihankintana.

Yrityksiä valitessa hyödynnettiin olemassa olevia yhteystietoja. Lisäksi kaikki yritykset olivat Etelä-Karjalan alueella yhteistyön yksinkertaistamiseksi.

5 TULOKSET

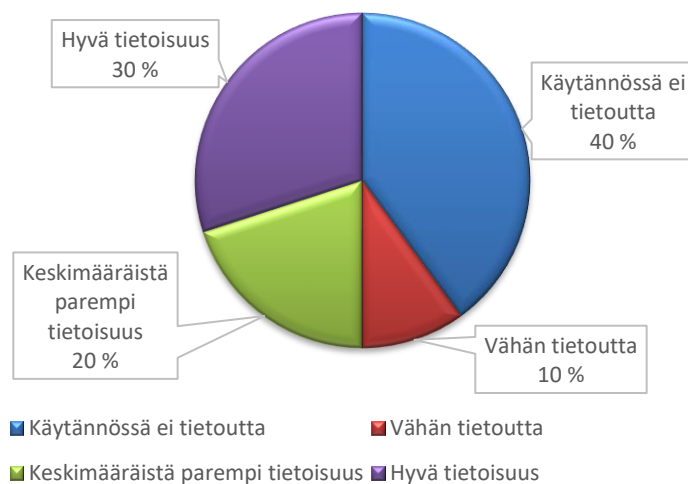
Tulokset osioissa käsitellään haastattelukierrokselta valmistustekniikan, kunnossapidon ja tuotekehityksen asiantuntijoilta saatua haastatteludataa. Tulokset osio pidetään mahdollisimman suoraviivaisena ja esitetään ainoastaan haastatteluista saatuja tuloksia. Tuloksista saatua informaatiota avataan ja pohditaan myöhemmin tutkimuksen osiossa 6. Haastatteluissa aiheena olleet osiot jaetaan viiteen eri aihealueeseen, jotka ovat järjestyksessään seuraavat:

1. Tietoisuus metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuuksista
2. Materiaalit
3. Yritysmallit
4. Komponenttien toimitusajat
5. Haasteet teknologian käyttöönotossa.

Asiantuntijoilta kerättyä haastatteludataa on esitetty osiossa Microsoft Excelillä tehdyillä taulukoilla ja diagrammeilla.

5.1 Tietoisuus metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuuksista

Kaakkois-Suomessa haastateltaviksi valituilla yrityksillä oli yleisesti ottaen vaihteleva tietoisuus metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuuksista. Kuvassa 4 on esitetty tietoisuuden jakautuminen haastateltavissa yrityksissä.



Kuva 4. Tietoisuus metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuuksista.

Mahdollisuuksista oli otettu selvää ja mietitty valmistusmenetelmän soveltamista yritystoimintaan. Yrityksistä 30%:lla oli hyvä tietoisuus teknologiasta. Yrityksillä, joilla oli hyvä tietoisuus, oli vähintään kokeiltu lisäävää valmistusta omassa toiminnassaan, yrityksen sisältä löytyi suunnitteluosaamista ja yritykset olivat miettineet laitteistoon investointia.

Keskimääräistä parempi tietoisuus oli 20%:lla yrityksistä. Keskimääräistä parempi tietoisuus yrityksessä oli, kun yritys tilasi komponentteja alihankkijalta tai kokeili itse lisäävää valmistusta. Yrityksen sisältä ei kuitenkaan löytynyt omaa suunnitteluosaamista tai aikomusta investoida omaan laitteistoon.

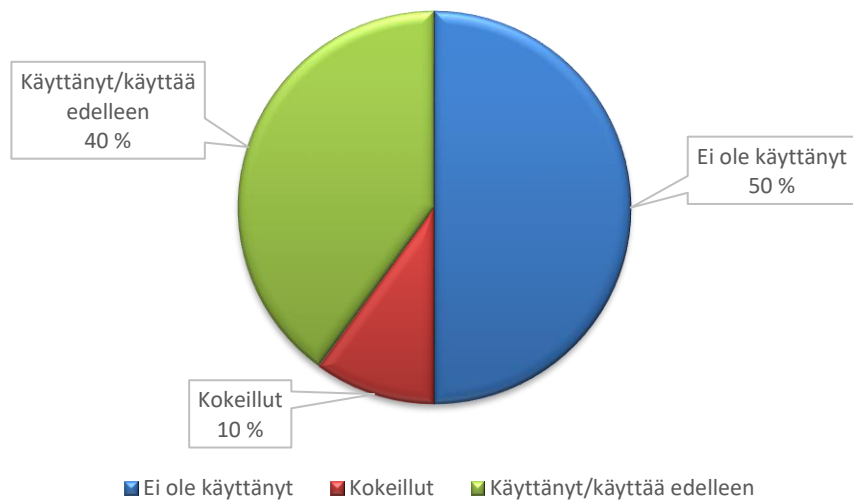
Vähän tietoutta oli 10%:lla yrityksistä. Vähän tietoutta oli, jos yrityksessä oli henkilökuntaa, joka oli tutustunut aiheeseen esimerkiksi valmistusteknologioille suunnatuilla messuilla tai koulujen tarjoamissa tilaisuuksissa. Vähän tietoutta omaavissa yrityksissä ei kuitenkaan oltu kokeiltu itse lisäävää valmistusta tai hankittu komponentteja alihankkijalta lisäävällä valmistuksella.

Käytännössä ei tietoutta olevia yrityksiä oli 40% yrityksistä. Yrityksissä saatettiin tiedostaa valmistusmenetelmän olemassaolo, mutta aiheeseen ei oltu tutustuttu, eikä teknologiaa hyödynnetty. Yleinen tietoisuus kyseisissä yrityksissä painottui pääasiassa lehti- tai e-artikkeleista luettuun tietoon.

5.1.1 Valmistusmenetelmän käyttö

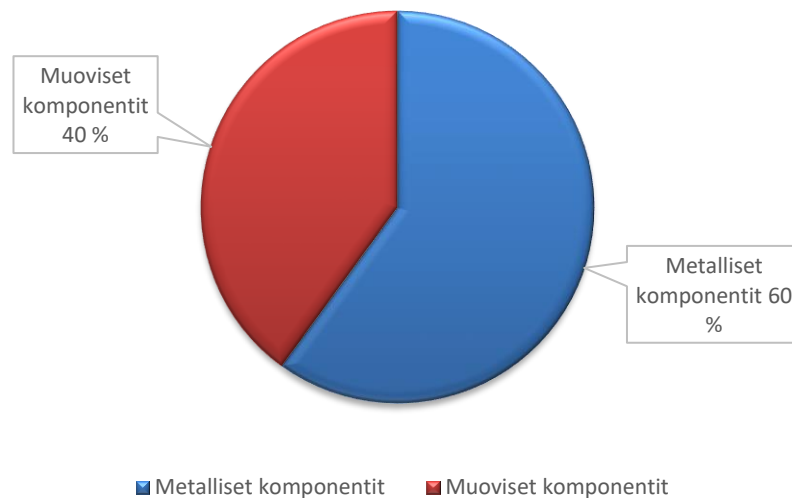
Lisäävää valmistusta oli vähintään kokeiltu valmistusmenetelmänä 50% yrityksistä. Prosesseista muoveille ja metalleille oli käytetty jauhepetimenetelmää. Yrityksissä, joissa lisäävää valmistusta oli kokeiltu, hyödynnettiin lisäävää valmistusta tuotekehitykseen, prototyyppeihin ja osakokoonpanojen yhteensopivuuden visualisointiin. Aktiivista tuotekehitystä harjoittavat yritykset olivat vähintäänkin kokeilleet lisäävää valmistusmenetelmää omassa toiminnassaan. Kaikki yritykset, jotka olivat käyttäneet teknologiaa, aikoivat jatkaa teknologian käyttöä. Teknologiaa kokeilleista yrityksistä 60% aikoi kasvattaa lisäävän valmistuksen osuutta tuotannostaan tulevaisuudessa kartoittamalla yhä enemmän teknologialle sopivia komponentteja sekä pitämällä lisäävän valmistuksen komponenttien valmistukselle yhä enemmän varteenotettavana vaihtoehtona.

