

Opinnäytetyö (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

2018

Erkki Virkki

**MATERIAALIA LISÄÄVÄN
VALMISTUKSEN
KEHITTÄMINEN
KONETEKNOLOGIAKESKUS
TURKU OY:N YMPÄRISTÖÖN**

OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

2018 | 41 sivua, 23 liitettä

Erkki Virkki

MATERIAALIA LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN KEHITTÄMINEN KONETEKNOLOGIAKESKUS TURKU OY:N YMPÄRISTÖÖN

Tämä opinnäytetyö on tehty Koneteknologiakeskus Turku Oy:lle. Työ käsittelee materiaalin lisäävää valmistusta (additive manufacturing, AM) kansankielellä 3D-tulostus. Materiaalin lisäävä valmistus kehittyä ja uusia laitteistoja sekä sovellettavia teknologioita on julkaisuissa viikoittain.

Tässä opinnäytetyössä kartoitetaan materiaalia lisäävän valmistuksen tilannetta maailmalla ja Suomessa. Työssä käydään läpi erilaisia lisäävän valmistuksen menetelmiä sekä mietitään niiden soveltuvuutta Koneteknologiakeskus Turku Oy:n oppimis- ja kehitysympäristöön. Työssä arvioidaan eri menetelmien etuja ja haittoja sekä käyttökustannuksia.

Yksi opinnäytetyön tarkoituksista oli tutkia miten materiaalia lisäävää valmistusta kehitetään tulevaisuudessa Koneteknologiakeskus Turku Oy:n oppimis- ja kehitysympäristössä. Pohjana on käytetty yrityksille ja oppilaitoksille tehtyjä kyselyjä. Kyselyjen tuloksista voidaan päätellä mitkä ovat tarpeet ja vaatimukset tutkimuksella, kehittämisellä sekä oppilaitoksilla. Tavoitteena oli kartoittaa kone- ja laiteympäristön investointitarpeita.

Työn tuloksista voidaan todeta tiedon ja koulutuksen puutteen olevan esteenä materiaalia lisäävän valmistuksen leviämisestä. Sopivien kehitysympäristöjen rakentamiselle tutkimuksen ja prototyypin valmistuksen tueksi on tarvetta.

Lähes jokaisessa Suomen korkeakoulussa ja yliopistossa tehdään lisäävän valmistuksen suunnitelmia ja yritetään keksiä uusia ideoita niiden toteuttamiseksi. Johtopäätöksissä on toimenpide-ehdotuksia, joita Koneteknologiakeskus Turku Oy:ssä olisi tehtävä erottuakseen massasta.

ASIASANAT:

Materiaalia lisäävä valmistus, 3D-tulostus, prototyyppi, hybridivalmistus, prototyyppien pikavalmistus.

BACHELOR'S | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Mechanical Engineering

2018 | 41 pages, 23 appendices

Erkki Virkki

ADDITIVE MANUFACTURING DEVELOPMENT OF MACHINE TECHNOLOGY CENTER TURKU LTD'S ENVIRONMENT

This thesis is made for Machine Technology Center Turku Ltd. The work deals with additive manufacturing (AM) in colloquially 3D printing. Additive manufacturing is developing and new hardware and applicable technologies are published weekly.

This thesis investigates the situation of additive manufacturing in Finland and abroad. The thesis examines various methods of additive manufacturing and their applicability to the learning and development environment of the Machine Technology Center Turku Ltd. The work will also evaluate the advantages, disadvantages and operating costs of different methods.

One aim of the thesis was to study how to develop additive manufacturing in the future of the Machine Technology Center Turku Ltd.'s learning and development environment. The survey questionnaire was made to companies and educational institutes. The purpose of the survey was to find out the needs and requirements of development, research and educational institutes. The aim was also to make a plan for the investment needs of the machinery and equipment.

The results of the work show that the lack of knowledge and training is a barrier to the spreading of the additive manufacturing. There is a need to build suitable development environments to support research and prototype production.

Almost every university and university of applied sciences in Finland is making plans for additive manufacturing and trying to come up with new ideas for their implementation. This work conclusions include suggestions for measures that should be taken by Machine Technology Center Turku Ltd. to stand out from the crowd.

KEYWORDS:

Additive manufacturing, 3D-printing, prototype, hybrid manufacturing, rapid prototyping.

SISÄLTÖ

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO	7
1 JOHDANTO	9
2 KONETEKNOLOGIAKESKUS TURKU OY	10
3 LISÄÄVÄ VALMISTUS YLEISESTI	11
3.1 Lisäävä valmistus maailmalla	11
3.2 Lisäävä valmistus Suomessa	15
4 LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TEKNIIKAT	16
4.1 Lisäävän valmistuksen prosessit	16
4.1.1 Sideaineen suihkutus (Binder Jetting)	18
4.1.2 Suorakerrostus (Directed Energy Deposition)	18
4.1.3 Materiaalin pursotus (Material Extrusion)	20
4.1.4 Materiaalin suihkutus (Material Jetting)	20
4.1.5 Jauhepetisulatus (Powder Bed Fusion)	21
4.1.6 Kerroslaminointi (Sheet Lamination)	24
4.1.7 Nesteen fotopolymerisointi (VAT Photopolymerization)	26
4.2 Hybridi 3D-valmistus	26
5 LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN PROSESSIEN KÄYTTÖTARKOITUKSIEN VERTAILUT JA SOVELTUVUUDET	28
5.1 Lisäävän valmistuksen prosessien vertailu (SWOT) perinteiseen valmistukseen	28
5.2 Lisäävän valmistuksen prosessien vertailu ja soveltuvuus eri käyttökohteille	29
5.3 Lisäävän valmistuksen prosessien kustannusten vertailut	30
6 LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN AIEMMAT SELVITYKSET	31
6.1 Kyselytutkimus ”Lisäävän valmistuksen (”3D-tulostus”) kehittäminen Varsinais- Suomessa”	33
6.1.1 Kyselytutkimus yrityksille	33
6.1.2 Kyselytutkimus oppilaitoksille	35
6.2 Aikaisempien opinnäytetöiden kyselytulosten vertailu	37
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	38

LIITTEET

Liite 1. Lisäävän valmistuksen prosessien vertailut ja soveltuvuus opiskeluun

Liite 2. Lisäävän valmistuksen prosessien kustannusten vertailut

Liite 3. Kyselyjen vastauksien laajempi koonti

Liite 4. Yrityskyselyn lomake

Liite 5. Oppilaitoskyselyn lomake

KUVAT

Kuva 1. Koneteknologikeskus Turku Oy:n ulkokuva (KTK arkisto 2017)	10
Kuva 2. Lisäävän valmistuksen synty (Roland Merger 2016)	11
Kuva 3. Asennetut teolliset laitteistot maailmanlaajuisesti (Piili 2017)	12
Kuva 4. Lisäävän valmistuksen hype käyrä (Gartner 2017)	12
Kuva 5. 3D-tulostuksen käyttösovellukset maailmalla (Culpteo 2017).....	13
Kuva 6. 3D-tulostusmateriaalit maailmalla (Culpteo 2017)	13
Kuva 7. Käytetyt 3D-tulostusteknologiat (Culpteo 2017)	14
Kuva 8. Lisäävän valmistuksen periaate (Waldbur 2011).....	16
Kuva 9. Yksi- ja monivaiheiset AM-valmistusprosessit (SFS-EN ISO/ASTM52900:2017)	17
Kuva 10. Sideaineen suihkutetus. Mukailen Loughborough University (2017).....	18
Kuva 11. Suorakerrostus. Mukailen Precitehc pinnoituspää (KTK 2017).....	19
Kuva 12. Suorakerrostus. Mukailen Loughborough University (2017)	19
Kuva 13. Suorakerrostus. Mukailen Mazaki Wire Arc AM (2017)	19
Kuva 14. Materiaalin pursotus. Mukailen Loughborough University (2017)	20
Kuva 15. Materiaalin suihkutetus. Mukailen Sratays PolyJet Process (2017)	21
Kuva 16. Jauhepetisulatus. Mukailen Loughborough University (2017).....	21
Kuva 17. Electron beam melting. Mukailen Arcam EBM (2017)	23
Kuva 18. Selective heat sintering. Mukailen University of Nottingham (2017)	24
Kuva 19. Laminated object manufacturing. Mukailen Royal Society of Chem. (2016) 25	
Kuva 20. Ultrasonic additive manufacturing. Mukailen Loughborough University (2014)	25
Kuva 21. Nesteen fotopolymerisointi. Mukailen Loughborough University (2017).....	26
Kuva 22. Hybridi 3D-valmistus. Mukailen Procedia Manufacturing (2016).....	27
Kuva 23. DMGMORI Lasertec 65 3D-Hybrid (2017)	27
Kuva 24. Yritysten henkilöstön 3D-tulostuksen tietämys	34
Kuva 25. Yritysten 3D-tulostuksen tiedon tarve.....	34
Kuva 26. Oppilaitosten henkilöstön 3D-tulostuksen tietämys	35
Kuva 27. Oppilaitosten kiinnostavuus 3D-tulostuksesta	36
Kuva 28. Oppilaitosten näkemys 3D-tulostuksen mahdollisuuksista	36

