



MATERIAALIA LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN KÄYTTÖ PIRKANMAALAISSISSA YRITYKSISSÄ

Jarmo Hanhela

Opinnäytetyö
Toukokuu 2015
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

HANHELA, JARMO:

Materiaalia lisäävän valmistuksen käyttö pirkanmaalaisissa yrityksissä

Opinnäytetyö 33 sivua, joista liitteitä 3 sivua
Toukokuu 2015

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tehdä yritysselvitys materiaalia lisäävän valmistuksen koulutuksen suunnittelun avuksi. Opinnäytetyössä on myös esitelty yleisesti materiaalia lisäävä valmistus ja tavallisimmat käytössä olevat tekniikat sekä selvitetty materiaalia lisäävän valmistuksen käyttöä aiempien tutkimusten perusteella. Yritysselvitystä varten luotiin kysymyslomake, jolla kartoitettiin yrityksen kokemuksia, suunnitelmia ja koulutustarvetta materiaalia lisäävän valmistuksen saralla. Yritysselvitys toteutettiin sähköisenä lomakkeena, joka lähetettiin yrityksiin sähköpostitse.

Yritysselvityksen tuloksena saatiin tietoa siitä, kuinka materiaalia lisäävää valmistusta käytetään yrityksissä, minkälaisia suunnitelmia yrityksissä on sekä minkälaisia koulutustarpeita yritykset tulevaisuudessa näkevät. Yritysten vastauksia käytön osalta verrattiin aiempiin tutkimuksiin, joiden perusteella Suomessa ollaan jonkin verran muita länsimaita jäljessä materiaalia lisäävän valmistuksen käytössä, varsinkin lopputuotteiden valmistuksessa.

Työ antoi tilaajalle tietoa materiaalia lisäävän valmistuksen käytöstä, tulevaisuudesta ja koulutustarpeesta pirkanmaalaisissa yrityksissä. Tietoa voidaan käyttää pohjana materiaalia lisäävän valmistuksen koulutuksen suunnittelussa.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Mechanical and Production Engineering
Product Development

HANHELA, JARMO:

Use of Additive Manufacturing in Companies in Pirkanmaa

Bachelor's thesis 33 pages, appendices 3 pages

May 2015

The purpose of this thesis was to create and execute a survey to assist in the planning of education dealing with additive manufacturing. This thesis also presents the basics of additive manufacturing and most common technologies in use, and discusses the ways in which additive manufacturing has been used so far on the basis of previous studies. A survey form was created with questions regarding companies' experiences, future plans and educational needs pertaining to additive manufacturing. The survey was executed as an online form, link to which was emailed to companies.

The results of the survey showed how companies use additive manufacturing, what plans they have for additive manufacturing in future and whether they need education in future. Answers on the use of additive manufacturing were compared to previous studies, and the comparison implies that in some areas of additive manufacturing Finland is lagging behind other developed countries.

This thesis gives information on the uses and future of, and educational needs regarding additive manufacturing in companies in Pirkanmaa. The information can be used in creation of additive manufacturing education.

Key words: additive manufacturing, survey

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	5
2	MATERIAALIA LISÄÄVÄ VALMISTUS.....	6
3	TEKNIIKAT	8
	3.1 Vat Photopolymerization	8
	3.2 Powder Bed Fusion	9
	3.3 Material Extrusion	10
	3.4 Material Jetting	11
	3.5 Binder Jetting.....	12
	3.6 Sheet Lamination	12
	3.7 Directed Energy Deposition.....	13
	3.8 Muita luokittelutapoja.....	14
4	AIEMPIA SELVITYKSIÄ	15
	4.1 Wohlers Report	15
	4.2 LEKA-hanke	17
	4.3 Additive Manufacturing Needs and Practices in the Finnish Industry	17
5	YRITYSHAASTATTELU.....	19
	5.1 Toteutus	19
6	TULOKSET	21
	6.1 Yritysten kokemukset	21
	6.2 Tulevaisuuden suunnitelmat	23
	6.3 Osaaminen ja koulutustarve.....	24
	6.4 Taustatiedot.....	25
7	TULOSTEN TARKASTELU	27
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	29
	LÄHTEET.....	30
	LIITTEET	31
	Liite 1. Haastattelulomake.....	31

1 JOHDANTO

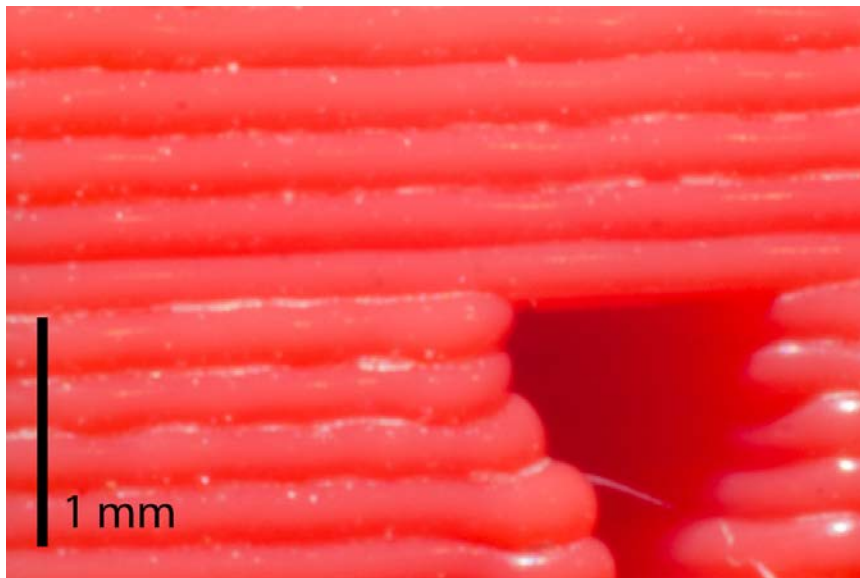
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää Pirkanmaalaisten yritysten kokemuksia ja näkemyksiä materiaalia lisäävästä valmistuksesta. Materiaalia lisäävä valmistus, joka tunnetaan myös nimillä pikavalmistus ja 3D-tulostus, on nopeasti kehittyvä ala ja työn tilaaja tarvitsee tietoa oman toimintansa kehittämiseen.

Opinnäytetyö jakaantuu kahteen osaan, joista ensimmäisessä esitellään materiaalia lisäävä valmistus ja yleisimpiä käytössä olevia teknologioita. Työn toinen osa on varsinainen yrityshaastattelu kysymyksenasettelusta haastattelujen suorittamisen kautta tulosten käsittelyyn.

Yritysselvityksessä haetaan vastauksia seuraaviin kysymyksiin: millaisia kokemuksia yrityksellä on materiaalia lisäävästä valmistuksesta, miten yritys aikoo tulevaisuudessa käyttää materiaalia lisäävää valmistusta sekä minkälaista koulutusta yritys tarvitsee nykyisin ja tulevaisuudessa.

2 MATERIAALIA LISÄÄVÄ VALMISTUS

Materiaalia lisäävä valmistus, englanniksi Additive Manufacturing, on yleisnimitys useille valmistusmenetelmille, joiden yhdistävä tekijä on nimen mukainen aineen lisääminen. Materiaalia lisäävä valmistus tunnetaan myös nimillä AM-tekniikka, pikavalmistus ja kansanomaisemmin 3D-tulostus. Kaikki nykyiset ainetta lisäävät menetelmät rakentavat kappaletta kerroksittain, mutta käsite on riittävän laaja kuvaamaan myös mahdollisia tulevia menetelmiä, jotka voivat toimia muillakin tavoin. (Gibson, Rosen & Stucker 2010, 3) Kappaleen kerroksittaisuus näkyy hyvin lähikuvassa Stratasys Dimension Elite -laitteella valmistetusta kappaleesta (kuva 1).



KUVA 1. Kappaleen kerroksittaisuus (Kuva: Jarmo Hanhela 2014)

Materiaalia lisäävät valmistusmenetelmät ovat kehittyneet huomattavan paljon lyhyessä ajassa. Varhaisimmilla teknologioilla valmistetut kappaleet kävivät vain summittaiseen muodon tarkasteluun, mutta kehityksen myötä mittatarkkuus ja mekaaniset ominaisuudet ovat kehittyneet erittäin paljon. Nykyisillä ainetta lisäävillä tekniikoilla voidaan luoda jo täysin käyttövalmiita kappaleita. Tällaisia laitteita hyödynnetään nykyisin eniten avaruus-, ilmailu- ja terveysteknologian aloilla, koska vaativat muodot ja pienet sarjat tekevät kalliistakin uusista teknologioista kannattavia. (Gibson ym. 2010, 3; Lyons 2011, 15–16)

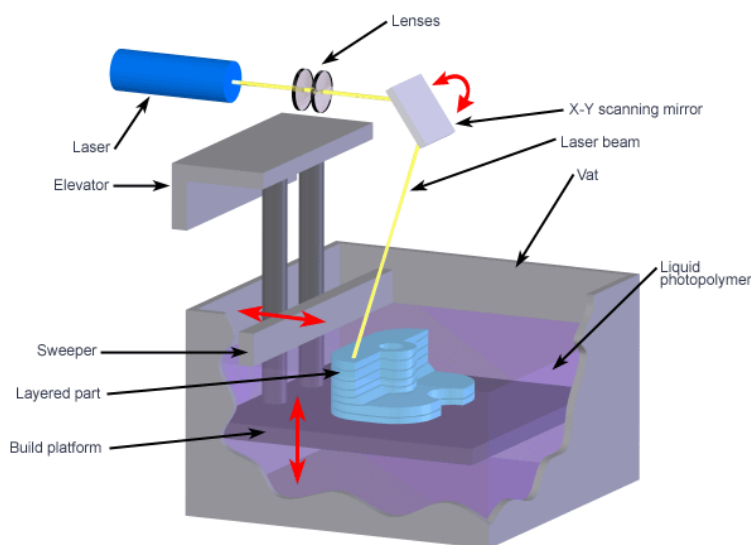
Toisin kuin perinteisillä, materiaalia poistavilla menetelmillä, materiaalia lisäävillä tekniikoilla valmistettaessa kappaleen muodon monimutkaistuminen ei lisää kustannuksia huomattavasti. Perinteisillä menetelmillä kappaleen monimutkaistuminen lisää työvaiheita ja mahdollisesti myös tarvittavia työstökoneita, mutta materiaalia lisäävällä valmistuksella on lähes yhtä nopeaa ja edullista tehdä yksinkertainen kuutio kuin samantilavuuksinen monimuotoinen kappale. (Stucker 2011, 12)

3 TEKNIIKAT

Materiaalia lisääviä valmistusmenetelmiä on hyvin paljon, ja ne eroavat suuresti toisistaan. Monesti onkin tarpeen luokitella tekniikoita niiden ominaisuuksien perusteella. Koska alalla ei vielä ole standardeja, on luokittelumetodejakin useita erilaisia. Seuraavassa esitellään eri menetelmiä todennäköisesti standardiin tulevan luokittelun mukaan, jota myös Suomen pikavalmistusyhdistys Firpa ry käyttää (Firpa). Lopuksi kerrotaan myös muista luokittelumenetelmistä.