Yritykset, jotka eivät olleet käyttäneet lisäävää valmistusta valmistusmenetelmänä, eivät panostaneet rahallisesti omaan valmistukseen. Yrityksistä 50% ei ollut käyttänyt lisäävää valmistusta valmistusmenetelmänä. Suurin syy käyttämättömyydelle oli, että yritykset eivät panostaneet rahallisesti omaan valmistukseen. Valmistusmenetelmän käyttö on esitetty kuvassa 5.



Kuva 5. Lisäävän valmistuksen käyttö haastateltavissa yrityksissä.

Yritykset, jotka olivat käyttäneet tai kokeilleet lisäävää valmistusta valmistusmenetelmänä olivat valmistaneet sekä metallisia että muovisia komponentteja. Metallisia komponentteja olivat tulostaneet 60%:a lisäävää valmistusta käyttäneistä yrityksistä. Haastatteluissa nousi esiin käytettynä menetelmänä lisäävän valmistuksen prosesseista jauhepeti. Tämä luultavasti johtui siitä, että jauhepetimenetelmän koettiin olevan AM-prosesseista helpoiten lähestyttävissä sekä sovellettavissa yritysten metallisten komponenttien valmistukseen. Yritykset, jotka olivat käyttäneet tai kokeilleet lisäävää valmistusta, mutta eivät metallikomponenttien valmistukseen, olivat valmistaneet muovisia komponentteja. Muovisia komponentteja valmistaneiden yritysten osuus oli tutkimuksessa 40%. Lisäävän valmistuksen käyttökohteiden jakautuminen on esitetty kuvassa 6.

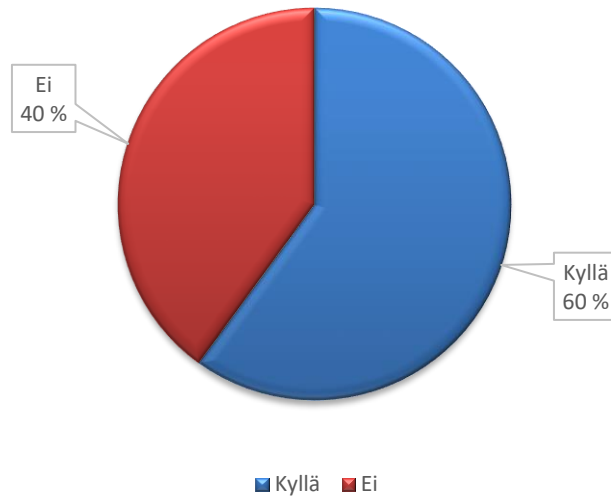


Kuva 6. Lisäävän valmistuksen käyttökohteiden jakautuminen materiaaleittain.

5.1.2 Koulutuksen tarve

Yritykset, jotka olivat käyttäneet ja käyttävät edelleen lisäävää valmistusta valmistusmenetelmänään, kokivat jokainen tarvitsevansa lisää koulutusta aiheeseen liittyen. Koulutusta tarvittiin, koska yritykset kokivat lisäävän valmistuksen teknologioissa olevan vielä paljon selvitettäviä asioita. Selvitettäviä asioita löytyi materiaaleista, hinnoista, prosessien rajoitteista sekä suunnittelulla saavutettavista hyödyistä. Koulutusta tarvitsevia yrityksiä oli 60%:a yrityksistä. Koulutuksen taso vaihteli peruskoulutuksesta aina syvällisempään koulutukseen, jossa perehdytään valmiisiin teollisiin sovellutuksiin. Koulutuksen taso korreloitui suoraan lisäävän valmistuksen käyttöön. Enemmän teknologiaa käyttäneet yritykset tarvitsivat paljon syvällisempää koulutusta kuin vähän käyttäneet.

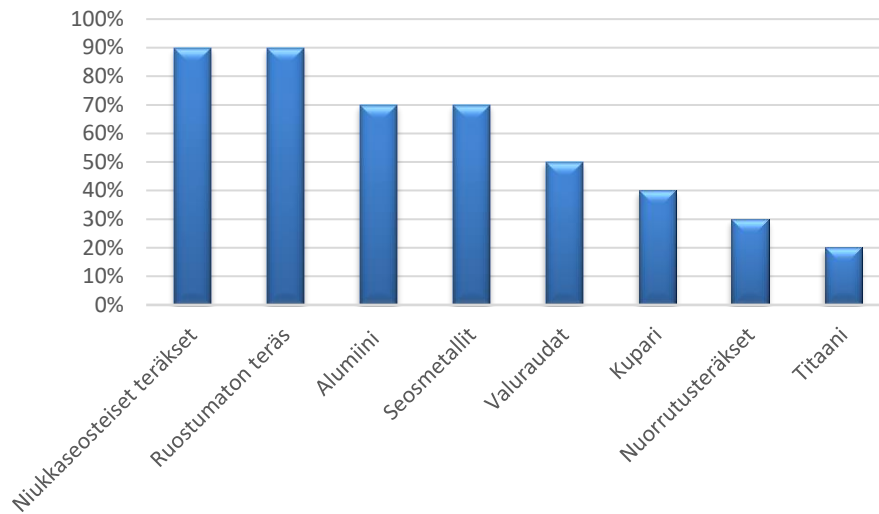
40%:a yrityksistä ei kokenut tarvitsevansa koulutusta aiheeseen liittyen. Koulutusta ei tarvittu, koska omaan valmistukseen ei panostettu yrityksissä. Koulutuksen tarpeen jakautuminen on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Koulutuksen tarpeen jakautuminen yrityksissä.

5.2 Materiaalit

Asiantuntijoiden haastattelukierroksella tutkittiin, millaisia materiaaleja yrityksissä tarvitaan metallisten komponenttien valmistukseen. Niukkaseosteiset teräkset ja ruostumattomat teräkset olivat käytössä 90%:ssa yrityksistä. Alumiini ja seosmetallit olivat käytössä 70%:ssa yrityksistä. Valurautoja käytettiin 50%:ssa yrityksistä. Muita lisäävän valmistuksen teknologialla hyödynnettävissä olevia materiaaleja olivat kupari, nuorrutusteräkset ja titaani. Materiaalinkulutuksen volyyymi vuositasolla oli kymmeniä tonneja vuodessa per materiaali suurimmassa osassa yrityksistä. Suurimmat volyymit kulutetuilla materiaaleilla oli niukkaseosteisilla teräksillä, alumiinilla ja ruostumattomilla teräksillä. Niukkaseosteisten terästen ja alumiinin lisäksi erityisesti kuumaakestäviä teräksiä käytettiin yrityksissä vuositasolla suuria volyymeja. Haastatteluissa esille tulleet materiaalit ovat esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Yrityksissä komponentteihin käytettävät materiaalit.