TAULUKOT

Taulukko 1. 3D-menetelmien 2-ulotteinen jaottelu (Gibson 2010)	17
Taulukko 2. Lisäävän valmistuksen SWOT (Al-Makky M. ym. 2016)	28

KÄYTETYT LYHENTEET TAI SANASTO

Lyhenne	Lyhenteen selitys (Kati Lehtinen ja FIRPA , 2014)
AM	Additive Manufacturing, lisäävä valmistus
ASTM	American Society for Testing and Materials, Kansainvälinen organisaatio
CAD	Computer Aided Design, tietokoneavusteinen suunnittelu
CAM	Computer Aided Manufacturing, tietokoneavusteinen valmistus
CLIP	Continuous Liquid Interface Production
CNC	Computer Numeric Control, työstökoneen numeerinen ohjaus
DED	Directed Energy Deposition, Suorakerrostus, jauheen sulatukseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia
DMD	Directed Metal Deposition, jauheen sulatukseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia
DMLS	Direct Metal Laser Sintering, jauheen sulatukseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia
EBM	Electro Beam Melting, jauheen sulatukseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia
FDM	Fused Deposition Modeling, ensimmäinen materiaalin pursotukseen perustuva lisäävän valmistuksen menetelmä
FFF	Fused Filament Fabrication, materiaalin pursotukseen perustuva lisäävän valmistuksen menetelmä
FMS	Flexible Manufacturing System, joustava valmistusjärjestelmä
KTK	Koneteknologiakeskus Turku Oy
LENS	Laser-engineered Net Shaping, materiaalin ja lämmön kohdistukseen perustuva lisäävän valmistuksen menetelmä
LOM	Laminated Object Manufacturing, ensimmäinen laminointiin perustuva lisäävän valmistuksen teknologia
PBF	Power Bed Fusion, jauheen sulatukseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia

SFS-EN ISO	SFS on Suomessa vahvistetun standardin tunnus; EN on eurooppalaisessa standardisoimisjärjestössä CENissä vahvistetun standardin tunnus; ISO on kansainvälisessä standardisoimisjärjestössä ISOssa julkaistu standardi
SHS	Selective Heat Sintering, jauheen sulatukseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia
SL	Stereolitography, valokovettamiseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia
SLS	Selective Laser Sintering, jauheen sulatukseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia
STL	Lisäävän valmistuksen laitteiden sovittu ”standardi” rajapinta. Alkuperänä termi Stereolitografia
SLM	Selective Laser Melting, jauheen sulatukseen perustuva lisäävän valmistuksen teknologia
STEP	Standard for the Exchange of Product Model, Tiedostoformaatti
SWOT	Strenghts, Weaknesses, Opportunities, Threats / vahvuudet, heikkoudet, mahdollisuudet, uhat
TPU	Termoplastinen polyuretaani
UAM	Ultrasonic Additive Manufacturing, laminointiin perustuva lisäävän valmistuksen teknologia
UV	Ultraviolettivalo
Vat	Polymeeriallas
3D	Lisäävän valmistuksen synonyymi

1 JOHDANTO

Materiaalia lisäävästä valmistuksesta (additive manufacturing, AM), kansankielellä 3D-tulostus, on puhuttu viime vuosina paljon. Materiaalia lisäävä valmistus kehittyy tällä hetkellä huimaa vauhtia. Uusia materiaalia lisääviä valmistuksen laitteita ja sovellettavia teknologioita on julkaisuissa viikoittain. Suomessa ollaan vielä vuosia jäljessä kehityksestä ja käyttötoteutuksista verrattaessa Keski-Eurooppaan, Yhdysvaltoihin ja Kiinaan. Aiheesta on tehty useita opinnäytetöitä. Tässä opinnäytetyössä käydään läpi ja arvioidaan muutamia Suomessa tehtyjä opinnäytetöitä, käyttäen niitä osana kirjallisuuslähteitä ja tehden niistä lyhyet yhteenvedot. Opinnäytetyössä käydään läpi erilaiset lisäävän valmistuksen menetelmät, sekä mietitään niiden soveltuvuutta oppilaskäyttöön. Lisäksi eri menetelmien käyttökustannuksia työssä on arvioitu. Opinnäytetyössä pohditaan eri menetelmien soveltuvuutta Koneteknologiakeskuksen toimintaympäristöön huomioiden, miten Koneteknologiakeskus Turku Oy (KTK) saadaan erottumaan massasta, kun lähes jokaisessa Suomen korkeakoulussa ja yliopistossa tehdään materiaalia lisäävän valmistuksen suunnitelmia ja yritetään keksiä uusia ideoita.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia, miten tulevaisuudessa Koneteknologiakeskus Turku Oy:n oppimis- ja kehitysympäristössä lähdetään kehittämään materiaalia lisäävää valmistusta huomioiden yritysten, tutkimuksen sekä oppilaitosten tarpeet ja vaatimukset. Tässä on pohjana kyselyt, jotka tehtiin yrityksille ja oppilaitoksille. Tavoitteena on tehdä toimenpide-ehdotuksia kone- ja laiteympäristön investointitarpeista ja käyttöönoton toteuttamiseksi. Työssä kartoitetaan suuntaa antavasti erilaisten materiaalia lisäävän valmistuksen menetelmien hankinta, ylläpito- ja käyttökustannukset.

2 KONETEKNOLOGIAKESKUS TURKU OY

Koneteknologiakeskus Turku Oy on oppilaitosten, korkeakoulujen, yliopistojen ja yritysten yhteinen uuteen ja tulevaisuuden teknologioihin keskittyvä koulutus- ja kehittämiskeskus. Yhtiö on perustettu vuonna 2005 ja henkilöstön määrä vaihtelee 15 – 20 henkilön välillä.

Koneteknologiakeskus auttaa yrityksiä kehittämään tuotteidensa valmistettavuutta ja ottamaan käyttöönsä uusia tehokkaampia tuotantomenetelmiä. Koneteknologiakeskus tarjoaa yrityksille laadunvarmistukseen akkreditoituja kalibrointipalveluja pituudenmittalaitteille omassa mittauslaboratoriossaan.

Oppilaitoksille ja tutkijoille Koneteknologiakeskus tarjoaa nykyaikaisen oppimis- ja kehittämisympäristön työelämälähtöiselle työharjoittelulle, ammatilliselle erikoistumiselle sekä ympäristön tutkimus- ja projektitöiden tekemiseksi.

Tutkijoille laaja osaamisverkosto tarjoaa erinomaiset puitteet eri toimijoiden väliselle yhteistyölle uusien tulevaisuuden tuotantoteknologioiden kehittämisessä ja testaamisessa.

Yhtiön pääomistajia ovat Turun Ammattikorkeakoulu Oy, Turun kaupunki, Turun Aikuis-koulutussäätiö ja Teknologiateollisuus ry. Lisäksi yhtiön osakkaina on lähes 80 alueella toimivaa yritystä joko suoraan tai Teknologiateollisuus ry:n kautta (www.koneteknologiakeskus.fi 2017).