3.1 Vat Photopolymerization

Vat Photopolymerization -tekniikoissa käytetään allasta, jossa on korkeussuunnassa säädettävä tulostusalusta. Altaaseen laitetaan halutun kerrospaksuuden syvyinen kerros valoherkkää hartsia, joka kovetetaan halutulta alueelta yleensä ultravioletti- tai näkyvällä valolla. Valotus voidaan tehdä joko lasersäteellä, jota liikutetaan koko kovetettavan alueen yli, tai maskiprojektiolla, jossa koko altaan kattavasta valonlähteestä ohjataan valoa haluttuihin kohtiin yhtä aikaa. Kerroksen valmistuttua työalustaa lasketaan kerrospaksuuden verran ja päälle levitetään uusi kerros valoherkkää hartsia. Kuvassa 2 on laseriin perustuvan laitteen periaatekuva. (Gibson ym. 2010, 61–63)



Copyright © 2008 CustomPartNet

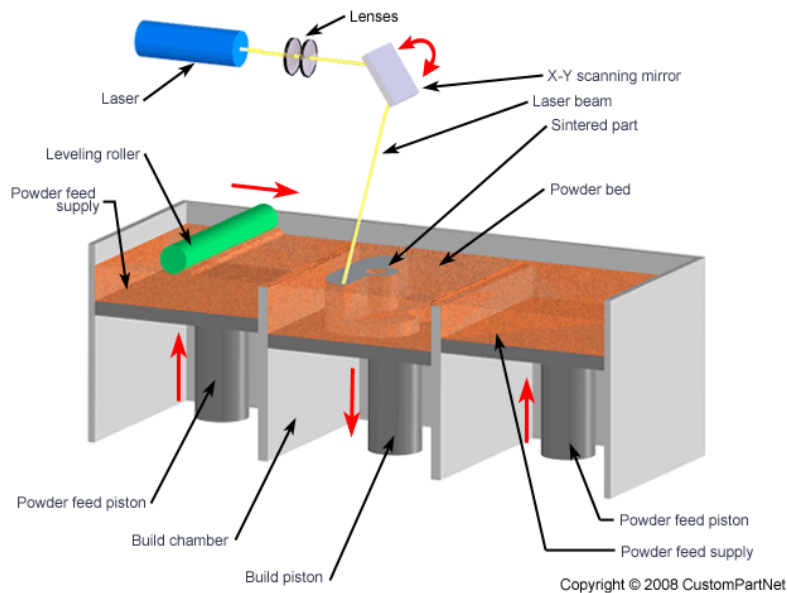
KUVA 2. Vat Photopolymerization -periaate (CustomPartNet 2008)

Valoherkän hartsin juoksevuuden vuoksi “tyhjän päälle” ei pystytä tulostamaan, vaan tarvitaan tukirakenteita. Tukirakenteet ovat samaa materiaalia kuin muu kappale, joten ne joudutaan poistamaan mekaanisesti. (Stucker 2011, 8–9)

3.2 Powder Bed Fusion

Powder Bed Fusion -tekniikoissa on jauhepeti, johon kappale tehdään sintraamalla tai sulattamalla materiaali kiinteäksi kerroksittain. Kerroksen valmistuttua jauhepetiä ja samalla kappaletta lasketaan alaspäin ja päälle levitetään uusi kerros jauhetta. Jauheen tulee kiinteytyä lämmön vaikutuksesta, joko kokonaan sulaen tai sintrautuen. Lämmönlähteenä käytetään yleensä laseria tai elektronisuihkua. Jauhepetimenetelmän periaate on esitetty kuvassa 3. (Gibson ym. 2010, 103–105)

Muovimateriaaleilla ei tarvita tukirakenteita, sillä alla olevien kerrosten kovettumaton jauhe tukee rakennetta riittävästi. Metallimateriaaleilla lämpötilavaihtelut ovat niin suuria ja nopeita, että tukemattomat muodot vääristyvät, joten tukirakenteiden käyttäminen on perusteltua. Tukirakenteiden haittapuolena on se, että ne joudutaan poistamaan koneistamalla. (Stucker 2011, 10)



KUVA 3. Jauhepeti (CustomPartNet 2008)

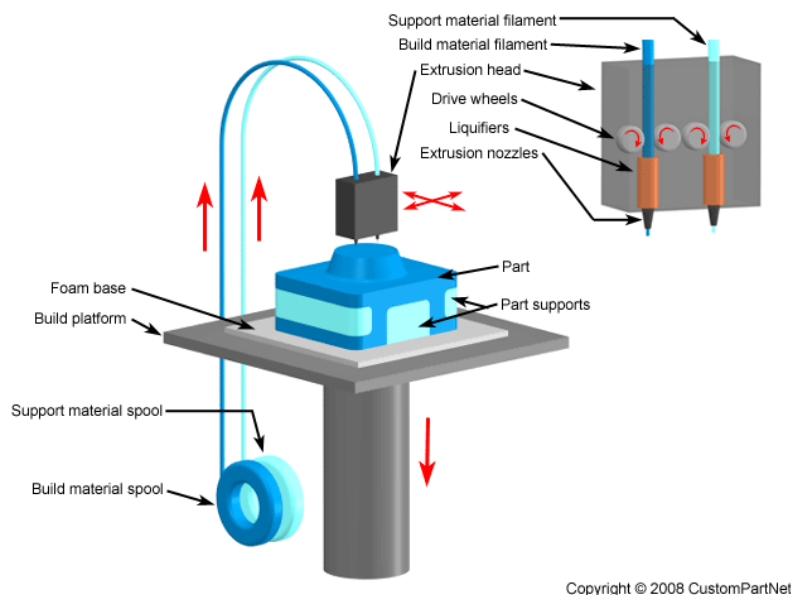
Jauhepetitekniikkaa käyttää muun muassa Boeing, joka valmistaa lentokoneissa käytettäviä komponentteja muovista lasersintrausmenetelmällä (Selective Laser Sintering,

SLS). Tekniikalla saadaan tehtyä kustannustehokkaasti pieniä sarjoja monimutkaisia, ohutseinäisiä kappaleita, joiden ominaisuudet pysyvät riittävän samanlaisina jopa ilmailukäyttöön. (Lyons 2011, 16–17)

3.3 Material Extrusion

Material Extrusion eli materiaalin pursotus on edullisissa laitteissa hallitseva tekniikka. Siinä tahnamainen materiaali työnnetään suuttimen läpi kappaleen tuottamiseksi, laitteen periaate on nähtävissä kuvassa 4. Yleisimmät pursotustekniikat käyttävät materiaalina muovia, joka sulatetaan riittävän juoksevaksi. Tekniikka ei kuitenkaan rajoitu vain muovimateriaaleihin. Esimerkiksi kokeellisia laitteita, joilla voidaan valmistaa talon runkoja betonista pursottamalla, on esitelty. (Gibson ym. 2010, 143–144, 166)

Pursotettava rakenne tarvitsee tukirakennetta, joka voi laitteistosta riippuen olla samaa tai eri materiaalia kuin muu kappale. Samasta materiaalista tehdyt tukirakenteet on poistettava mekaanisesti. Mikäli laitteistossa on vähintään kaksi suutinta, voidaan toinen suutin ohjelmoida tekemään vain tukirakenteet, jolloin voidaan käyttää esimerkiksi vesi- tai lipeäliukoista materiaalia. Tällöin tukirakenne ei jätä jälkiä valmiiseen kappaleeseen. (Stucker 2011, 9–10)



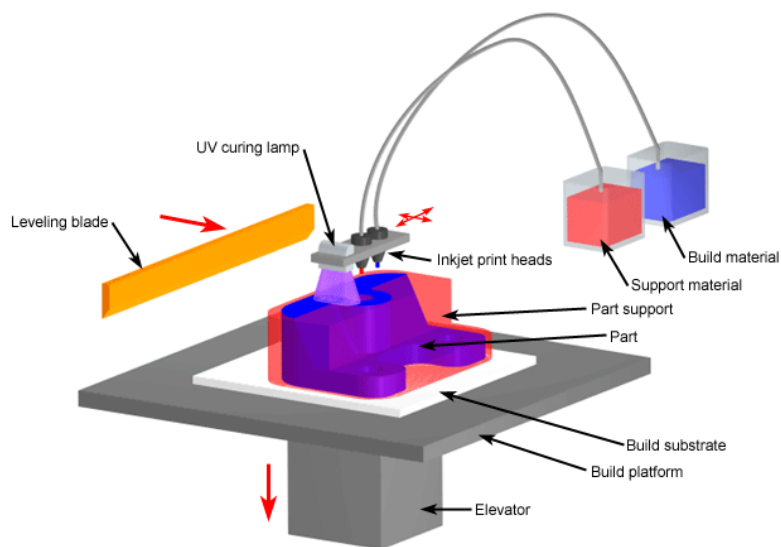
Copyright © 2008 CustomPartNet

KUVA 4. Pursotus (CustomPartNet 2008)

Käytännössä kaikki kuluttajille markkinoitavat edulliset laitteet ovat muovia pursottavia. Yleisimmät materiaalit edullisissa laitteissa ovat ABS- ja PLA-muovit, jota toimitetaan muutaman millin paksuna lankana keloilla.