5.2.1 Komponentit

Haastatteluissa tutkittiin yrityksissä tarvittavia komponentteja, jotka soveltuvat valmistettavaksi metallien lisäävällä valmistuksella. Komponentit vaativat pilotointia, materiaalin testausta ja oikean valmistusmenetelmän, mutta näiden löytyessä voitaisiin mahdollisesti valmistaa yritysten tarpeisiin:

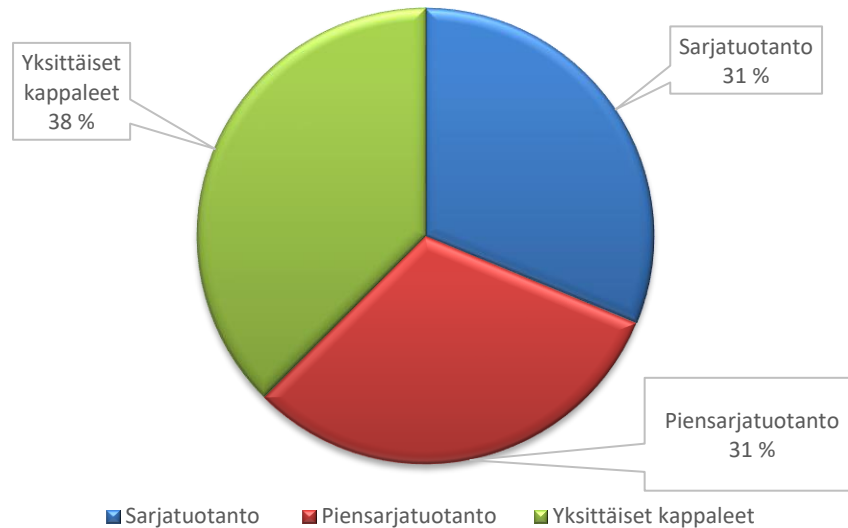
1. Virtausteknisesti optimoituja komponentteja
2. Pumppujen, puhaltimien ja kompressorien varaosia
3. Sähkökoneiden komponentteja
4. Polttokammioiden osia
5. Kiinnityselementit
6. Moottorien lohkoja ja koteloita
7. Valurautatuotteita korvaavia tuotteita

Komponentit ovat kuvassa 8 esitetyistä materiaaleista. Komponenttien kokoluokat vaihtelivat kymmenistä milloista aina muutamiin metreihin. Massaltaan komponentit ovat sadoista grammoista kymmeneen kiloihin.

5.2.2 Tuotannon jakautuminen

Komponenttien valmistus jakautui yrityksissä kuvan 9 mukaan. 38% yrityksistä valmistaa tai hankkii komponenttinsa kustomoituina yksittäiskappaleina. Yrityksistä 31% puolestaan

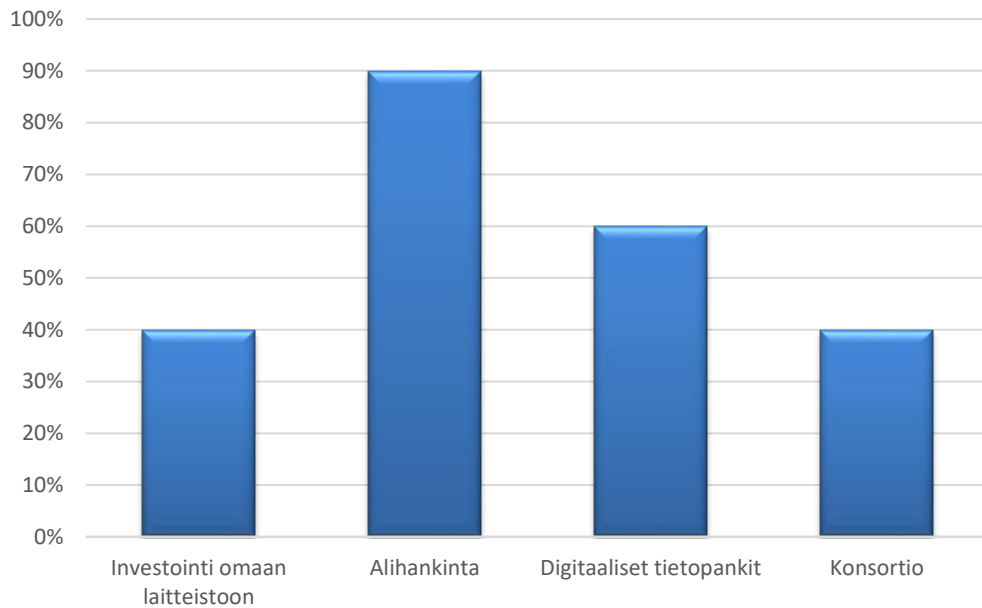
hankkii tai valmistaa komponenttinsa piensarjatuotantona eli noin 10 kappaleen sarjoissa. 31% yrityksistä hankkii tai valmistaa komponenttejaan sarjatuotannolla. Sarjatuotannossa komponentteja valmistetaan isompia kuin 100 kappaleen sarjoja.



Kuva 9. Tuotannon jakautuminen yrityksittäin.

5.3 Yritysmallit

Tässä tutkimuksessa tarkoituksena oli selvittää Green Campus Innovations Oy:lle sopivaa yritysmallia, jolla metallien lisäävää valmistusta kannattaa hyödyntää Kaakkois-Suomen alueella. Tutkimuksessa kartoitettiin yritysmalleista investointia omaan laitteistoon, alihankintaa, digitaalisia tietopankkeja sekä konsortiota. Yritysmallit, joita haastatellut yritykset olisivat valmiina hyödyntämään, on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Yritysmallien jakautuminen.

Haastateltavista yrityksistä 90%:a olisi valmiina hyödyntämään alihankkijaa Kaakkois-Suomen alueella, 60%:a yritystä näki digitaalisten tietopankkien käyttämisen tulevaisuuden ansaintalogiikkana, 40%:a yrityksistä on miettinyt investointia laitteistoon tulevaisuudessa sekä 40%:a yrityksistä on avoinna keskustelulle konsortiomahdollisuudesta Kaakkois-Suomessa.

5.3.1 Alihankinta

90% yrityksistä olisi valmiina hyödyntämään alihankkijaa Kaakkois-Suomen alueella. Alihankintayrityksen täytyisi pystyä tarjoamaan yrityksille koko toimitusketju komponenttien suunnittelusta valmistukseen sekä toimitukseen. Lisäksi alihankkijan pitäisi pystyä tarjoamaan yrityksille virtaus-, materiaali- ja valmistusteknistä asiantuntemusta. Tarve lisäävällä valmistuksella valmistetuille komponenteille oli osassa yrityksissä suurempi kuin toisissa.

Metallien AM-teknologioilla valmistettavat komponentit olivat osassa yrityksistä jo mietitty ja komponenteille etsittiin toimittajaa. Lisäävää valmistusta tarjoavia yrityksiä oli kartoitettu, mutta varsinkin yritysten asiantuntemuksen puuttumiseen oltiin tyytymättömiä. Pelkän laitteiston omistamista ei pidetty riittävänä.