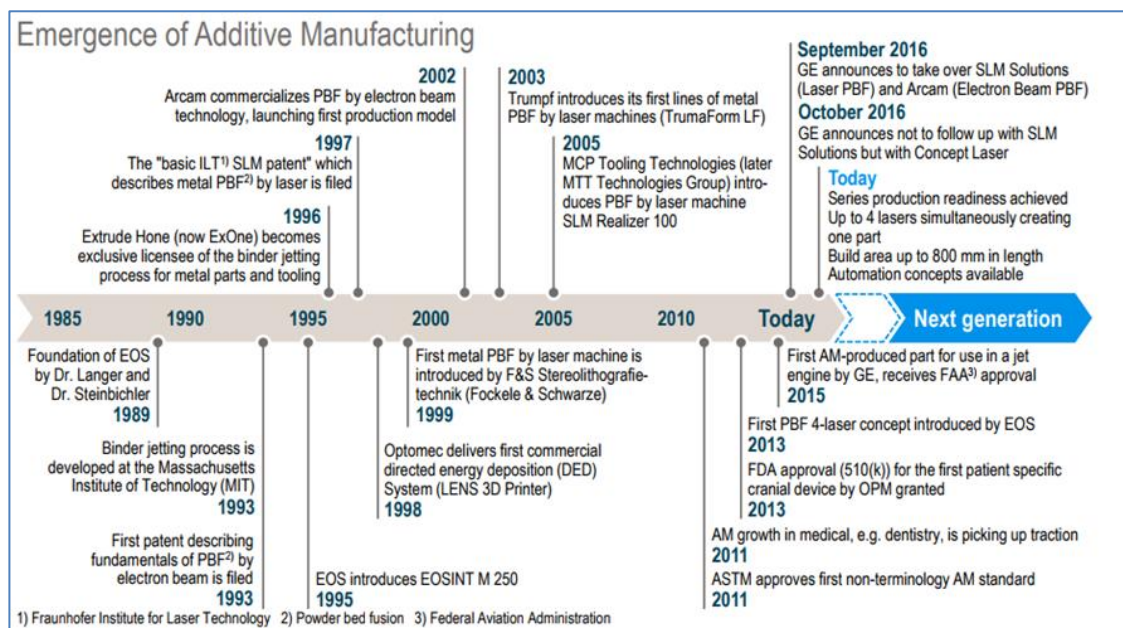


Kuva 1. Koneteknologiakeskus Turku Oy:n ulkokuva (KTK arkisto 2017)

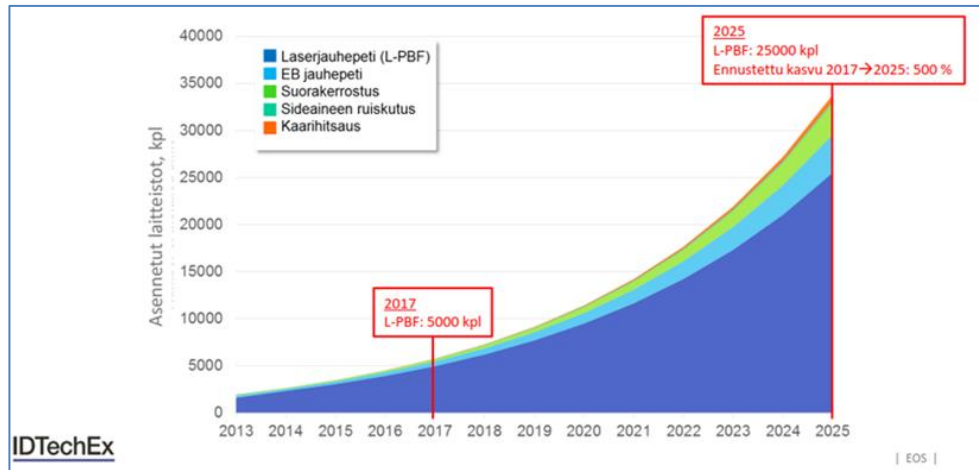
3 LISÄÄVÄ VALMISTUS YLEISESTI

3.1 Lisäävä valmistus maailmalla

Lisäävää valmistusta on aloitettu käyttämään teollisissa sovellutuksissa 1980-luvun alusta. Alun laitteistot olivat UV-kovetteisille muovimateriaaleille. Laitteistojen käyttö muovisille pursotettaville materiaaleille alkoi 1980-luvun lopussa. Metallisten jauhemateriaalien laitteistot lasersintrausprosessilla otettiin käyttöön 1990-luvun alussa. Ensimmäinen laserjauhepetisulatusprosessin laitteisto esiteltiin vuonna 1999. Yleisenä trendinä on noussut esiin tuotteiden yksittäis- ja sarjavalmistus prototyyppitöiden sijasta. Laitteistojen kehitys on mahdollistanut tehokkaan sarjavalmistuksen. Tehokkuutta on tuonut suuremmat työalueet, useamman laserin yhtäaikainen käyttö ja automaattinen kappaleiden käsittely (kuva 2). Nykyisin lisäävän valmistuksen teollisia laitteistoja on käytössä yli 5700 kpl, joista noin 5000 laitteistoa on jauhepetisulatusprosessiin perustuvia (kuva 3).

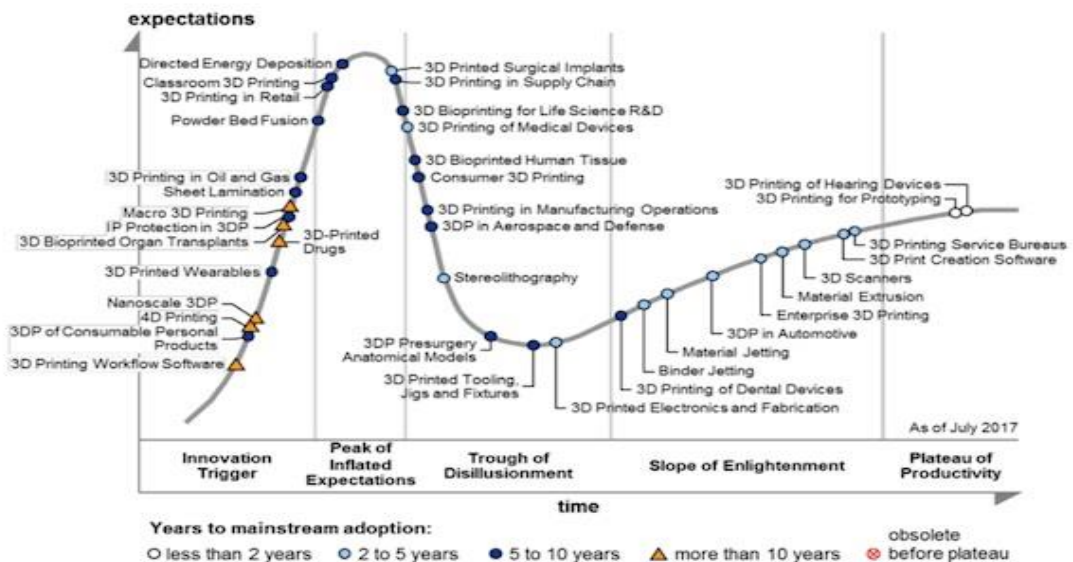


Kuva 2. Lisäävän valmistuksen synty (Roland Merger 2016)