3.4 Material Jetting

Material Jetting, eli materiaalin suihkutusta käsittää tekniikoita, joissa nestemäinen materiaali suihkutetaan mustesuihkutulostinta vastaavalla tekniikalla työalustalle, jossa materiaali kovettuu tai kovetetaan UV-valolla. Tulostuspäässä voi olla rinnakkaisia suuttimia yhdestä jopa useaan tuhanteen, mikä mahdollistaa varsin suuren nopeuden, vaikka kerrospaksuus onkin pieni. Laitteen periaate on esitetty kuvassa 5. Materiaalin suihkutusta on tekniikoista käytännössä ainoa, jota yleisessä käytössä oleva termi 3D-tulostus kuvaa tarkasti. (Gibson ym. 2010, 171, 173)



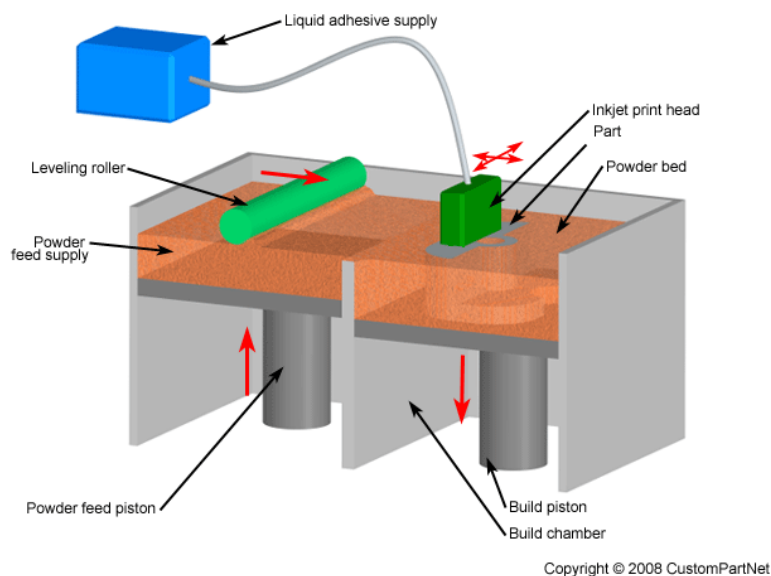
Copyright © 2008 CustomPartNet

KUVA 5. Material Jetting (CustomPartNet 2008)

Materiaalia ei voi suihkuttaa tyhjän päälle, joten tukirakenne on välttämätön. Laitteesta riippuen tukimateriaali voi olla samaa muun kappaleen kanssa tai jotain muuta materiaalia, kuten materiaalin pursotuksessa. Materiaalia suihkuttavilla menetelmillä voidaan valmistaa rakenteita, jotka koostuvat useista materiaaleista, jolloin voidaan tehdä esimerkiksi jäykkyydeltään vaihtelevia kappaleita. (Stucker 2011, 6–7)

3.5 Binder Jetting

Binder jetting eli sideaineen suihkutus on kuin yhdistelmä materiaalin suihkutuksesta ja jauhetekniikoista. Työalustalle levitetään jauhetta kerros kerrallaan, ja kappaleeseen suihkutetaan sideainetta, joka kiinteyttää tai liimaa jauheen kappaleeksi. Tekniikka on nopea, sillä suihkutettavaa sideainetta tarvitaan hyvin vähän jauhepedissä olevaan materiaaliin nähden, ja suuttimia voi tulostuspäässä olla useita rinnakkain. Kuvassa 6 on laitteen peruseräite. Jos laitteisto tukee värillisiä sideaineita, voidaan tällä tekniikalla tehdä monivärisiä kappaleita 3D-mallin mukaan. (Stucker 2011, 7–8)



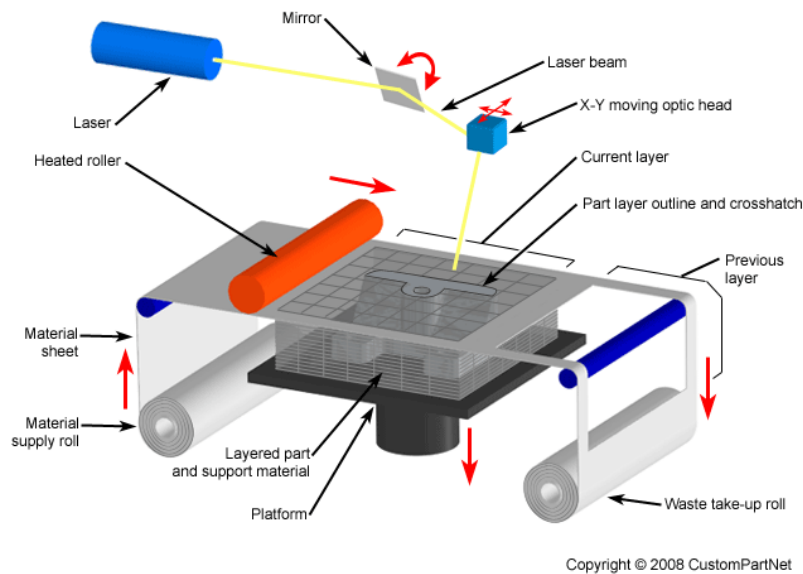
KUVA 6. Binder Jetting (CustomPartNet 2008)

Sideaineen suihkutuksessa aiempien kerroksien kovettumaton jauhe tukee rakennetta, joten tukirakenteita ei tarvita. Kuten muillakin jauhepetiin perustuvilla menetelmillä, kappaleita voidaan tehdä myös päällekkäin, jos työstöalueella on tilaa korkeussuunnassa. Materiaalista riippuen kappale voi tarvita jälkikäsitteilynä side- tai muun lisäaineen imeyttämistä lujuuden parantamiseksi. (Gibson ym. 2010, 196)

3.6 Sheet Lamination

Sheet lamination eli levyjen laminointi on tekniikka, jossa ohutta materiaalia liimataan päällekkäin, ja jokainen kerros leikataan kappaleen muotoon laserilla tai NC-ohjatulla terällä. Materiaalina voidaan käyttää esimerkiksi muovikalvoa tai paperia. Kappaleen

ulkopuolelle jäävä materiaali toimii tukimateriaalina. Tueksi jäävä materiaali leikataan, kuitenkin kuutioiksi, jotta se olisi helpompi irrottaa valmiista kappaleesta. Kuvassa 7 näkyy sekä tukimateriaalin kuutiointi että laitteen muu rakenne. (Gibson ym. 2010, 207)



KUVA 7. Sheet Lamination (CustomPartNet 2008)

3.7 Directed Energy Deposition

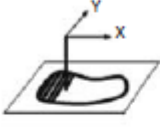
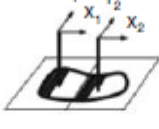
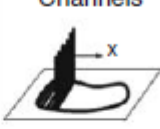
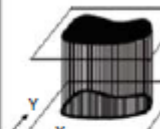
Directed Energy Deposition -tekniikoissa materiaali sulatetaan samalla kun se syötetään rakenteen pintaan. Materiaalina voidaan käyttää keraameja, termoplastisia muoveja ja metalleja. Materiaali voi olla jauheena tai lankana. Sulattavan energian lähteenä voidaan käyttää laseria, elektronisuihkua tai plasmata. Yleisimpiä ovat metallia laserilla tai elektronisuihkulla sulattavat laitteistot. (Gibson ym. 2010, 237)

Directed Energy Deposition -tekniikat ovat yleensä niin sanottuja near-net-shape -tekniikoita, jolloin materiaalia lisätään hieman yli lopputuotteen mittojen ja muoto viimeistellään koneistamalla. Tällä tekniikalla materiaalia ei voida syöttää tyhjän päälle, mutta se voidaan kiertää käyttämällä useampiakselista syöttöpäätä, jolloin saadaan olemassa oleva rakenne aina pohjaksi uuteen kerrokseen. (Stucker 2011, 10–11)

3.8 Muita luokittelutapoja

Kuten aiemmin mainittua, luokitustapoja on myös muita kuin yllä esitetty. Toinen melko yleinen tapa on käyttää luokitteluun raaka-aineen olomuotoa. Raaka-aineen mukaan luokittelussa voidaan käyttää esimerkiksi ryhmiä nestemäiset polymeerit, erilliset partikkelit (jauheet), sulat materiaalit ja kiinteät levyt. Tämä järjestelmä voidaan laajentaa kaksiulotteiseksi taulukoksi lisäämällä tietoa siitä, luodaanko kerros piste kerrallaan (esimerkiksi 1 laser), useampi piste kerrallaan (2 laseria), viivan muodostavalla pistejoukolla vai suoraan koko pinta kerrallaan (Gibson ym. 2010, 28). Tämä on kuvattu taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Ainetta lisäävien menetelmien 2-ulotteinen luokittelu (Gibson ym. 2010, 28)

	1D Channel 	2x1D Channels 	Array of 1D Channels 	2D Channel 
Liquid Polymer	SLA (3D Sys)	Dual beam SLA (3D Sys)	Objet	Envisiontech MicroTEC
Discrete Particles	SLS (3D Sys), LST (EOS), LENS Phenix, SDM	LST (EOS)	3D Printing	DPS
Molten Mat.	FDM, Solidscape		ThermoJet	
Solid Sheets	Solido PLT (KIRA)			