Haastatteluissa oli myös yrityksiä, joilla oli alihankinnalle kartoitettu yrityksen sisältä sopivat komponentit. Patenttien hyväksynnän jälkeen kyseisissä yrityksissä on tarkoitus aloittaa toimittajan etsiminen komponenttien valmistukseen.

Osalla yrityksistä ei oltu tehty alustavaa kartoitusta alihankintaan sopiville tuotteille. Alihankkijan löytyessä Kaakkois-Suomen alueelta yritykset alkaisivat kartoittaa teknologioille sopivia komponentteja yrityksen sisältä.

Muut yrityksistä eivät olleet kiinnostuneita kartoittamaan tuotannon kannalta sopivia komponentteja. Näillä yrityksillä löytyi kuitenkin kiinnostusta AM teknologioilla valmistettujen prototyyppien ja osakokoonpanojen ostamiseen alihankkijalta.

5.3.2 Investointi omaan laitteistoon

40% yritystä oli miettinyt investointia laitteistoon. Investointeja oli joissain tapauksissa jo esitetty, mutta ne eivät olleet toteutuneet liian ison riskin takia. Investoinnin lisäksi oli mietitty leasing -mahdollisuutta, koska AM-teknologiat kehittyvät todella nopeaan tahtiin. Leasing-sopimuksilla vältetään investoinnin sitomista laitteistoon niin pitkäksi ajaksi, että se vanhentuu.

5.3.3 Konsortio

Tässä tutkimuksessa kartoitettiin myös yritysten kiinnostusta perustaa Kaakkois-Suomen alueella yhteisvoimin lisäävän valmistuksen tuotantolaitoksen. Konsortiomahdollisuuksista oli valmiutta keskustella 40%:a haastatelluista yrityksistä. Konsortion mallit olivat tutkimuksessa osainvestoinnit, ostolupaukset sekä ostosopimukset. Alueen yrityksillä esiintyi selkeitä yhtäläisyyksiä valmistettavista komponenteista, materiaaleista sekä komponenttien kokoluokasta. Konsortion perustaminen alueelle yhteisen tarpeen kautta olisi yritystoiminnan kannalta mahdollinen ja erittäin kannattava vaihtoehto.

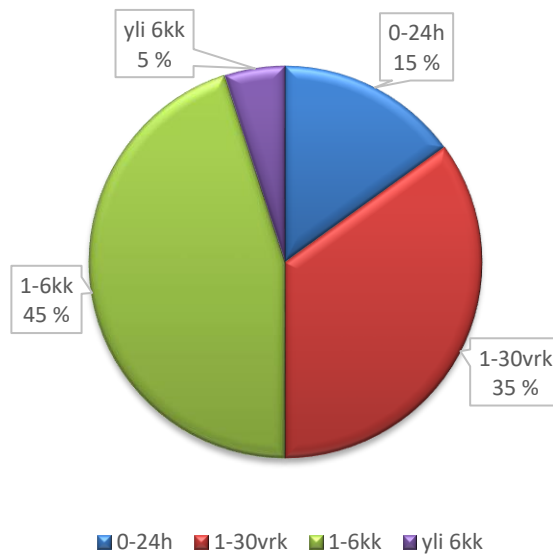
5.3.4 Digitaaliset tietopankit

Digitaalisten tietopankkien yritysmallissa vähäisellä käyttöasteella olevat varaosat olisivat sähköisessä muodossa ja tulostettaisiin vasta tarpeen vaatiessa. Haastateltavista yrityksistä osalla oli suuret varastot, joilla on pitkä kiertoaika. Varastoon ei tarvitse sitoa pääomaa, jos

komponentit olisivat sähköisessä muodossa. Digitaaliset tietopankit olivat tulevaisuuden ansaintologiikan mahdollisuus 60% yrityksen mielestä. Yritykset näkivät digitaaliset tietopankit varsinkin omassa toiminnassaan suurena mahdollisuutena. Metallien AM-tekniologioille sopivat varaosat täytyy kartoittaa yrityksissä ennen niiden lisäämistä digitaalisiin tietopankkeihin.

5.4 Komponenttien toimitusajat

Yrityksissä käytettävien komponenttien toimitusajat vaihtelivat tunneista tapauskohtaisesti yli kuuteen kuukauteen. Keskimäärin metalliset komponentit toimitetaan Kaakkois-Suomen alueen yrityksiin 2-4 kuukaudessa. Toimitusajat riippuivat metallisten komponenttien geometrioiden monimutkaisuudesta ja olemassa olevista toimitussopimuksista. Komponenttien toimitusaikojen jakautuminen on esitetty kuvassa 11.



Kuva 11. Komponenttien toimitusajat yrityksissä.

5.5 Haasteet ennen teknologian käyttöönottoa

Haastatteluissa tutkittiin haastateltavien yritysten mielestä selvitettäviä asioita ennen metallien lisäävän valmistuksen käyttöönottoa teknologiana. Asiantuntijoiden mielestä teknologiasta selvitettäviä asioita olivat:

1. Materiaalitekniset ominaisuudet, kuten korroosiokestävyys ja lujuus
2. Mittatarkkuus ja standardoitavuus
3. Kustannukset ja tuotantoaika

4. Komponenttien laatu ja laadunhallinta
5. Jälkikäsitteilyn tarve
6. Saatavilla olevat materiaalit
7. Käyttövarmuus ja teknologiasta saatavat tekniset edut
8. Laitteiston vaatimat logistiset ja infrastruktuuriset haasteet
9. Syntyneet referenssit

Yrityksien mielestä lisäävällä valmistuksella valmistettujen komponenttien täytyy vähintään vastata ominaisuuksiltaan perinteisillä valmistusmenetelmillä valmistettavia komponentteja. Valmistusmenetelmää voidaan hyödyntää, jos sillä saavutetaan etuja verrattuna yrityksessä käytettäviin valmistusmenetelmiin. Yritykset pitivät teknologian kannalta oleellisena, että myös suunnittelun ajatusmallit siirtyisivät perinteisen valmistuksen ajatusmallista kohti lisäävää valmistusta.

6 TULOSTEN POHDINTA JA JATKOTUTKIMUSAIHEET

Tulosten pohdinnassa ja jatkotutkimusaiheissa analysoidaan tutkimuksen tuloksia ja esitetään ehdotuksia jatkon kannalta saatujen tulosten perusteella. Tulosten pohdinta ja jatkotutkimusaiheet ovat jaettu seuraaviin osioihin:

1. Johtopäätökset ja tulosten analysointi
2. Tutkimuskysymysten pohdinta
3. Tutkimuksen luotettavuus ja objektiivisuus
4. Esimerkkejä maailmalta
5. Ehdotukset jatkon kannalta.

Tulosten pohdinnassa ja jatkotutkimusaiheissa esitetyt asiat ovat perustettu henkilöhaastatteluissa asiantuntijoiden kanssa käytyihin keskusteluihin sekä saatavilla oleviin mahdollisimman tuoreisiin tutkimuksiin.