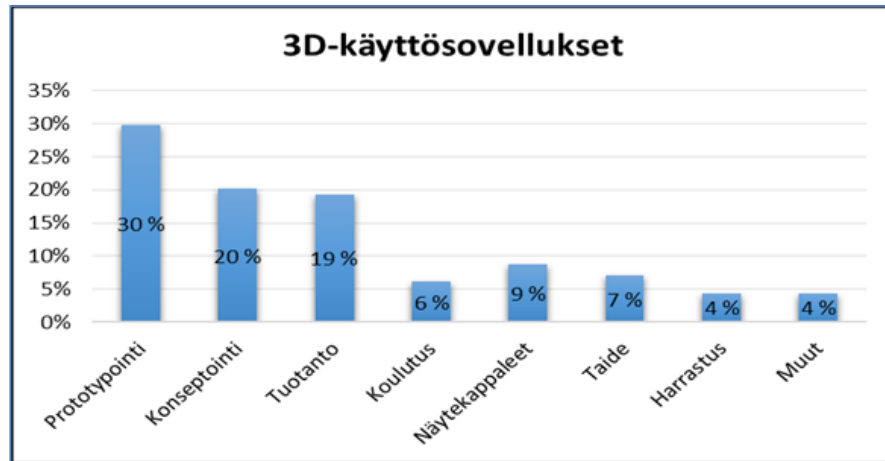
Kuva 3. Asennetut teolliset laitteistot maailmanlaajuisesti (Piili 2017)

Laitteistojen määrän ennustetaan kasvavan eksponentiaalisesti. Tulevaisuuden tehtaissa on yhdistettynä perinteiset valmistusmenetelmät (FMS, robotit ja vihvaunut) sekä lisäävän valmistuksen laitteistot tuotteiden sarjavalmistukseen (Piili 2017). Laserjauhepetisulatusprosessit ovat hallitsevassa asemassa, mutta EBM-jauhepetiprosesseihin ja suorakerrostusprosesseihin perustuvat laitteistot myöskin kasvavat (kuva 3).



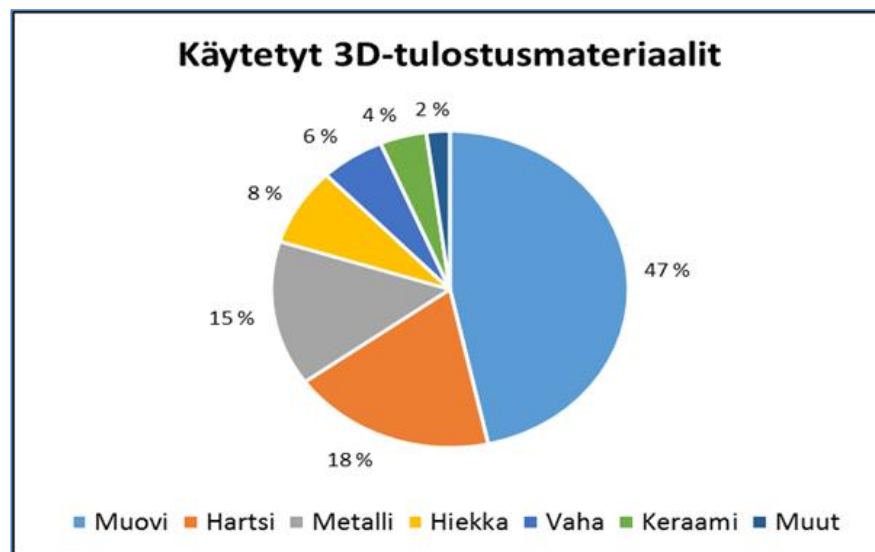
Kuva 4. Lisäävän valmistuksen hype käyrä (Gartner 2017)

Kuvasta 4 voi päätellä 3D-tulostusmenetelmien vakiinnuttavan paikkansa yksittäisinä menetelminä. Kuitenkin teollisen mittakaavan tehtaat rakennetaan vasta seuraavien viiden ja kymmenen vuoden välisenä aikana.



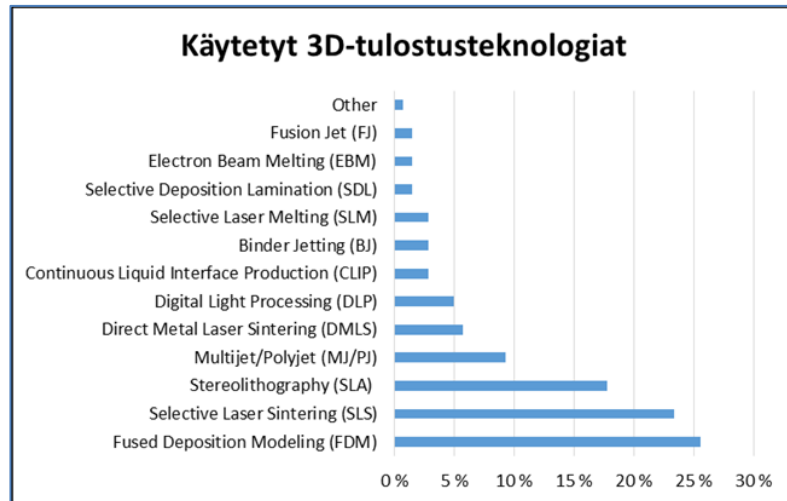
Kuva 5. 3D-tulostuksen käyttösovellukset maailmalla (Culpteo 2017)

Lisäävän valmistuksen käyttösovelluksia on eniten käytössä prototyyppi- ja konseptointi töissä. Tuotannon osuus tulee lähivuosina nousemaan, tietämyksen, sovellutuksien sekä käyttäjien määrän lisääntyessä (kuva 5).



Kuva 6. 3D-tulostusmateriaalit maailmalla (Culpteo 2017)

Kuvasta 6 on nähtävissä, että muovia käytetään maailmalla eniten 3D-tulostus materiaalina. Tämä johtuu laitteiden edullisuudesta ja muovi prosessin helppokäyttöisyydestä. Muovin jälkeen hartsia ja metallia käytetään seuraavina.



Kuva 7. Käytetyt 3D-tulostusteknologiat (Culpteo 2017)

Eniten käytetty 3D-prosessi on materiaalin pursotus, jota käytetään muoveille. Seuraavina tulevat jauhepetiprosessi polymeereille ja nesteen fotopolymerointi valokovettuvilla materiaaleilla. Ensimmäinen metallisille materiaaleille käytetty jauhepetiprosessi on viidentenä (kuva 7).

Lisäävässä valmistuksessa käytetään usein termejä ja lyhenteitä, mitkä eivät ole virallisia. Osa lyhenteistä on laitevalmistajien lisensoimia tuotemerkkejä. Laitevalmistajat tai tutkijat keksivät uuden prosessitermin markkinointia varten. Termeille on olemassa standardi ASTM F2792-12a (2012), jonka prosessisanasto ei ole vakiintunut käytäntöön. Termistöjen yhtenäistämiseksi on kansainvälisesti vielä paljon tehtävää.

Tutkittavina kohteina kasvavat materiaalin suihkutusta ja lisäaineen suihkutusta. Kun näihin prosesseihin yhdistetään jälkikäsittelyä sintrausta, saadaan paremmat lujuus- ja pinnanlaatu ominaisuudet. Nämä ovat prosesseina helpompia hallita, kuin esimerkiksi jauhepetisulatusprosessit (Salminen A. 12/2017).

Hitsausrobotilla lisäävän valmistuksen teknologioita voidaan käyttää useille materiaaleille. Metalleilla prosessi on verrattavissa perinteisiin hitsausmenetelmiin ja jotka ovat taloudellisesti edullisia. Muovisille materiaaleille voidaan roboteissa käyttää pursotusprosesseja. Laserteknologiaa voidaan käyttää kantokyvyltään suuremmilla roboteilla, koska laserlaitteet painavat n. 40 kg. Laserteknologian etuja ovat parempi lämmöntuonti, erikoismateriaalien laajuus, ohuemmat pintakerrokset sekä parempi muototarkkuus. Kehitettävää ja tutkittavaa on vielä robottien ohjelmoinnissa, prosessien parametrien määrittelyssä, riittävän hyvän pinnanlaadun ja muototarkkuuden saavuttamiseksi.