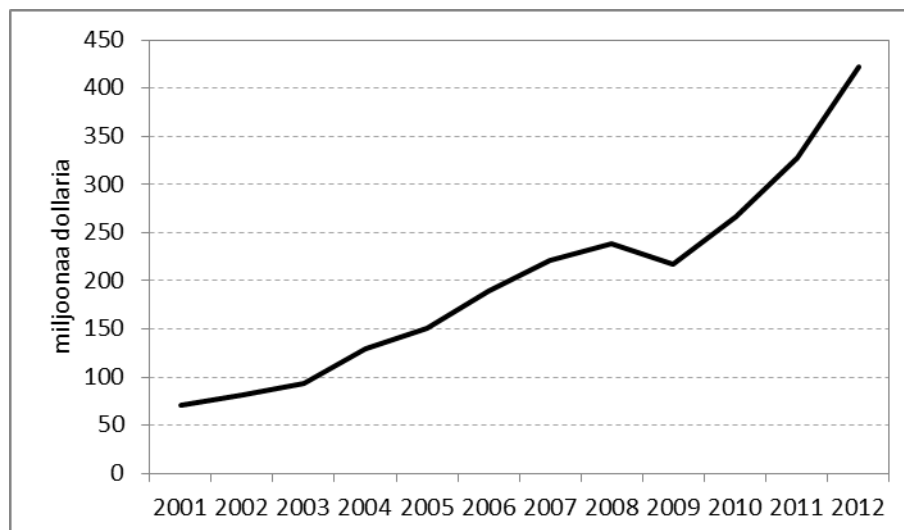
4 AIEMPIA SELVITYKSIÄ

Materiaalia lisäävästä valmistuksesta on tehty useita erilaisia selvityksiä, mutta tekniikan ja koko toimialan nopean kehittymisen vuoksi tutkimustulokset vanhenevat nopeasti. Aiemmista tutkimuksista saadaan selville yleiskuva miten materiaalia lisäävää valmistusta käytetään muualla.

4.1 Wohlers Report

Materiaalia lisäävä valmistus on maailmalla erittäin nopeasti kasvava toimiala. Wohlersin (2013, 122–123) selvityksen mukaan materiaalia lisäävän valmistuksen tuotteiden ja palveluiden maailmanlaajuinen liikevaihto oli vuonna 2012 yli 2 miljardia dollaria, 28 % suurempi kuin edellisenä vuonna.

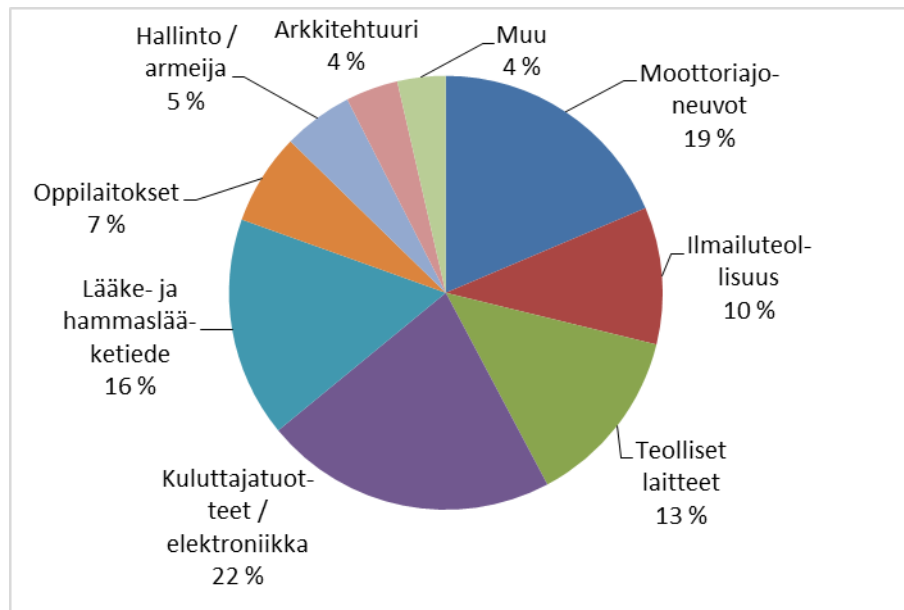
Laitteiston käyttöä kuvaa melko hyvin materiaalin myynti. Kuviossa 1 on esitetty arvioitu materiaalin myynti materiaalia lisäävän valmistuksen laitteisiin vuosina 2001–2012. Kuten kuvaajasta näkyy, materiaalin myynti, ja oletettavasti kulutus on kasvanut huomattavasti. (Wohlers 2013, 125)



KUVIO 1. Materiaalin myynti (Wohlers 2013, 125. Muokattu)

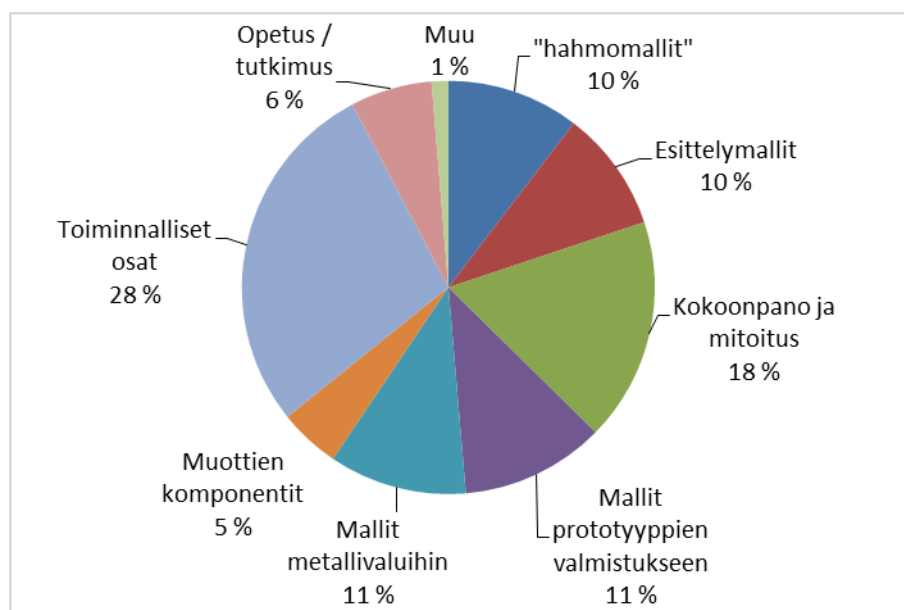
Materiaalia lisäävää valmistusta käytetään erittäin monilla eri toimialoilla, suurimpina kuluttajatuotteet ja -elektroniikka sekä moottoriajoneuvojen valmistus, kuten kuviossa 2

on nähtävissä. Myös lääketieteen, teollisten laitteiden ja ilmailuteollisuuden osuudet ovat merkittävät. (Wohlers 2013, 19)



KUVIO 2. Toimialajakauma (Wohlers 2013, 19. Muokattu)

Materiaalia lisäävän valmistuksen käyttökohteita ja niiden jakautumista on esitetty kuviossa 3. Kuvioista on selvästi nähtävissä toiminnallisten osien suuri, lähes kolmanneksen osuus jo vuonna 2012, jolta kuvion tiedot ovat. Toisena lähes yhtä suurena osana on erilaiset muotit ja työstöapuvälineet, jotka on tässä jaettu vielä kolmeen aliosioon. kolmas suurehko osa on erilaiset kokoonpanomallit. Esittelymalleja tehdään verrattain vähän. (Wohlers 2013, 20)



KUVIO 3. Käyttökohteet (Wohlers 2013, 20. Muokattu)

Materiaalia lisäävän valmistuksen laitteisto- ja palvelumarkkinan ennustetaan jatkavan vahvaa kasvua, sillä tekniikka on, etenkin metallituotteiden kohdalla, vasta kehittymässä ja yleistymässä. (Wohlers 2013, 129)

4.2 LEKA-hanke

Pohjois-Savon liiton LEKA-hankkeessa selvitettiin materiaalia lisäävän valmistuksen käyttöä pohjoissavolaisissa yrityksissä. Yrityksillä oli joitain kokemuksia materiaalia lisäävästä valmistuksesta, lähinnä prototyyppien tekemisessä. Materiaalia lisäävän valmistuksen mahdollisuuksina pidettiin tuotekehityksen nopeutumista, kappaleiden muodon optimointia lujuuden ja painon suhteen sekä yksittäisten kappaleiden valmistusta. (Honkanen & Kutvonen 2013, 16–17)

Yritykset olivat sitä mieltä, että materiaalia lisäävä valmistus ei vielä teknisesti ole vaadittavalla tasolla lopputuotteiden valmistamiseen; lujuus, mittatarkkuus ja tasalaatuisuus nousivat esiin hinnan lisäksi. Tutkimuksessa arveltiin asenteisiin vaikuttavan sen, että julkisuudessa puhutaan enimmäkseen muovin tulostamisesta. Tekniikan kehittyessä yritykset arvioivat räätälöinnin mahdollisuuksien kasvavan, koska keskenään erilaisten kappaleiden valmistaminen olisi helpompaa ja nopeampaa kuin nykyisin. (Honkanen & Kutvonen 2013, 18–19)

4.3 Additive Manufacturing Needs and Practices in the Finnish Industry

Chekurov selvitti päättötyössään materiaalia lisäävän valmistuksen käyttöä kahdeksassa suomalaisessa yrityksessä. Tutkimuksessa selvitettiin haastattelujen avulla muun muassa materiaalia lisäävän valmistuksen tekniikoiden tunnettuutta, laitteistoja yrityksissä, kappaleiden alihankintaa sekä valmistuksen nopeutta. (Chekurov 2014, 31–33)

Tutkimuksessa materiaalia lisäävä valmistus jaettiin prototyyppien valmistamiseen (rapid prototyping, RP), muottien tai työkalujen valmistamiseen (rapid tooling, RT) sekä valmiiden kappaleiden valmistamiseen (rapid manufacturing, RM). Tutkimuksen vastaajien joukossa prototyyppien valmistaminen on selkeästi suurin materiaalia lisäävän

valmistuksen käyttökohde 84 % osuudella. Lopputuotteiden valmistus on vain 10 % materiaalia lisäävän valmistuksen käytöstä. Tutkimuksen mukaan suurin rajoittava tekijä lopputuotteiden valmistamisessa on korkea hinta ja riittämätön laatu. Tutkimuksen yrityksistä 38 prosentilla ei ollut omia laitteistoja, ja ne ovat materiaalia lisäävän valmistuksen osalta alihankinnan varassa. Loppuosalla yrityksistä on yksi tai useampi laite, mutta se ei poissulje alihankinnan käyttöä. (Chekurov 2014, 43–46)