6.1 Johtopäätökset ja tulosten analysointi

Tulosten perusteella Kaakkois-Suomen alueella on tarvetta alihankkijalle, joka valmistaisi monipuolisesti eri materiaaleista eri teollisuuden alojen yrityksille tarvittavia komponentteja. Alihankkijan tulee tarjota yrityksille koko toimitusketju suunnittelusta ja valmistuksesta, aina komponentin viimeistelyyn ja toimitukseen asti. Komponenttiluettelon perusteella tehokkain menetelmä metallisten komponenttien valmistukseen olisi laserpohjainen jauhepetiteknikka. Kiinnostusta alihankkijan hyödyntämiseen löytyy, jos koko toimitusketju pystytään toteuttamaan ja sen lisäksi alihankintayrityksen sisältä löytyy materiaali-, virtaus- ja valmistusteknistä asiantuntemusta.

Tietoisuuden ja suunnitteluosaamisen ollessa yrityksissä vielä vähäistä, halutaan minimoida kustannukset omassa yritystoiminnassa. Siitä johtuen vaaditaan, että alihankkijalla olisi hyödyntämäänsä valmistusteknologiaan liittyen myös tarvittavaa asiantuntemusta. Pelkästään laitteistoon investoinnilla, ilman valmistusteknologian asiantuntijoita, kiinnostus alihankkijan hyödyntämiseen romahtaa. AM-teknologioista saadaan yrityksessä suurin hyöty, kun yrityksessä ymmärretään itse prosessin lisäksi prosessista syntyvä mikrorakenne komponentissa sekä valmistettuun komponenttiin saatavat ominaisuudet (Herzog et all. 2016, s. 371).

Lisäävällä valmistuksella valmistettuihin komponentteihin täytyy saavuttaa yritysten kannalta jollain osa-alueella etuja, että komponentteja kannattaa alkaa valmistamaan muulla kuin perinteisillä valmistusmenetelmillä. Saavutettavat hyödyt voivat olla esimerkiksi materiaalikustannuksissa, innovatiivisuudessa, komponenttien teknisissä ominaisuuksissa tai tuotantoajoissa. (Gibson et al. 2015, s. 57; Mellor, Hao & Zhang 2014, s. 194) Tämän tutkimuksen perusteella haastateltujen yritysten vähimmäisvaatimus komponenttien valmistamiseen tai alihankintaan lisäävällä valmistuksella on, että komponentit vastaavat tekniseltä suorituskyvyltään perinteisillä valmistusmenetelmillä valmistettuja komponentteja. Yrityksille täytyisi tarjota koulutusta teknologiaan liittyen, jotta saataisiin realistinen kuva mitä lisäävällä valmistuksella voi ja kannattaisi alkaa valmistamaan. Perinteisillä valmistusmenetelmillä valmistettuja tuotteita ei todennäköisesti kannata valmistaa lisäävällä valmistuksella, mutta uusia AM-teknologioille suunniteltuja komponentteja puolestaan kannattaa.

Nykypäivän kilpailuorientoituneessa maailmassa komponenttien kustannukset ovat isossa roolissa. Yritysten mielestä lisäävää valmistusta kannattaa hyödyntää, jos sillä on halvempi valmistaa jo olemassa olevia komponentteja. Lisäävä valmistus on varteenotettava vaihtoehto, jos pääomaa on kiinni hitaasti kiertävässä varastossa. Varaston pääomaa saadaan vapautettua tapauksissa, joissa pienellä käyttöasteella olevat varaosat tulostettaisiin vasta tarpeen ilmetessä. (Rauch, Unterhofer & Dallasega 2017, s. 2-4) AM-teknologiat mahdollistavat varaosien tarpeen vaatiessa tulostuksen, jolloin pääomaa voidaan vapauttaa pienellä käyttöasteella olevista varaosista. Niin sanotussa on-demand-valmistuksessa oleellisena ovat digitaaliset tietopankit, joissa varaosat ovat sähköisessä muodossa ja suurille bulkki-inventaarioille ei ole enää tarvetta. (Attaran 2017, s. 681) Digitaalisten tietopankkien hyödyntäminen vaatii kuitenkin kaikkien varaosien kartoittamisen yritysten sisältä sekä AM-teknologioille sopivien varaosien etsimisen. AM-teknologioilla voidaan valmistaa realistisesti vain pieni osa perinteisillä valmistusmenetelmillä tehdyistä komponenteista.

Joissakin tapauksissa hinta ei kuitenkaan ratkaise vaan toimitusaika. Lisäävällä valmistuksella kannattaisi yritysten mielestä valmistaa komponentteja, jos komponentti on mahdollista saada nopeammin, kuin perinteisillä valmistusmenetelmillä valmistettaessa. Toimitusaika nousee tärkeään rooliin esimerkiksi suurissa tehtaissa, joissa tehdään tappiota joka hetki, kun tehdas ei ole käynnissä. Ongelmaksi muodostuu varaosien valmistettavuuden

AM-prosesseilla. Perinteisillä valmistusmenetelmillä valmistetut komponentit ovat mekaanisilta ominaisuuksiltaan ja geometrioiltaan usein AM-prosesseilla valmistettavaksi haastavia ja kalliita.

Komponentteihin saavutettavat tekniset edut ovat isossa roolissa, jos systeemien toimivuuden kannalta tarvitaan parempia ratkaisuja. Lisäävällä valmistuksella saadaan tuotettua komponentteihin parempia hyötysuhteita, kevyempiä rakenteita ja optimoidumpia rakenteita. Teknisten etujen hyötyjen saavuttamiseksi suunnittelun ajatusmaailman tulee siirtyä kohti teknologiasta syntyvää metodologiaa, DFMA (Design For Manufacture and Assembly). DFMA:n suuntaamisen DFAM (Design For Additive Manufacturing, DFMA) ajatusmalleihin voidaan parhaimmissa tapauksissa suunnitella suoraan valmiita kokoonpanoja yksittäisten komponenttien tulostamisen sijasta. (Sossou, Demoly, Montavon & Gomes 2017, s. 3-18)

Tuloksista huomataan, että yrityksillä on vielä skeptisyyttä ja väärää tietoa lisäävän valmistuksen teknologiaa kohtaan. Asiantuntijoiden haastatteluissa pidettiin teknologiaa haastavana ja vielä kehityksensä alkuvaiheessa. Vaikka tarvetta metallien lisäävälle valmistukselle on, ei teknologian uskota tulevan vartenotettavaksi vaihtoehdoksi vielä lähivuosina. Todellisuudessa esimerkiksi Euroopassa metallien AM-teknologian hyödyntäminen on jo arkipäivää esimerkiksi auto-, ilmailu ja lääketeollisuudessa. Teollisuuden rakenne Euroopassa eroaa Suomen teollisuuden rakenteesta, joka voi selittää eroja teknologian käyttöönotossa. Euroopassa pieniä, erikoisosa tarvitseva teollisuus on ollut ajava moottori metallien 3D-tulostuksen kehityksessä, kun taas Suomessa valmistava teollisuus on keskittynyt suuriin kappaleisiin. Yrityksissä, joissa oli aktiivista tuotekehitystä, tiedostettiin teknologian todellinen tilanne ja sopivia metallisia komponentteja valmistettiin jo hieman eri puolilla Euroopassa.