3.2 Lisäävä valmistus Suomessa

Suomen valmistava teollisuus on tyypillisesti keskittynyt suuriin piensarjatuotannon tuotteisiin, kuten hissit, paperikoneet ja laivat. Näiden tuotteiden yksittäiset osat ovat usein suuria. Suurille kappaleille ei ole vielä käyttökelpoisia laitteita Suomen valmistavan teollisuuden tuotteille. Metallien 3D-tulostuksen laiteinvestoinnit ovat kalliita. Vielä ei ole riittävästi tietämystä, jotta teknologiaa voisi soveltaa omassa tuotannossa ja tuotteissa. Hyvin toteutetuista lisäävällä valmistuksella tehdyistä tuotteista ei yrityksillä ole esimerkkejä. Tämän seurauksena tunnettavuus ei lisääntynyt. Viime vuosina 3D-tulostuksen laitteita ja 3D-tulostusta tarjoavia yrityksiä on tullut lisää. FIRPA ry:n listauksen mukaan Suomessa on noin 30 kpl yrityksiä ja noin 20 oppilaitosta, jotka käyttävät 3D-tulostimia. Listatut laitteet ovat pääsääntöisesti ammattilaitteita. Lisäävän valmistuksen laitteita on käytössä yli 110 kpl, joista suurin osa on polymeerien ja muiden materiaalien tulostukseen. Metallisten materiaalien tulostuksen laitteita on vain noin 10 kpl. Näistäkin lähes puolet on oppilaitoksissa. Halvempia laitteita, joita ei ole listattu on myös useita harrastelijakäytössä.

Suomessa suorakerrostus- ja kaarihitsausmenetelmät saavat varmasti merkittävän osuuden yksittäistuotannossa sekä erikoismateriaalien lisäävässä valmistuksessa. Valmistettavat kappaleet ovat suuria, jolloin paikallinen materiaalin lisääminen on kustannustehokasta.

Alan osaamista on niukasti, eikä koulutusta ei ole paljoa tarjolla. Lisäävän valmistuksen koulutusta järjestetään yksittäisinä kursseina yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa. Lopputöitä on lisäävästä valmistuksesta tehty muutamia. Yliopistoissa tehdään tutkimusta, mutta kohtuullisen pienillä resursseilla muun työn ohessa.

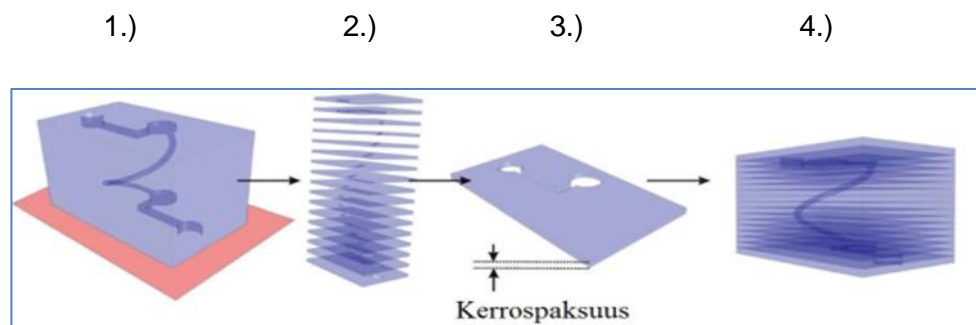
Suomessa on aloitettu suomenkielisen termistön vakiinnuttaminen FIRPA ry:n toimesta ja. Termistönä on käytetty Kati Lehtisen (2014) luomaa sanastoa hänen pro gradu -tutkielmastaan ”Materiaalia lisäävä valmistus vai 3D-tulostus. Muuttuva termistö” ja standardin SFS-EN ISO/ASTM 52900:2015 prosessisanastoa.

4 LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TEKNIIKAT

4.1 Lisäävän valmistuksen prosessit

Lisäävän valmistuksen periaate yleisesti (kuva 8).

- 1) Luodaan kappaleesta 3D-tietokonemalli.
- 2) Jaetaan kappale kerrospaksuutta vastaaviin kerroksiin.
- 3) Valmistetaan yksi kerros kerrallaan.
- 4) Saadaan valmistettua kerroksista koostuva valmis kappale



Kuva 8. Lisäävän valmistuksen periaate (Waldbur 2011)

Prosessit on luokiteltu seitsemään eri ryhmään standardin SFS-EN ISO/ASTM 52900:2017 “Additive manufacturing. General principles. Terminology (ISO/ASTM 52900:2015)” mukaisesti. Alla on käytetty Firpa ry nimeämiä suomenkielisiä vastineita.

Sideaineen suihkutetus (Binder Jetting)

Suorakerrostus (Directed Energy Deposition)

Pursotus (Material Extrusion)

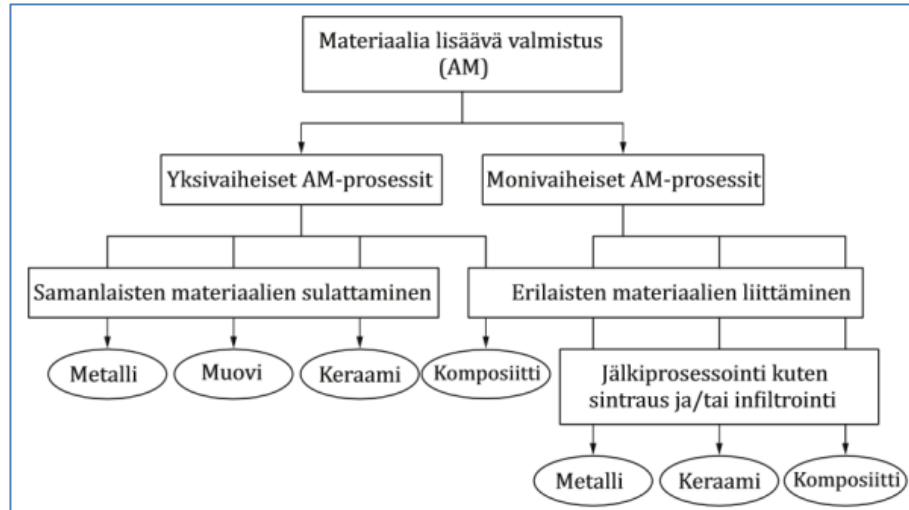
Materiaalin suihkutetus (Material Jetting)

Jauhepetisulatus (Powder Bed Fusion)

Kerros laminointi (Sheet Lamination)

Valokovetus altaassa (Vat Photopolymerization)

Edellisen lisäksi Suomen standardisoimisliitto SFS jaottelee standardissaan prosessit myös yksivaiheisiin ja monivaiheisiin prosesseihin. Perusteena käytetään lopullisen tuotteen valmistumista yhdessä prosessivaiheessa vai useammassa vaiheessa (kuva 9).



Kuva 9. Yksi- ja monivaiheiset AM-valmistusprosessit (SFS-EN ISO/ASTM52900:2017)

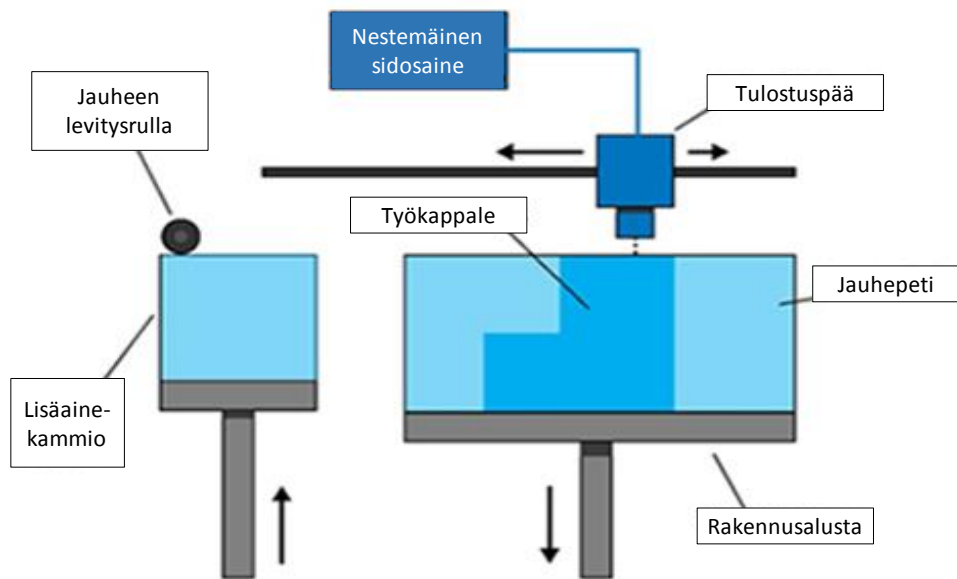
Taulukko 1. 3D-menetelmien 2-ulotteinen jaottelu (Gibson 2010)

	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)			

Raaka-aineen olomuotoon perustuva 3D-menetelmien luokittelutapa (taulukko 1.) (Gibson ym. 2010) mukaisesti. Raaka-aineen olomuoto voi olla nestemäinen polymeeri, erillinen partikkeli (jauhe), sula materiaali, kiinteä levy.