Tutkimukseen vastanneet yritykset ulkoistavat materiaalia lisäävällä valmistuksella tuotettavat kappaleet yleisimmin mikäli oma laitteisto on ylikuormitettu tai tarvitaan kappaleita, joita ei ominaisuuksiltaan tai laadullisesti pystytä valmistamaan omilla laitteilla. Vastaajat näkevät alihankinnan riskinä, varsinkin uusien alihankkijoiden kohdalla, CAD-mallien ja sitä myöten yrityssalaisuuksien vuotamisen yrityksen ulkopuolelle. Tätä torjutaan salassapitosopimuksin ja valmistamalla kaikkein kriittisimmät komponentit itse. (Chekurov 2014, 57–60)

Materiaalia lisäävän valmistuksen tärkeimpiä ominaisuuksia tutkimuksen mukaan olivat kappaleen valmistamisen nopeus sekä kappaleen tarkkuus. Materiaali oli tärkeää osalle vastaajista, todennäköisesti niille jotka tekevät funktionaalisia prototyyppisiä. Valmistusmenetelmällä ei yleisesti ollut suurta merkitystä, kunhan kappaleet on valmistettu sopivasta materiaalista ja ne muuten sopivat käyttötarkoitukseensa. (Chekurov 2014, 64–65)

5 YRITYSHAASTATTELU

Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK), Tampereen teknillinen yliopisto (TTY) ja Sastamalan koulutuskuntayhtymä (SASKY) suunnittelevat materiaalia lisäävän valmistuksen koulutusta ja suunnitelmien tueksi tarvitaan tietoa yrityksistä aiheeseen liittyen. Yrityshaastatteluilla haluttiin saada selville Pirkanmaalaisten yritysten kokemuksia, suunnitelmia ja koulutustarvetta materiaalia lisäävästä valmistuksesta, jotta koulutus vastaisi mahdollisimman hyvin yrityselämän tarpeita.

Työn tilaajalta saatiin yleiskuva, mitä tietoa yrityksistä pitäisi saada. Tästä syntyi neljä pääkysymystä, jotka ovat:

- Millaisia kokemuksia yrityksessä on ainetta lisäävästä valmistuksesta?
- Onko yrityksellä suunnitelmia ja aikeita materiaalia lisäävään valmistukseen liittyen?
- Onko yrityksellä materiaalia lisäävän valmistuksen koulutustarpeita nyt ja tulevaisuudessa?
- Minkälaisia yrityksen tuotteet ovat, ja miten ne valmistetaan nykyisin?

Nämä kysymykset purettiin haastattelukysymyksiksi, joita voidaan käyttää sekä sähköisessä kyselyssä että paikan päällä tai puhelimitse tehtävässä haastattelussa. Kysymyksiin pyydettiin kommentteja työn tilaajalta ja parannusten jälkeen lopullinen versio edelleen hyväksytettiin työn tilaajalla, jotta varmistutaan siitä, että yrityksistä saadaan halutut tiedot. Haastattelulomakkeen paperiversio on esitetty liitteessä 1.

5.1 Toteutus

Kysely päätettiin toteuttaa sähköisesti verkkolomakkeena. Lyhyehkön vaihtoehtojen selvittämisen jälkeen päädyttiin Google Forms -palveluun. Kyseessä on ilmainen, varsin yksinkertainen verkkopalvelu, jossa lomake luodaan graafisessa käyttöliittymässä. Käytettävissä on erilaisia valinta-, monivalinta- sekä avoimia kysymyksiä, jotka kävivät tähän kyselyyn erittäin hyvin. Verkkolomake tehtiin vastaamaan aiemmin luotua paperilomaketta, joten kumpaa tahansa voitaisiin käyttää toteutuksen aikana. Verkkolomak-

keessa voitiin käyttää myös ohjauslogiikkaa, jonka avulla syventävät kysymykset esitetään vain, jos niille on pohjatietokysymysten perusteella tarvetta.

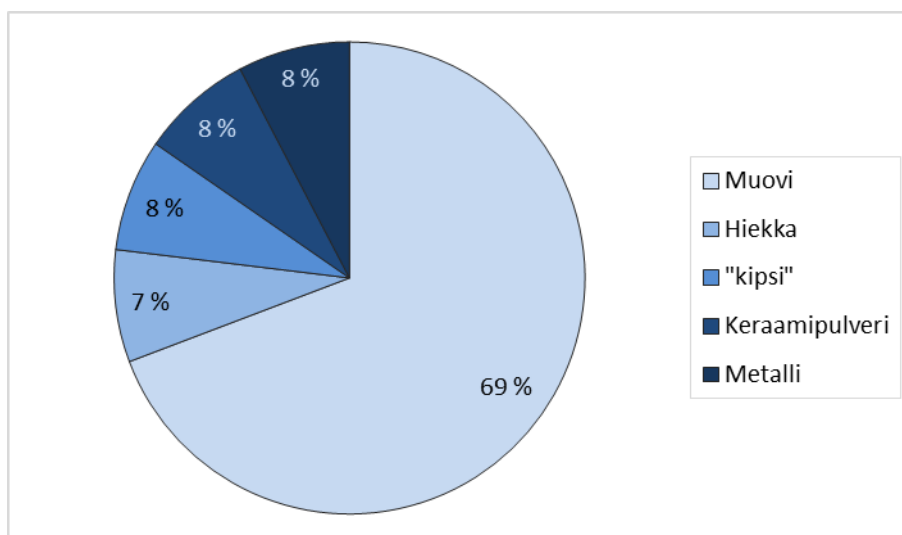
Google Forms -palvelu sijoittaa vastaukset suoraan taulukkolaskentatiedostoon, mikä paperilomakkeeseen verrattuna vähentää työtä ja virheiden mahdollisuutta, kun tietoja ei tarvitse siirtää manuaalisesti paperilta tietokoneelle tulosten tulkintaa varten. Kyselyyn valituille yrityksille lähetettiin sähköpostitse linkki lomakkeeseen. Viestissä myös kerrottiin, miksi kysely tehdään ja mihin tuloksia käytetään.

6 TULOKSET

Yritysselvityksen verkkokyselyyn saatiin yhteensä 22 vastausta. Vastaajista yhtä lukuun ottamatta kaikki olivat kiinnostuneita materiaalia lisäävästä valmistuksesta. Kysymykset jaettiin neljään ryhmään tulosten purkua varten.

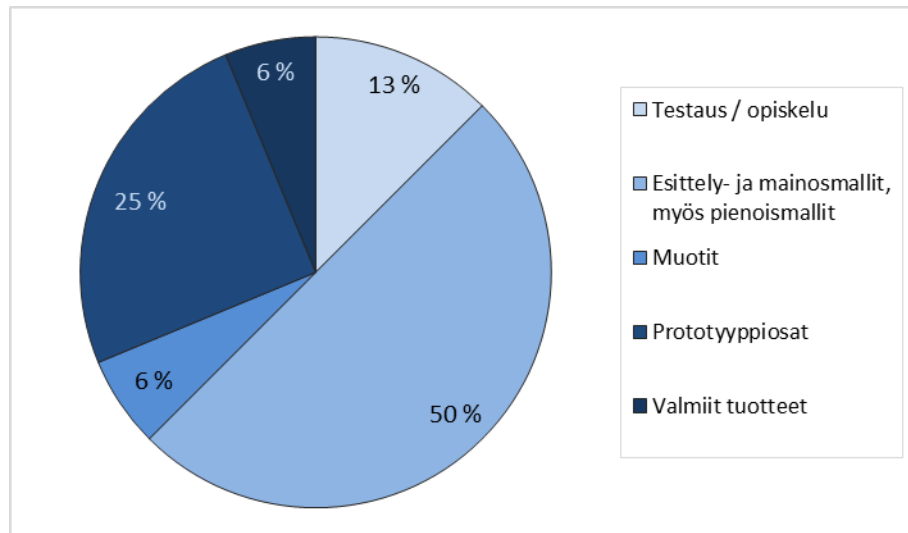
6.1 Yritysten kokemukset

Materiaalia lisäävää valmistusta oli jo käytetty tai ainakin kokeiltu noin puolessa vastanneista yrityksistä. Kaikki vastaajat, jotka olivat käyttäneet materiaalia lisäävää valmistusta, tiesivät käytössä olleen materiaalin, mutta vain muutama osasi kertoa käytetyn tekniikan, joten siitä ei saatu vertailukelpoista tietoa. Eri materiaaleja oli käytetty varsin laajasti, selkeästi yleisimpänä erilaiset muovit, joiden osuus kaikista materiaaleista oli yli puolet. Muilla materiaaleilla oli vain yksittäisiä käyttäjiä. Kuviossa 4 on esitetty käytetyt materiaalit ja niiden osuudet.