Yleisestä skeptisyydestä huolimatta monet teollisuuden alat voivat hyötyä AM-teknologioiden kehityksestä huomattavasti. Arvioiden mukaan vuoteen 2025 mennessä suurimmat AM-teknologioita hyödyntävät teollisuuden alat ovat ilmailu-, auto ja lääketeollisuus. Näiden alojen lisäksi muiden teollisuusalojen odotetaan lisäävän suurissa määrin AM-teknologioiden hyödyntämistä. Teollisuuden alat, joissa tarvitaan aktiivista tuotekehitystä, voidaan hyödyntää AM-teknologioihin vahvasti liittyvää nopeaa

tuotekehitystä ja joustavuutta suunnittelun suhteen. Tämän avulla saadaan kustannustehokkuutta tuotekehityksessä ja kehitysjasssa. Tuotekehityksessä säästyvien kustannuksia ja aikaa voidaan suunnata tuotannon muihin alueisiin. Aktiivista tuotekehitystä toteuttavien alojen lisäksi AM-teknologioista hyötyvät teollisuuden alat, joissa vaaditaan pieniä määriä spesifejä komponentteja. (Attaran 2017, s. 683-687)

6.2 Tutkimuskysymysten pohdinta

Millainen tietoisuus yrityksillä on metallien lisäävästä valmistuksesta, oli ensimmäisenä tutkimuskysymyksenä. Tutkimuksessa selvisi, että yli puolessa haastateltavissa yrityksissä oli keskimääräistä parempi tietoisuus metallien lisäävästä valmistuksesta ja sen mahdollisuuksista. Yritykset arvioivat oman tietoisuuden aiemmin tehtyjen komponenttien perusteella sekä tehdyn AM-teknologioiden kartoituksen perusteella. Teknologian nopeaan kehitykseen on reagoitu yrityksissä ja valmistusmenetelmän mahdollisuuksia on alettu kartoittaa. Kiinnostus teknologiaa kohtaan oli suurta ja yritykset, joilla ei ollut omaa rahallista panostusta valmistukseen, aikovat tulevaisuudessa seurata mihin suuntaan lisäävän valmistuksen teknologiat tulevat kehittymään. Yritykset pitivät todennäköisenä, että metallien lisäävän valmistuksen mahdollisuudesta tietoisuus yritysten sisällä tulee tulevaisuudessa lisääntymään.

Toinen tutkimuskysymys oli, onko yrityksillä lisäävän valmistuksen menetelmillä valmistettavia komponentteja. Tutkimuksessa selvisi, että kaikilla yrityksillä oli lisäävällä valmistuksella valmistettavia komponentteja. Komponenttien lopulliset ominaisuuden pitäisi vielä suurimmalla osalla kartoittaa, mutta ajatus valmistettavista komponenteista oli. Lisäävää valmistusta voidaan haastatteluun valituissa yrityksissä hyödyntää pääasiassa yksittäisiin ja kustomoituihin komponentteihin sekä piensarjatuotantoon. Valmiiden tuotteiden lisäksi metallien lisäävää valmistusta pystytään hyödyntämään yrityksissä erilaisissa projekteissa ja tuotekehityksessä, esimerkiksi prototyypeissä ja osakokoonpanoissa. Suurella sarjakoolla tuotettuja komponentteja ei pidetty yrityksissä järkevänä valmistaa lisäävän valmistuksen menetelmillä, koska yritysten nykyisissä valmistusmenetelmissä saadaan komponentit nopealla toimitusajalla ja kustannustehokkaasti.

Kolmannessa tutkimuskysymyksessä tutkittiin, ovatko yritykset valmiina ottamaan metallien lisäävän valmistuksen osaksi omaa yritystoimintaansa ja millaisella yritysmallilla. Tutkittavat yritysmallit olivat investointi omaan laitteistoon, alihankinta, digitaaliset tietopankit ja Kaakkois-Suomen alueelle perustettava konsortio. Tutkimuksessa selvisi, että jokaisella haastatteluun valitulla yrityksellä olisi valmiutta ottaa metallien lisäävä valmisus osaksi omaan yritystoimintaansa. 90%:a yrityksistä on valmiina hyödyntämään metallien lisäävää valmistusta vähintään alihankkijan kautta. 60%:a yrityksistä piti digitaalisia tietopankkeja tulevaisuuden ansaintologiikan mahdollisuutena. 40%:a yrityksistä oli ajatellut investointia laitteistoon. 40%:a yrityksistä on valmiina keskustelemaan Kaakkois-Suomen alueelle perustettavan tuotantolaitoksen konsortiomalleista. Kaikki yritykset ovat Kaakkois-Suomen alueella valmiina hyödyntämään metallien lisäävää valmistusta omassa yritystoiminnassaan joillakin tutkimuksessa tutkitulla yritysmallilla. Yritysmalli vaihteli yrityskohtaisesti. Valmistusteknologioiden on yritysten toiminnassa vielä pullonkauloja, johon yritykset etsivät aktiivisesti parempia ratkaisumalleja. Metallien lisäävän valmistuksen teknologiat voivat tarjota yrityksille potentiaalisia ratkaisumalleja ongelmiin.

Neljäs tutkimuskysymys oli, onko metallien lisäävässä valmistuksessa yritystoiminnan mahdollisuutta Green Campus Innovation Oy:lle. Tutkimuksen perusteella yritystoiminnan mahdollisuutta on Kaakkois-Suomen alueella metallien lisäävälle valmistukselle. Alihankintayrityksen perustamiselle on alueella tarvetta. Alihankintayrityksen kannattaa tutkimuksen perusteella investoida laitteistoon, jolla voidaan valmistaa komponentteja niukkaseosteisista metalleista tai alumiinista. Alihankintayrityksen on pystyttävä tarjoamaan yrityksille lisäksi asiantuntemusta materiaali-, virtaus- ja valmistustekniikasta sekä DFAM-suunnittelusta. Asiantuntemuksen ja laitteiston lisäksi alihankintayrityksellä täytyy olla valmius tarjota asiakkaalle koko toimitusketju valmistuksesta komponenttien toimitukseen. Komponentit, joita alihankintayrityksen tutkimuksen perusteella kannattaisi valmistaa, olisivat kokoluokaltaan alle kuutiometrin mittaisia ja painoltaan maksimissaan kymmeniä kiloja.

6.3 Tutkimuksen luotettavuus ja objektiivisuus

Tutkimuksen kirjallista osuutta voidaan pitää luotettavana, koska lähteitä ja tietoa on kerätty alle 5 vuotta vanhasta saatavilla olevasta tiedosta. Lähteet on kerätty tietokannoista, joita pidetään Lappeenrannan teknillisen yliopiston puolesta luotettavana.

Tutkimuksen kokeellisen osuuden haasteet liittyvät tapaan, jolla haastatteludataa kerättiin. Asiantuntijoiden haastatteluissa vuorovaikutustilanteen puolesta tulkinnalle ja väärin ymmärryksille oli mahdollisuus. Tämän takia vastaukset haastattelukysymyksiin käytiin tilanteessa läpi haastateltavien kanssa. Asiavirheet korjattiin haastattelutilanteessa, ettei oman tulkinnan kannalta saatu vääristeltyjä tuloksia. Haastateltavat henkilöt olivat yrityksessään asemassa, jolloin tarvittavaa tietoa yrityksen tulevaisuudessa oli kaikilla. Haastateltavia henkilöitä voidaan näin pitää luotettavana.