4.1.1 Sideaineen suihkutus (Binder Jetting)

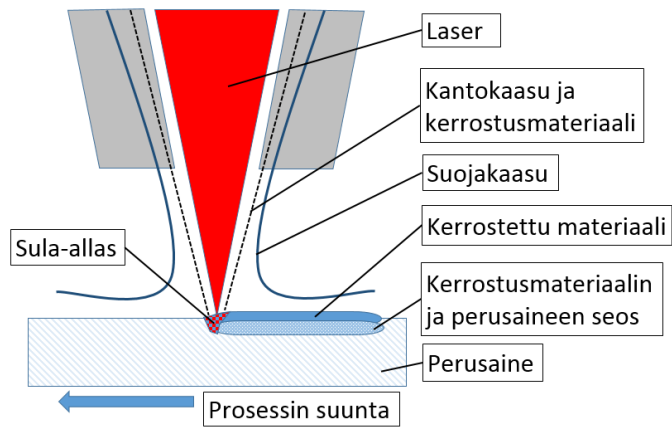
Sideaineen suihkutuksessa nestemäistä sidosainetta suihkutetaan tulostuspään läpi ohuelti levitettyyn jauhemateriaalikerrokseen liittämään aineet yhteen. Uuden jauheen levitys tapahtuu rullalla tai kaapimella. Jauhekerroksen levityksen jälkeen suihkutetaan sideaine. Tämän jälkeen rakennusalusta liikkuu alaspäin, vastaavasti uuden lisäaineen kammio nousee ylöspäin. Kaavin levittää uuden kerroksen jauhetta. Tätä toistetaan kerros kerrokselta siihen asti, kunnes haluttu kappale on valmis (kuva 10).



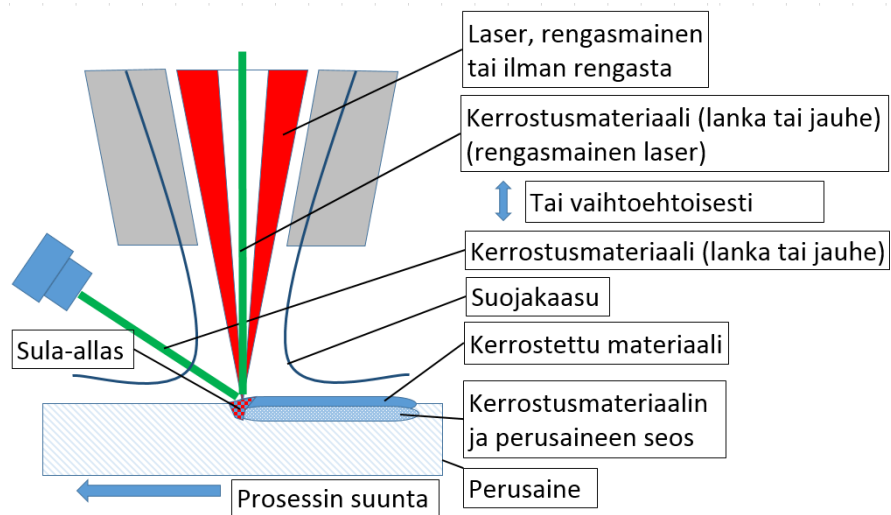
Kuva 10. Sideaineen suihkutus. Mukailten Loughborough University (2017)

4.1.2 Suorakerrostus (Directed Energy Deposition)

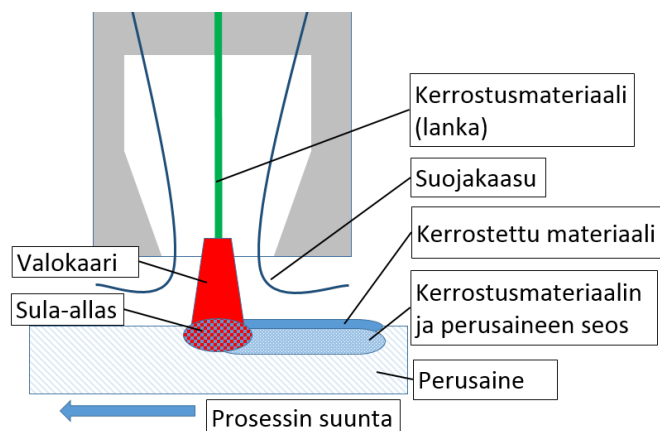
Suorakerrostuksessa kohdennettua lämpöenergiaa (esim. Laser, elektronisäde, plasma-kaari tai valokaari) käytetään sulattamaan materiaaleja. Materiaalina voidaan käyttää jauhetta tai lankaa. Lisättävää materiaalia lisätään kerros kerrokselta siihen asti, kunnes haluttu rakenne on saavutettu. Prosessin liikkeen toteuttamiseksi on useita eri vaihtoehtoja. Liike suoritetaan x-, y-, z-akselissa liikkuvalla pöydällä tai kerrostuspäällä. Liike voidaan toteuttaa myös työstökoneella tai robotilla. Prosessien periaatekuvaukset ovat kuvissa (kuva 11, kuva 12 ja kuva 13).



Kuva 11. Suorakerrostus. Mukailen Precitehc pinnoituspää (KTK 2017)



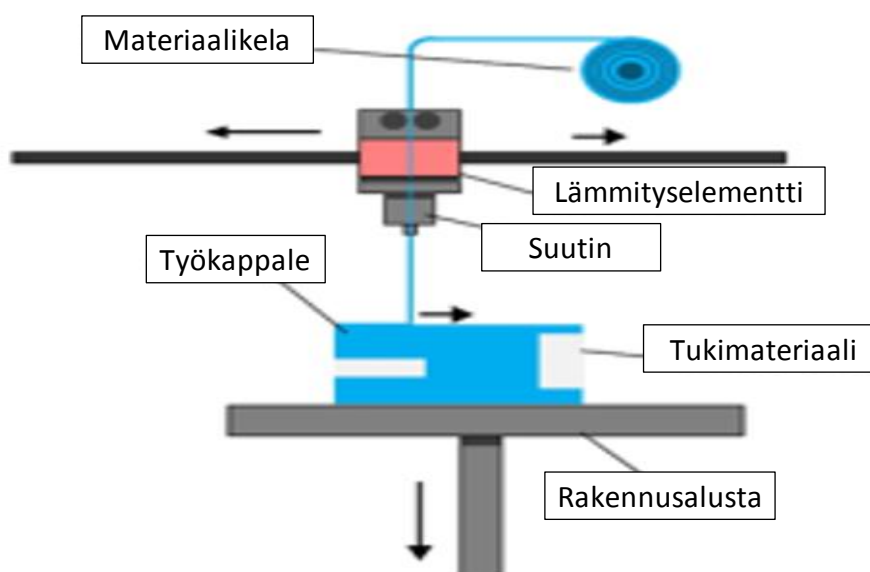
Kuva 12. Suorakerrostus. Mukailen Loughborough University (2017)



Kuva 13. Suorakerrostus. Mukailen Mazaki Wire Arc AM (2017)