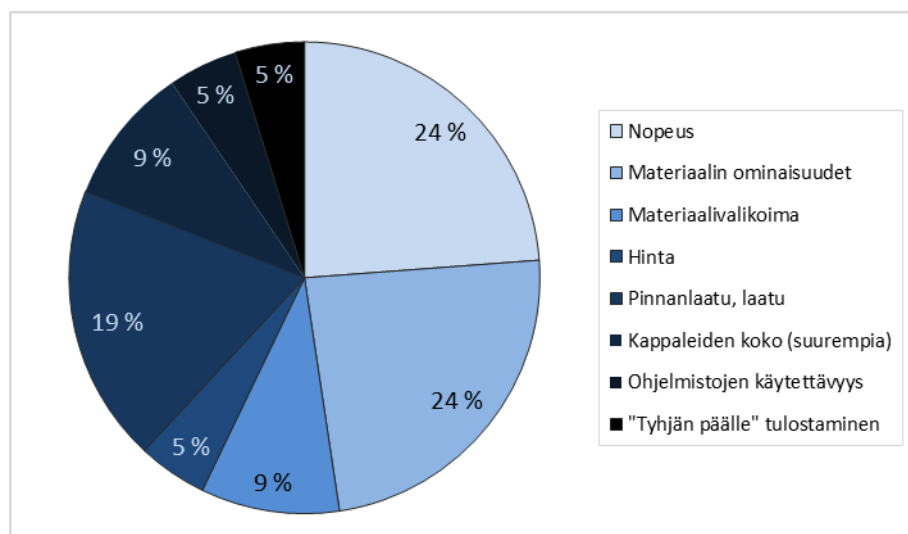
KUVIO 4. Käytössä olleet materiaalit

Lisäävällä valmistuksella tuotettuja kappaleita on käytetty useisiin eri tarkoituksiin, eniten erilaisina esittely- ja mainosmalleina. Useampi vastaaja oli käyttänyt materiaalia lisäävää valmistusta toiminnallisten prototyyppien valmistamiseen, mutta vain yksi valmistusti lopputuotteita materiaalia lisäävällä valmistusmenetelmällä metallista. Kuviossa 5 on tarkempi erittely käyttökohteista.



KUVIO 5. Kappaleiden käyttötarkoitus

Tyytyväisyyttä materiaalia lisäävään valmistukseen kartoitettiin viisiportaisella asteikolla, jonka ääripäät olivat hyvin tyytyväinen ja hyvin tyytymätön, keskimmäisen vaihtoehdon ollessa neutraali. Selkeästi eniten vastauksia sai neutraali, muutama vastaaja ilmaisi olevansa tyytyväinen. Tyytymättömiä ja kumpaakaan ääripäätä ei ollut lainkaan. Vastauksista kävi ilmi useita seikkoja, joita materiaalia lisäävässä valmistuksessa pitäisi parantaa. Parannuskohteista selvimmin nousevat esille nopeus, materiaalin ominaisuudet sekä valmistettavien kappaleiden laatu. Myös materiaalivalikoiman laajuus ja mahdollinen kappaleiden koko nousivat esille useammassa vastauksessa. Nämä ja muut esiintyneet parannusta vaativat seikat on esitetty kuviossa 6.

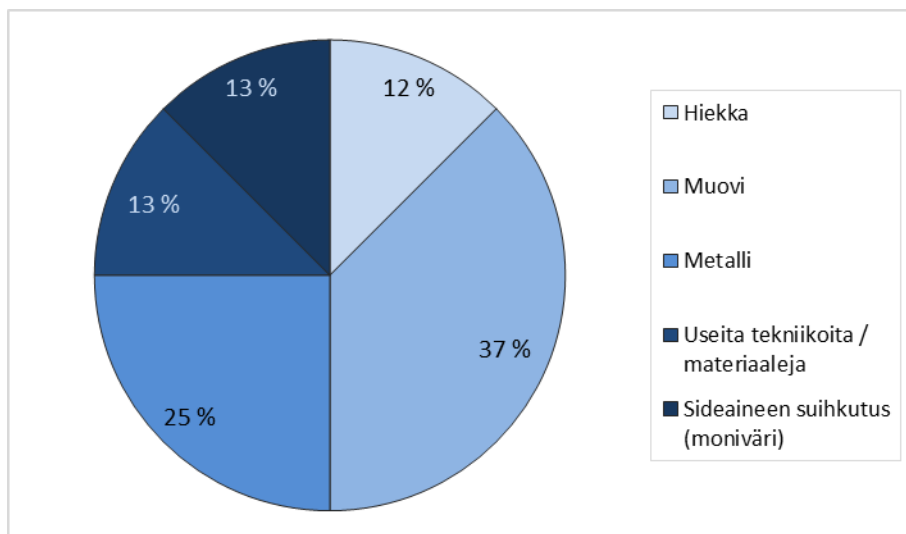


KUVIO 6. Parannusta vaativat seikat

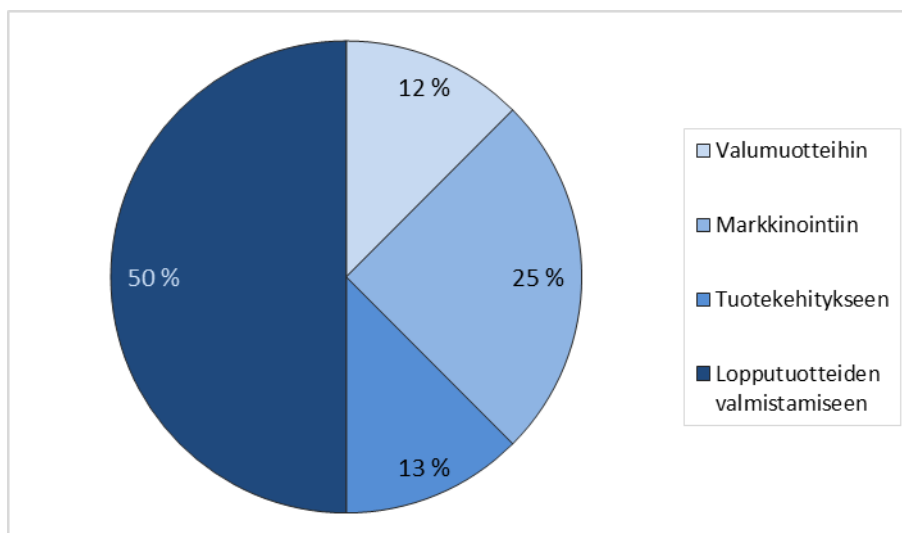
6.2 Tulevaisuuden suunnitelmat

Noin puolella kyselyyn vastanneista yrityksistä on jonkinlaisia suunnitelmia materiaalia lisäävän valmistuksen käyttöönotosta. Näistä reilu puolet on jo päättänyt käyttöönotettavan materiaalin. Eniten aiotaan käyttää muovia ja metallia työstäviä laitteita, kuten on nähtävissä kuviossa 7. Yksi vastaaja aikoo hankkia useampia laitteistoja, joilla voidaan työstää eri materiaaleja.

Vastaajat suunnittelevat selvästi eniten lopputuotteiden valmistamista materiaalia lisäävin menetelmin. Toinen suurempi käyttökohde materiaalia lisäävälle valmistukselle on erilaiset markkinointi- ja muut mallit, joka oli suurin tämänhetkisistä käyttökohteista. Valumuottien ja prototyyppien valmistaminen jäi selvään vähemmistöön, kuten kuviossa 8 on nähtävissä. Vastaajien enemmistö suunnittelee omien laitteistojen hankintaa, vain kolmannes aikoo käyttää alihankintaa.



KUVIO 7. Suunnitellut materiaalit

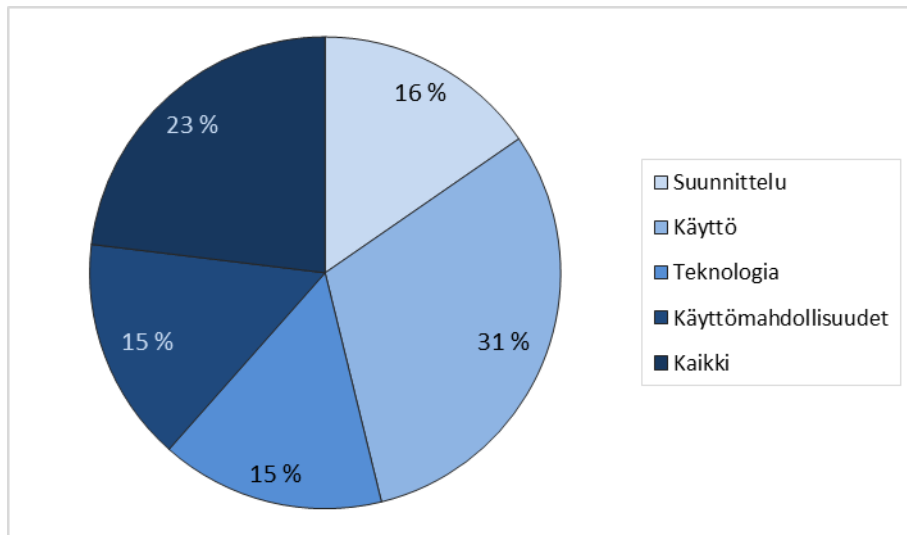


KUVIO 8. Suunnitellut käyttökohteet

6.3 Osaaminen ja koulutustarve

Yritysselvityksellä haluttiin kokemusten lisäksi kartoittaa myös yritysten nykyistä osaamista sekä koulutustarpeita. Vajaa puolet vastaajista kertoi yrityksellä olevan osaamista materiaalia lisäävään valmistukseen liittyen, suurimpana suunnitteluosaaminen. Lähes yhtä paljon oli käyttöosaamista omien olemassa olevien laitteiden pohjalta, ja osalla vastanneista on materiaaliosaamista mm. metallurgian osalta.