6.4 Esimerkkejä maailmalta

Tässä osiossa tarkastellaan case-esimerkkejä AM-teknologioilla valmistetuista komponenteista. Monessa yrityksessä yhtenä yhdistävänä tekijänä oli virtausteknisesti optimoidut komponentit, joita tässä osiossa tarkastellaan.

6.4.1 Virtausteknisesti optimoidut komponentit

Tutkimuksen tulosten perusteella Kaakkois-Suomen alueella esiintyi yhteistä tarvetta virtausteknisesti optimoituihin komponentteihin. Esimerkkinä tarkastellaan kahta virtausteknisesti optimoitua komponenttia.

Ensimmäisessä case-esimerkissä Autodesk Within Consulting on suunnitellut ja valmistanut virtausteknisesti optimoidun jäähdyttimen. Lisäävällä valmistuksella valmistetulla jäähdyttimellä saadaan valmistettua vesipisaran muotoisia virtauskanavia, joissa jäähdytinneste pääsee virtaamaan vaivattomasti. Pisaranmuotoisten virtauskanavien muodon vuoksi valmistukseen ei tarvita tukirakenteita.

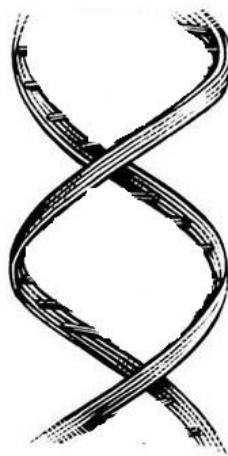
Etuja verrattuna perinteisiin jäähdyttimiin saadaan lämpötilan tasaisessa jakautumisessa. Perinteisissä jäähdyttimissä neste ohjautuu komponentit ympärille yhdellä kierroksella, mikä aiheuttaa epätasapainoa jäähdytinnesteen lämpötiloissa. Autodesk Within Consulting:in virtausteknisesti optimoidussa jäähdyttimessä jäähdytinneste kiertää kahdella kierroksella jäähdytettävän komponentin ympäri, minkä takia lämpötila jakautuu tasaisemmin. Virtausteknisesti optimoitu komponentti on esitetty kuvassa 12.

Haasteena komponentille oli rakenteen suunnittelu ilman tukirakenteita lisäävän valmistuksen valmistusmenetelmälle sopivaksi.



Kuva 12. Virtausteknisesti optimoitu jäähdytin (mukaiillen Autodesk Within Consulting, 2015)

Toisessa virtausteknisesti optimoidussa komponentissa EOS on suunnitellut ja valmistanut helix-rakenteella virtausteknisesti optimoidun jäähdyttimen Formula-autoon. Alumiinista valmistetun kuoren sisään muodostettu DNA-rihmastoa muistuttava, kuva 13, virtauskanavan rakenne optimoi virtauksen komponentin sisällä. Formula-auton moottorin jäähdytin on esitetty kuvassa 14.



Kuva 13. DNA-rihmastoa muistuttava helix-rakenne (mukaiillen Steven Noble Illustrations)



Kuva 14. Helix-rakenne moottorin jäähdyttimen sisällä (mukaillen EOS)

Komponentti on valmistettu käyttäen laserpohjaista jauhepetimenetelmää. Kilpa-autoilussa pyritään mahdollisimman kevyisiin rakenteisiin ja lisäävällä valmistuksella saatiin alumiinista valmistettuun komponenttiin 16%:a massaa vähennettyä verrattuna perinteisiin jäähdyttimiin. Lisäksi jäähdytinneste pääsee virtaamaan virtausteknisesti optimoiduissa virtauskanavissa vaivattomasti jakaen lämmön tasaisesti, minkä seurauksena auton jäähdytyksen suorituskyky nousi 37%:a.

Haasteena tapauksessa oli suunnitella komponentti sopivaksi kestäämään formulaan asennetun moottorin aiheuttamaa vääntömomenttia sekä saada komponentista mahdollisimman pieni ja tehokas.

6.5 Ehdotukset jatkon kannalta

Tutkimuksen perusteella mietitään Green Campus Innovations Oy:n kanssa jatkotoimenpiteitä. Jatkotoimenpiteenä olisi syytä kerätä haastatellut yritykset kokoon ja esitellä tutkimuksen tuloksia. Asiantuntijoiden haastatteluista selvisi, että monilta yrityksiltä löytyi yhteisiä tarpeita, joihin pystyttäisiin vastaamaan metallien lisäävän valmistuksen avulla.

Jatkotoimenpiteenä yrityksille olisi tarvetta tarjota suunnittelijoille koulutusta metallien AM teknologioiden hyödyntämiseksi. Teknologian kasvaessa yritysten suunnittelijoille olisi tarvetta tarjota koulutusta ajatusmallien siirtymisestä kohti lisäävää valmistusta eli DfMA:ta.

Jatkotoimenpiteenä tutkimuksen perusteella olisi tarvetta perustaa Kaakkois-Suomen alueelle tuotantolaitos, jossa tuotettaisiin haastattelussa mukana olleille yrityksille metallisia komponentteja lisäävän valmistuksen avulla. Komponenttien valmistuksen lisäksi tuotantolaitoksesta tulisi löytyä virtaus-, materiaali- ja valmistusteknistä osaamista.

Jatkotutkimukselle olisi aihetta yritysten käyttämien materiaalien testaamisessa metallien AM-teknologioille. Haastatteluissa mukana olleet yritykset pitivät haasteena teknologian käyttöönotolle materiaalien teknisiä ominaisuuksia. Yrityksissä käytettävistä tai valmistettavista komponenteista pitäisi suorittaa tutkimusta haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi.

Jatkotutkimuksen aiheena yritysten käyttämiä tai valmistamia komponentteja olisi tarvetta testata haluttujen ominaisuuksien saavuttamiseksi. Yrityksistä olisi syytä tutkia sopivat komponentit ja suorittaa pilotointia komponenttien ominaisuuksien saavuttamiseksi.

YHTEENVETO

Tutkimuksessa Green Campus Innovations Oy:n tarpeisiin haettiin kartoitusta Kaakkois-Suomen alueelta metallien lisäävän valmistuksen tarpeesta ja tarpeen perusteella yritystoiminnan mahdollisuuksista. Tutkimuksen tulokset jakautuivat osiin metallien lisäävän valmistuksen tarpeesta ja yritystoiminnan malleista, joita haastattelussa kartoitettiin.

Tutkimusmetodina toimi henkilöhaastattelut Etelä-Karjalan alueen yritysten asiantuntijoiden kanssa yhdistettynä kirjallisuuskatsaukseen. Lisäksi tutkimukseen valittiin case -esimerkkejä osoittamaan teknologian käyttökelpoisuutta teollisuudessa.

Metallien lisäävän valmistuksen tarvetta kartoitettiin tutkimalla yrityksessä valmistettavia tai yritykseen hankittavia metallisia komponentteja. Tarvittavista komponenteista tutkittiin soveltuvuutta valmistettavaksi lisäävän valmistuksen teknologioilla. Soveltuvista komponenteista kartoitettiin metallien lisäävän valmistuksen teknologioilla saatavat ominaisuudet ja valmistuksen haasteet.