4.1.3 Materiaalin pursotus (Material Extrusion)

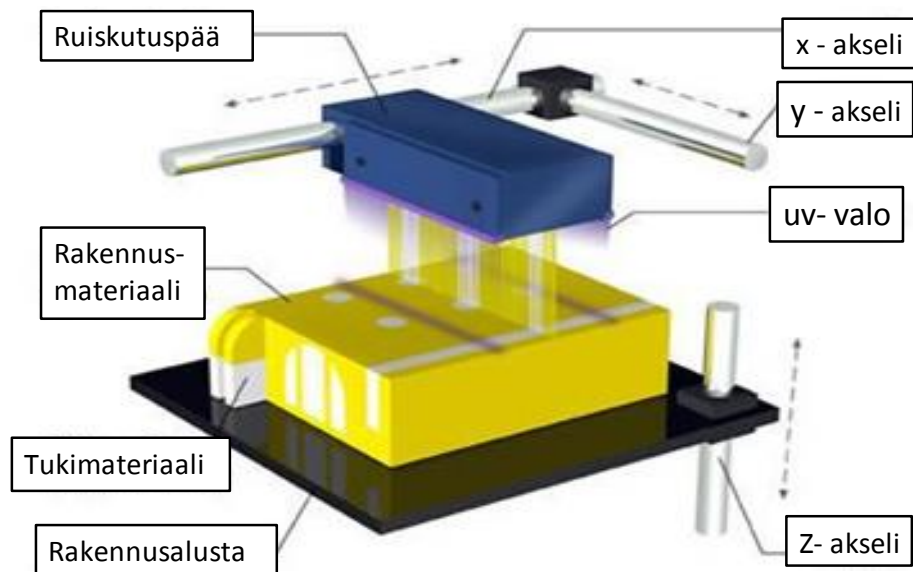
Materiaalin pursotuksessa materiaali saatetaan juoksevaan muotoon lämmittämällä. Juokseva materiaali annostellaan suuttimen tai aukon läpi. Suutinpäätä liikutellaan tasossa halutun muodon mukaisesti. Kun kerros on valmis, siirtyy rakennusalusta alaspäin ja kerrostus jatkuu kerros kerrokselta, kunnes haluttu muoto on saavutettu (kuva 14).



Kuva 14. Materiaalin pursotus. Mukailten Loughborough University (2017)

4.1.4 Materiaalin suihkutus (Material Jetting)

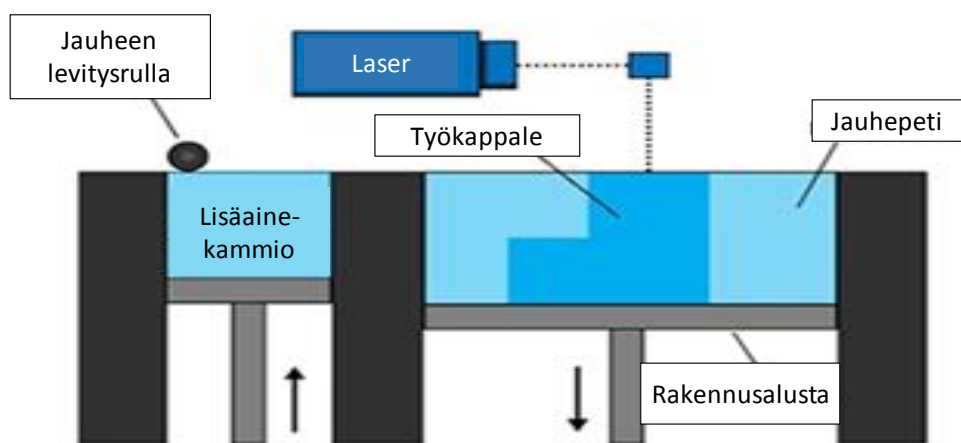
Materiaalin suihkutuksessa nestemäinen materiaali kerrostetaan suutinpään läpi pisaroina rakennusalustalle. Materiaali kovetetaan kerrosten välissä UV-valolla. Kovetuksen jälkeen suihkutetaan uusi kerros materiaalia ja kovetetaan. Periaate on sama kuin mustesuihkutulostimessa. Suuttimia voi olla useita tai eri materiaaleille omansa, jolloin tulostus nopeutuu. Kerrostusta jatketaan kunnes haluttu muoto on saavutettu. Tukimateriaalia tarvitaan kerrostaessa ”tyhjän päälle”, jotta muoto säilyy (kuva 15).



Kuva 15. Materiaalin suihkutusta. Mukailien Sratays PolyJet Process (2017)

4.1.5 Jauhepetisulatus (Powder Bed Fusion)

Jauhepetisulatuksessa jauhe levitetään jauhepedille kerroksittain joko rullalla tai kaapimella. Halutulle kappaleen muodolle kohdennetaan lämpöenergiaa, joka sulattaa jauhepartikkeleita. Kerrosten välissä lisätään jauhetta ja sulatetaan taas jauhepartikkelit halutulle muodolle. Rakennusalustaa lasketaan kerros kerrokselta, kunnes haluttu muoto on saavutettu (kuva 16).



Kuva 16. Jauhepetisulatus. Mukailien Loughborough University (2017)

Jauhekerrosten sulattamiseen käytetään erilaisia teknologioita, kuten Selective Laser Sintering, Direct Metal Laser Sintering, Selective Laser Melting, Electron Beam Melting, Selective Heat Sintering.

Selective Laser Sintering (SLS = kauppanimi). SLS-prosessin voisi määritellä sakeuttamisprosessiksi. Jauhepartikkelit sulavat tai sulavat selektiivisesti pinnalta kerroksittain jauhekerroksessa. Jauhepartikkelien pintojen sulaessa ne liittyvät toisiinsa. Sulatettavan jauhekerrosten lämpötila pidetään muutaman asteen jauheen sulamislämpötilan alapuolella. Kerrosten välillä on usein jäähtymisjakso, joka hidastaa prosessia. Suojakaasuna käytetään typpeä.

Direct Metal Laser Sintering (DMLS = kauppanimi). Menetelmä on sama kuin (SLS), mutta metallijauheille

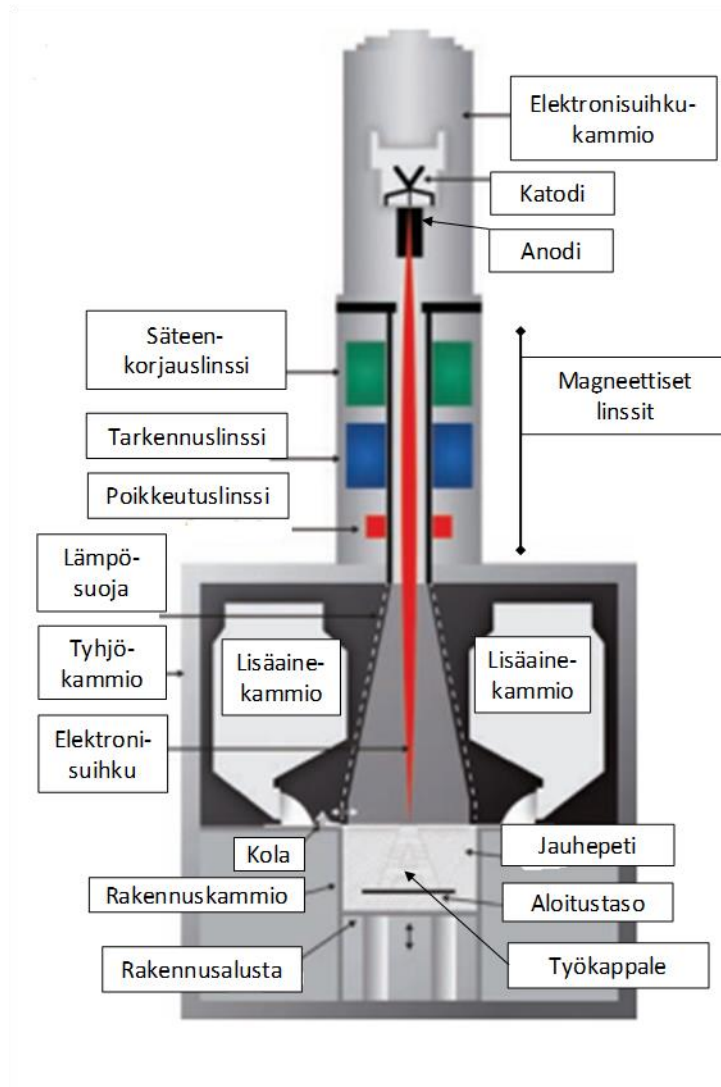
Selective Laser Melting (SLM = kauppanimi). SLM on SLS-prosessista kehittyneempi prosessi, jossa jauhepartikkelit sulavat täydellisesti jauhekerroksessa. Sulatettavan jauheen lämpötila ylittää jauheen sulamispisteen. Suojakaasuna käytetään reagoimatonta kaasua (inerttikaasu). Kerrosten välistä lämpötilaa ei useinkaan valvota, eikä jäähtymisjaksoa useinkaan ole, vaan metallijauhe sulaa useita kertoja. Nopeampi kuin (SLS) menetelmä.