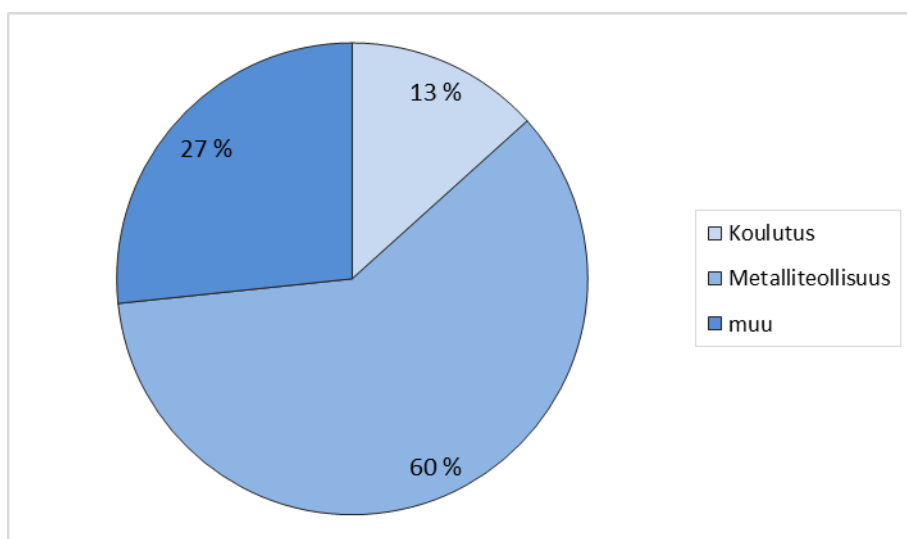
Lähes kaikki vastaajat arvelevat tulevaisuudessa olevan tarvetta materiaalia lisäävän valmistuksen koulutukselle. Kuviossa 9 on esitetty vastaajien koulutustarpeita. Suurimpana on laitteiden käyttökoulutus ja toiseksi suurimpana yleiskoulutus, joka sisältää niin suunnittelun, käytön kuin teknologian valinnan. Suurin osa vastaajista kaipaa koulutusta, jossa käsitellään yleisesti materiaalia lisäävää valmistusta ja olemassa olevia tekniikoita. Vain muutama vastaaja halusi tietylle teknologialle rajattua koulutusta.



KUVIO 9. Koulutustarpeet

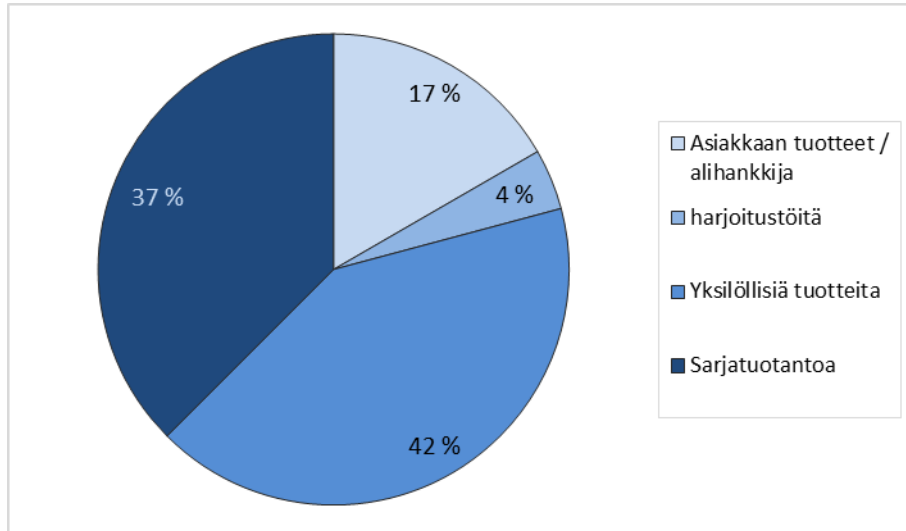
6.4 Taustatiedot

Kyselyyn vastanneet yritykset olivat painottuneet metalliteollisuuteen, 60 % vastanneista ilmoitti toimialakseen metalliteollisuudeksi luokiteltavan toiminnan. Metalliteollisuus-ryhmässä on muun muassa valimoja, konepajoja sekä koneenrakennusta. Muutamia vastauksia saatiin koulutusalan toimijoilta. Kuviossa 10 on toiseksi suurimpana ryhmänä ”muu”, joka sisältää muun muassa kumi- ja muovialan yrityksen sekä pientalvalmistajan.



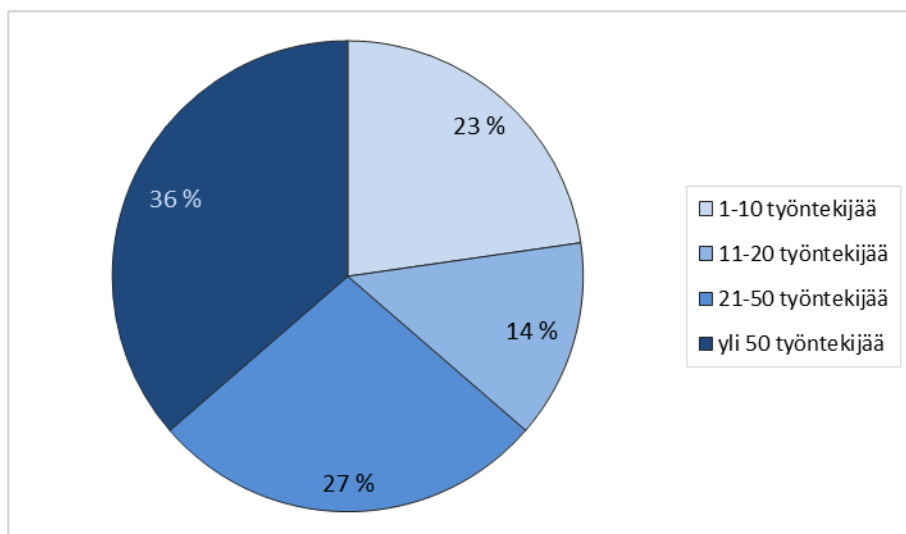
KUVIO 10. Toimiala

Vastaajat valmistavat yksilöllisiä tuotteita, sarjatuotantoa sekä alihankintana asiakkaiden tuotteita. Yksi vastaaja voi olla monessakin vaihtoehdossa. Suurimmat kaksi, lähes yhtä suurella osuudella ovat sarjatuotanto ja yksilölliset tuotteet. Huomattavasti pienempänä osuutena kuviossa 11 on nähtävissä asiakkaan tuotteiden valmistus alihankkijana.



KUVIO 11. Tuotteet

Vastaajien joukossa oli varsin tasaisesti erikokoisia yrityksiä, alle kymmenen hengen pienyrityksistä yli 50 työntekijän yrityksiin. Kuviossa 12 on yritysten työntekijämäärien jakauma.



KUVIO 12. Työntekijämäärä

7 TULOSTEN TARKASTELU

Koska otoskoko oli varsin pieni ja vastaajissa painottui eritoten metalliteollisuus, eivät tulokset välttämättä vastaa laajemmalla otannalla ja toimialajakaumalla saatavia tuloksia. Koska Pirkanmaalla kuitenkin on varsin paljon koneenrakennusteollisuutta ja tilaajaosapuolena on tiiveimmin kone- ja tuotantotekniikan osasto, tulokset vastannevat kuitenkin koulutuksen todennäköistä asiakaskuntaa.

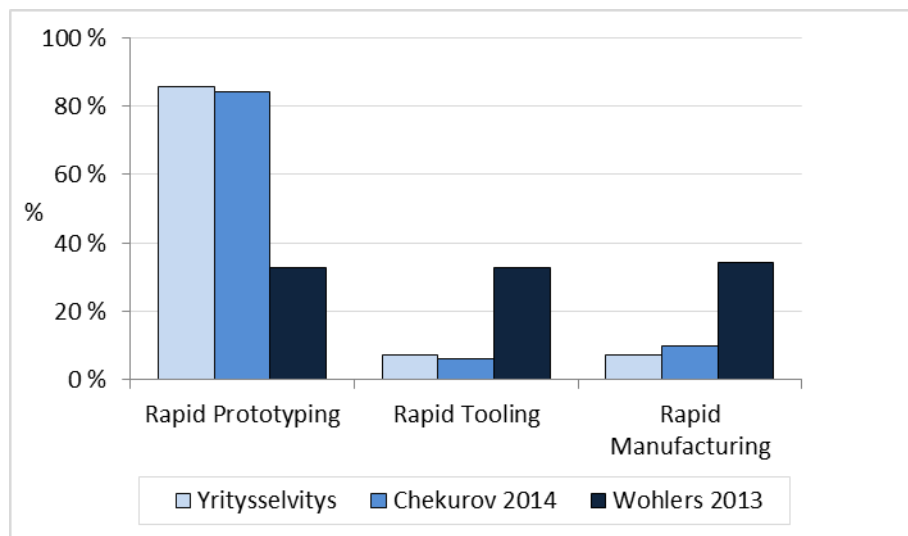
Kyselyssä oli sekä avoimia että valintakysymyksiä. Kuten ennakkoon oletettiin, osa vastaajista ei vastannut kaikkiin avoimiin kysymyksiin. Vastaamattomuus olisi voitu estää käyttämällä pakotettuja kysymyksiä, jolloin kyselyssä ei pääse eteenpäin, mikäli kysymykseen ei ole vastattu. Osa vastaajista olisi tällöin saattanut jättää vastaamisen kesken, jolloin vastaukset eivät tallennu.

Vastaajat eivät osanneet kertoa, mitä tekniikkaa heillä käytössä olevat laitteistot edustavat, joten tekniikalla itsessään ei liene merkitystä, kunhan lopputuotteen ominaisuudet vastaavat haluttua. Tulevaisuuden suunnitelmia nykytilaan verrattaessa, eniten osuutetaan kasvattavat metallimateriaalit ja lopputuotteiden valmistus, joten oletettavasti myös laitteistolta ja valmistettavilta kappaleilta vaaditaan parempia ominaisuuksia kuin nykytilanteessa, jossa enin osa kappaleista on erilaisia näköismalleja.

Yrityksillä on vastausten perusteella erilaisia koulutustarpeita. Suurin osa haluaa koulutusta, joka ei rajaudu tiettyyn teknologiaan, vaan on yleisempää. Osa vastaajista halusi koulutusta vain johonkin tiettyyn materiaalia lisäävän valmistuksen osa-alueeseen, mutta monet haluavat koulutusta, jossa käsitellään aihetta laajemmin. Muutama vastaaja ilmaisi koulutustarpeena olevan materiaalia lisäävän valmistuksen käyttömahdollisuudet; ilmeisesti heillä ei ole tietoa, mitä materiaalia lisäävällä valmistuksella pystytään ylipäänsä tekemään.