Kartoitettaviksi yritysmalleiksi valikoituivat: investointi omaan laitteistoon, alihankinta, digitaaliset tietopankit sekä konsortiomalli yritysten kanssa. Nämä yritysmallit olivat Green Campus Innovations Oy:n kiinnostavimmat yritysmallit.

LÄHTEET

Attaran, M. 2017. The rise of 3-D printing: The advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. *Business Horizons*. s. 677-688.

Babu, S.S. & Goodridge R. 2015. *Materials science and technology*. TAYLOR & FRANCIS LTD. s. 881-883

Brandt, M. 2017. *Laser Additive Manufacturing: Materials, Design, Technologies and Applications*. Woodhead Publishing.

DeBroy, T. Wei, H.L. Zuback, J.S, Mukherjee, T. Elmer, J.W. Milewski, J.O. Beese, A.M. Wilson-Heid, A. De, A. & Zhang, W. *Progress in Materials Science: Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties*. Elsevier. Volume 92. s. 112-224

Deloitte. The future of manufacturing, Making things in changing world. Julkaistu 31.3.2015. [Deloitte:n [www-sivuilla](http://www.sivuilla)]. [viitattu 6.2.2018]. Saatavissa <https://www2.deloitte.com/insights/us/en/industry/manufacturing/future-of-manufacturing-industry.html>

Dongdong, G. 2015. *Laser additive manufacturing for high performance materials*. Springer.

EOS. Additive Manufacturing, Laser-Sintering and industrial 3D printing – Benefits and Functional Principle. [EOS:n [www-sivuilla](http://www.sivuilla)]. [viitattu 23.1.2018]. Saatavissa https://www.eos.info/additive_manufacturing/for_technology_interested

EOS. Automotive: Formula Student -Improved Cooling Thanks to Aluminum Jacket with Internal Helix-Structure Produced with DMLS. [EOS:n [www-sivuilla](http://www.sivuilla)]. [viitattu 26.1.2018]. Saatavissa https://www.eos.info/press/customer_case_studies/additive-manufacturing-of-water-cooled-electric-motor-component

Eyers, D. & Potter, A. 2017. Industrial Additive Manufacturing: A manufacturing systems perspective, *Computers in industry* 92 (2017). s 208-218

Gibson, I. Rosen, D. & Stucker, B. 2015. *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*. Second Edition. New York: Springer.

Goodridge, R. & Ziegelmeier, S. 2016. *Laser Additive Manufacturing: Materials, design, technologies, and Applications*. Elsevier. s. 181-204.

Helix-rakenne. Double Helix DNA. [stevenoble:n www-sivuilla]. [Viitattu 12.2.2018]. saatavissa <http://www.stevennoble.com/v/Icon/Double+Helix+DNA+.jpg.html>

Herzog, D., Seyda, V., Wycisk, E. & Emmelmann, C. 2016. Additive manufacturing of metals. *Acta Materialia* 117 (2016) s. 371-392.

Mellor, S., Hao, L & Zhang, D. 2014. *International Journal of Production Economics: Additive manufacturing: A framework for implementation*. Volume 149.

Micro cooler. 2015. Demonstrating and effective micro cooling control. Autodesk Within Consulting. [Withinlab:n www-sivuilla]. [Viitattu 25.1.2018]. Saatavissa http://withinlab.com/case-studies/new_index19.php

Nee, A.Y.C. 2015. *Handbook of Manufacturing Engineering and Technology*. Lontoo: Springer. Iso-Britannia: Elsevier. s. 194-201

Pinkerton, A.J. 2016. *Optics & Laser Technology: Lasers in additive manufacturing*. Volume 78, Part A. Elsevier: Iso-Britannia. s. 25-32.

Rauch, E., Unterhofer, M. & Dallasega, P. 2017. *Manufacturing letters: Industry sector analysis for the application of additive manufacturing in smart and distributed manufacturing systems*. Elsevier

Rejeski, D., Zhao, F. & Huang, Y. 2018. Additive Manufacturing: Research needs and recommendations on environmental implications of additive manufacturing. Volume 19. Washington DC: Elsevier. s. 21-28

Setchi, R., Howlett, R.J., Liu, Y. & Theobald, P. 2016. Smart Innovation, Systems and Technologies. Volume 52. Sveitsi: Springer.

SFS-EN ISO/ASTM 52900. 2017. Materiaalia lisäävä valmistus. Yleiset periaatteet. Terminologia. Suomi: Suomen standardisoimisliitto SFS ry. s. 16-20

Sossou, G., Demoly, F., Montavon, G & Gomes, S. 2017. Journal of Computational Design and Engineering: An additive manufacturing oriented design approach to mechanical assemblies. Ranska: CDE.

Haastattelulomake yrityksille

1. Vastaajan tiedot:

Nimi	
Ammattinimike	
Yritys	
Yrityksen osoite	
Yhteystiedot	

2. Millaisia metallista valmistettuja komponentteja yrityksessä tarvitaan? Mitä metalleja? Osien massa ja dimensiot?
3. Ovatko yrityksessä tarvittavat komponentit sarjatuotantoa vai yksilöllisiä kappaleita? Tuotettavien komponenttien volyyymi? Kuinka suuri osa komponenteista sarjatuotantoa ja yksilöllisiä kappaleita?
4. Millaisia menetelmiä yrityksessä käytetään metallisten komponenttien valmistukseen?
5. Miten nykyisiin komponenttien valmistusmenetelmiin on päädytty?
6. Mitkä asiat ovat olleet hyvää nykyisissä valmistusmenetelmissä hyvää ja missä on ollut kehitettävää?
7. Millaiset toimitusajat metallisilla komponenteilla on?
8. Kuinka suuri tietoisuus yrityksen henkilökunnalla on yleisesti metallien 3D-tulostus mahdollisuuksista?
9. Millaisena mahdollisuutena yritys näkee metallien 3D-tulostuksen omassa toiminnassaan tällä hetkellä? Tulevaisuudessa?

10. Onko yritys käyttänyt 3D-tulostus menetelmiä komponenttien valmistukseen? Millaisia komponentteja? Miksi ei?
11. Käyttääkö yritys edelleen 3D-tulostusta valmistusmenetelmänä? Aikooko tulevaisuudessa kasvattaa 3D-tulostuksen osuutta valmistuksessa? Miksi ei käytä enää?
12. Olisiko yritys valmiina investoimaan omaan 3D-tulostus laitteistoon? Millaisten komponenttien valmistukseen? Miksi ei?
13. Olisiko yritys valmiina valmistamaan metallisia komponentteja, jos 3D-tulostus palveluita olisi tarjolla? Millaisten komponenttien valmistukseen? Miksi ei?
14. Onko yritys kiinnostunut olemaan mukana konsortiossa, jossa Kaakkois-Suomen alueelle perustettaisiin tuotantolaitos?
15. Näkeekö yritys mahdollisuutta toimintamallissa, jossa yksilölliset pienellä käyttöasteella olevat varaosat olisivat sähköisessä muodossa ja valmistettaisiin 3D-tulostamalla vasta tarvittaessa?
16. Mitä asioita metallien 3D-tulostuksesta tulisi selvittää ennen mahdollista käyttöönottoa tai komponenttien teettämistä alihankkijalla?
17. Tarvitseeko yritys lisää tietoa metallien 3D-tulostuksesta?
18. Onko yrityksellä kiinnostusta kouluttaa henkilökuntaa 3D-tulostukseen?