Ryhmittelemällä materiaalia lisäävän valmistuksen käyttö prototyyppien valmistamiseen (rapid prototyping, RP), muottien tai työkalujen valmistamiseen (rapid tooling, RT) sekä valmiiden kappaleiden valmistamiseen (rapid manufacturing, RM) voidaan vertailla tämän selvityksen, Wohlersin (2013) sekä Chekurovin (2014) tuloksia. Vertailu on lähinnä suuntaa antava, sillä tässä selvityksessä kysyttiin mihin käyttökohteisiin ma-

terialia lisäävää valmistusta on ylipäänsä käytetty, kun Chekurov ja Wohlers selvittivät käytön jakaumaa. Tästä huolimatta, kuten kuviosta 13 voidaan nähdä, tämän selvityksen ja Chekurovin tutkimuksen tulokset ovat lähes identtiset. Wohlersin tutkimuksessa prototyyppien valmistuksen osuus on selvästi pienempi, ja muottien sekä valmiiden tuotteiden valmistaminen vastaavasti suurempi. Osan eroavaisuuksista selittää todennäköisesti vastaajien erilainen toimialajakauma. Ero on kuitenkin niin huomattava, että on oletettava, että Suomessa ei ole vielä siirrytty lopputuotteiden valmistukseen materiaalia lisäävin menetelmin.



KUVIO 13. Materiaalia lisäävän valmistuksen käyttö

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Pirkanmaalaisten yritysten kokemuksia ja suunnitelmia materiaalia lisäävään valmistukseen liittyen. Opinnäytetyössä tutustuttiin materiaalia lisäävän valmistuksen teoriaan ja yleisimpiin käytössä oleviin teknologioihin sekä aiemmin tehtyihin tutkimuksiin materiaalia lisäävän valmistuksen käytöstä. Aiemmat selvitykset keskittyivät lähinnä materiaalia lisäävän valmistuksen käyttöön, koulutukseen liittyviä selvityksiä ei löydetty. Yritysten kokemusten ja suunnitelmien kartoittamiseksi luotiin kysymyslomake ja toteutettiin kysely sähköisesti.

Yritysselvityksen perusteella yrityksillä on kiinnostusta materiaalia lisäävään valmistukseen, ja melko suuri osa on jo käyttänyt sitä ainakin prototyyppien tai näköismallien valmistamiseen. Muissa länsimaissa lopputuotteiden valmistus on huomattavasti yleisempää kuin Suomessa. Monet vastanneista yrityksistä ovat myös suunnitelleet materiaalia lisäävän valmistuksen käyttöönottoa ja osa myös laitteiden hankintaa. Suurin mielenkiinto tulevaisuudessa kohdistuu lopputuotteiden valmistamiseen materiaalia lisäävin menetelmin. Suurin osa vastaajista arvelee tulevaisuudessa tarvitsevansa koulutusta materiaalia lisäävän valmistuksen eri osa-alueilla. Koulutustarpeista suurimpina esiin nousevat laitteiston käyttö sekä yleinen koulutus joka sisältää kaiken suunnittelusta laitteiston valintaan ja käyttöön. Yhtenä koulutustarpeen avoimena vastauksena esiin nousi materiaalia lisäävän valmistuksen käyttömahdollisuudet, yrityksellä ei ole tarkkaa tietoa, mikä nykyisillä teknologioilla on mahdollista.

Yritysselvityksessä oli melko vähän vastaajia varsin rajatuilta toimialoilta, joten tuloksia ei voine yleistää kovinkaan laajalle. Koska kaikki vastaajat olivat Pirkanmaalta, toimialoissa painottui konetekniikka sekä nykyisen materiaalia lisäävän valmistuksen käytön tulokset vastaavat aiempaa suomalaista tutkimusta (Chekurov 2014), voitaneen olettaa, että tulokset ovat ainakin suuntaa-antavia pirkanmaalaisen metalliteollisuuden alueella. Yleistettävämmän tuloksen saaminen olisi vaatinut enemmän vastaajia. Tämä olisi onnistunut mahdollisesti toteuttamalla kysely puhelimitse tai paikan päällä, sähköisissä kyselyissä on varsin pieni vastausprosentti.

LÄHTEET

Chekurov, S. 2014. Additive Manufacturing Needs and Practices in the Finnish Industry. Aalto University. School of Engineering. Degree Programme in Mechanical Engineering. Master's Thesis.

Christensen, A. 2011. Additive Manufacturing Is Changing Surgery. Teoksessa *Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2011 Symposium*. Washington, DC: The National Academies Press, 25–31

CustomPartNet. 2008. Additive Fabrication. Luettu 6.4.2015.
<http://www.custompartnet.com/wu/additive-fabrication>

Firpa, Suomen pikavalmistusyhdistys. Sanasto. Tulostettu 26.2.2015.
<http://www.firpa.fi/html/sanasto.html>

Gibson, I., Rosen, W. & Stucker, B. 2010. *Additive Manufacturing Technologies. Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing*. New York: Springer.

Honkanen, K & Kutvonen, R. 2013. Ainetta lisäävä valmistus Pohjois-Savossa – suunnitteluperiaatteet ja yritysten näkökulmia. Leka-tutkimusraportti. Savonia-ammattikorkeakoulu.

Lyons, B. 2011. Additive Manufacturing in Aerospace: Examples and Research Outlook. Teoksessa *Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2011 Symposium*. Washington, DC: The National Academies Press, 15–24

Stucker, B. 2011. *Additive Manufacturing Technologies. Technology Introduction and Business Implications*. Teoksessa *Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2011 Symposium*. Washington, DC: The National Academies Press, 5–14

Wohlers, T. 2013. *Wohlers Report 2013: Additive Manufacturing and 3D Printing State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report*. Fort Collins: Wohlers Associates.

LIITTEET

Liite 1. Haastattelulomake

1(3)

Tampereen ammattikorkeakoulu (TAMK), Tampereen teknillinen yliopisto (TTY) ja Sastamalan koulutuskuntayhtymä (SASKY) ovat suunnittelemassa materiaalia lisäävän valmistuksen (3D-tulostus, pikavalmistus) koulutusta. Tällä kyselyllä kartoitetaan yritysten nykytilannetta ja tulevia tarpeita, jotta koulutuksesta saadaan mahdollisimman hyvin yritysten tarpeita palveleva.

0. Onko yrityksessänne tietoa, kokemusta tai kiinnostusta 3D-tulostamiseen liittyen?

Kyllä Ei

Jos vastasit Ei, voit siirtyä kysymykseen 4.

Kokemukset 3D-tulostamisesta

1. Onko yrityksessänne jo käytetty 3D-tulostusta?

Kyllä Ei

Jos vastasit Ei, voit siirtyä kysymykseen 2.

1.1 Mitä materiaalia ja tekniikkaa on käytetty?

Muovi Metalli Muu, mikä? _____

Tekniikka: _____

1.2 Mihin 3D-tulosteita on käytetty? Esim. lopputuotteina, aihioina, ”hahmomalleina”?

1.3 Käytetäänkö 3D-tulostusta edelleen?

Kyllä Ei, miksi? _____

1.4 Oletteko tyytyväisiä nykyiseen 3D-tulostustekniikkaan?

Hyvin tyytyväinen Neutraali Hyvin tyytymätön

1.5 Minkä pitäisi toimia paremmin?

3D-tulostussuunnitelmat ja aiheet

2. Onko yrityksessänne selvitetty 3D-tulostamisen käyttöä?

Kyllä Ei

Jos vastasit Ei, voit siirtyä kysymykseen 3.

2.1 Onko yrityksellä jo suunnitelmia 3D-tulostamisen käyttöönotosta?

Kyllä Ei

Jos vastasit Ei, voit siirtyä kysymykseen 3.

2.2 Onko tekniikkaa ja/tai materiaalia valittu?

- Kyllä, mikä? _____
Ei

2.3 Mihin 3D-tulostusta on ajateltu käytettävän? Tuotekehitykseen, valmiiden tuotteiden valmistamiseen, muuhun?

2.4 Suunnitellaanko yrityksessänne omien laitteiden hankintaa vai alihankinnan käyttöä?

- Omat laitteet Alihankinta

2.5 Milloin suunnitelmia ollaan toteuttamassa käytännössä?

- Puolen vuoden sisällä
Vuoden sisällä
Kahden vuoden sisällä
Myöhemmin

3D-tulostusosaaminen ja -koulutustarpeet

3. Onko yrityksellä jo osaamista 3D-tulostukseen?

- Kyllä, millaista? _____
Ei

3.1 Onko yrityksellänne suunnitelmia kouluttaa henkilöstöä 3D-tulostamiseen liittyen?

- Kyllä Ei

3.2 Näkeekö yrityksenne tulevaisuudessa koulutustarvetta 3D-tulostamiseen?

- Kyllä Ei

Jos vastasit Ei, voit siirtyä kysymykseen 4.

3.3 Minkälaista koulutusta yrityksenne tarvitsee? Esimerkiksi suunnittelu, käyttö, teknologia, laitteiston valinta...

3.4 Onko koulutustarve jollekin tietylle teknologialle vai yleisesti 3D-tulostamiseen?

- 3D-tulostus yleisesti
Tietty teknologia, mikä? _____

Taustatiedot

4. Millä menetelmillä ja mistä materiaaleista yrityksenne tuotteet nykyisin tehdään?

4.1 Ovatko yrityksenne tuotteet sarjatuotantoa vai yksilöllisiä tuotteita?

- sarjatuotanto
yksilöllisiä tuotteita
asiakkaan tuotteet / alihankkija
muu, mikä? _____

4.2 Kuinka suuria ja monimuotoisia yrityksenne tuotteet ovat?

4.3 Mikä on yrityksen toimiala? (voisi olla valintalaatikko, kunhan tietää mihin kaikkiin lähettää)

4.4 Kuinka suuri yritys on?

- 1–10 työntekijää
- 11–20 työntekijää
- 21–50 työntekijää
- yli 50 työntekijää

4.5 Mikäli haluat TAMKIn ottavan yhteyttä 3D-tulostamiseen liittyen, jätä yhteystietosi tähän