Keskusteluja ja sekaannuksiakin aiheuttavat usein lisäävässä valmistuksessa käsitteet Selective Laser Sintering (SLS) ja Selective Laser Melting (SLM).

Lisäävässä valmistuksessa sintraus on prosessi, jossa yksittäisen jauhepartikkelin pintakerroksen lämpötila menee lähelle sulamislämpötilaa. Sisältä jauhepartikkelin lämpötila pysyy alle sulamislämpötilan. Tässä ”tahmaisessa” tilassa jauhepartikkelit liittyvät toisiinsa. Toinen mahdollisuus on käyttää jauhepartikkelin rinnalla sideainetta. Sideaineen sulamislämpötila ylittyy, mutta jauhepartikkelin lämpötila jää sulamislämpötilan alle. Sideaine sitoo jauhepartikkelit toisiinsa. Sintrauksessa kappale yleensä kutistuu, kun jauhepartikkelien väliset tilat tiivistyvät (Piironen, Pekkarinen, Salminen, 2017).

Electron beam melting (EBM)

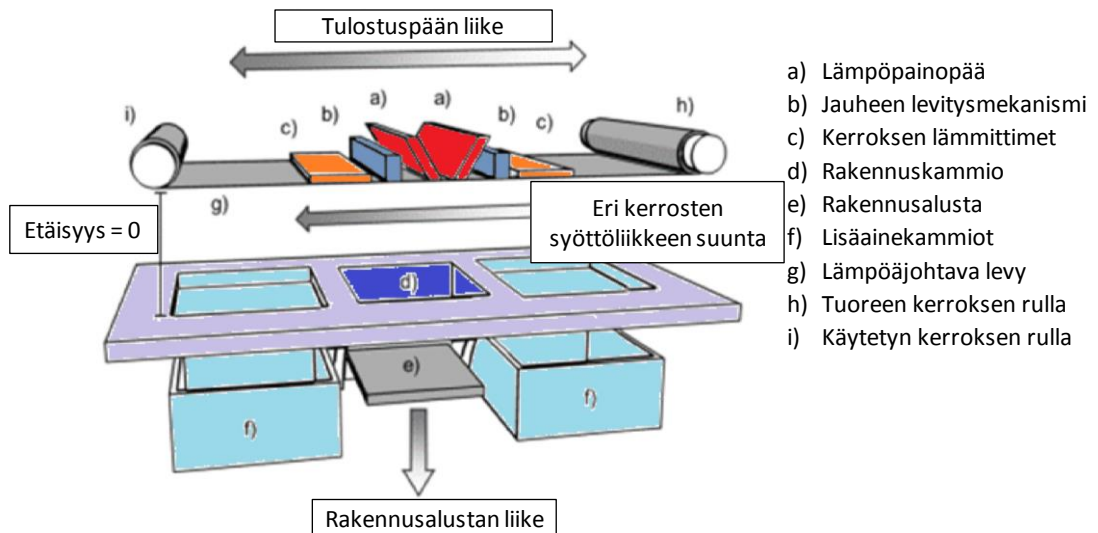
Jauhepetisulatus prosessi, jossa rakennusalustaa lasketaan kerros kerrokselta. Toimintaperiaate samanlainen kuin Selective laser melting (SLM) menetelmässä. Jauhe levitetään kaapimella. Halutulle kappaleen muodolle kohdennetaan elektronisuihku, joka sulattaa lisättyjä jauhekerroksia. Laseriin verrattuna saadaan suurempi teho kohdistettua joko yhteen kohtaan tai suuremmalle alueelle kerralla. Sulatettavan jauheen lämpötila ylittää jauheen sulamispisteen. Kerrosten välistä lämpötilaa ei useinkaan valvota, eikä jäähtymisjaksoa useinkaan ole, vaan metallijauhe sulaa useita kertoja. Menetelmä vaatii vakuumin kammiota, jossa käytetään korkeita lämpötiloja (kuva 17).



Kuva 17. Electron beam melting. Mukailen Arcam EBM (2017)

Selective heat sintering (SHS)

Selective heat sintering prosessissa lämpöpainopää sulattaa kerrostetun jauheen. Prosessi on jauhepetiprosessi, jossa kerroksia lisätään kerros kerrokselta. Lämpöpainopään käyttö laserin sijaan vähentää merkittävästi lämpö- ja tehotasoja. Prosessia käytetään prototyyppien tekemisessä ja vähemmän rakenteellisille komponenteille (kuva 18).



Kuva 18. Selective heat sintering. Mukailten University of Nottingham (2017)

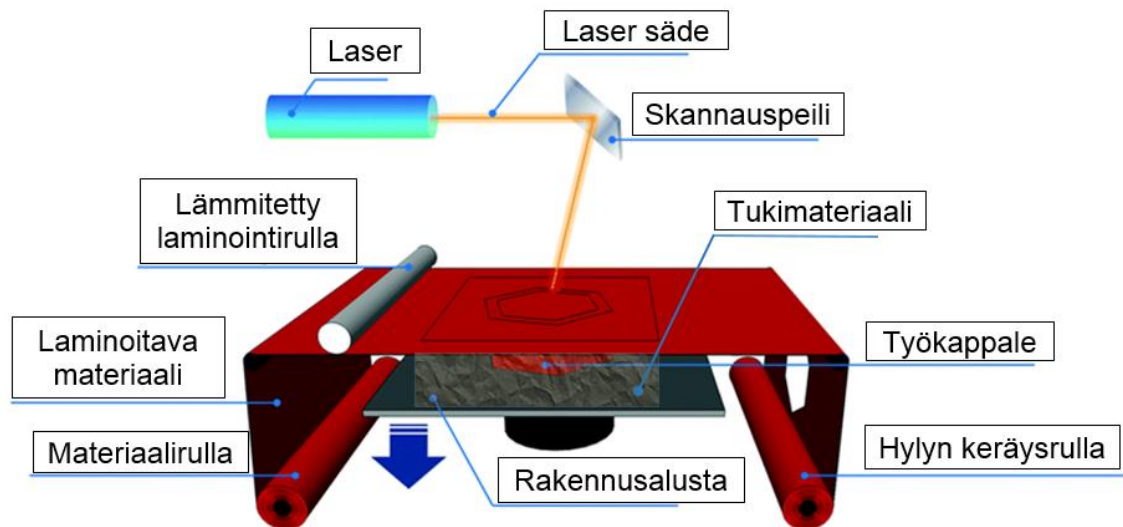
4.1.6 Kerroslaminointi (Sheet Lamination)

Laminointiprosesseja on kahdenlaisia. Laminated object manufacturing (LOM) ja Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM).

Laminated object manufacturing (LOM)

Prosessissa materiaalilevyt sidotaan toisiinsa muodostamaan valmistettava osa. Ohuita materiaaleja liimataan kerroksittain toisiinsa. Jokainen kerros leikataan laserilla tai NC-ohjatusti leikkuuterällä haluttuun valmistettavan kappaleen muotoon. Osa ylimääräisestä arkkimateriaalista leikataan usein tukimateriaaliksi, varmistaen valmistettavan kappaleen muodossa pysymisen. Ylimääräinen arkkimateriaali leikataan myös osiin, valmistettavan kappaleen irrottamiseksi. Tämän jälkeen rakennusalusta laskeutuu

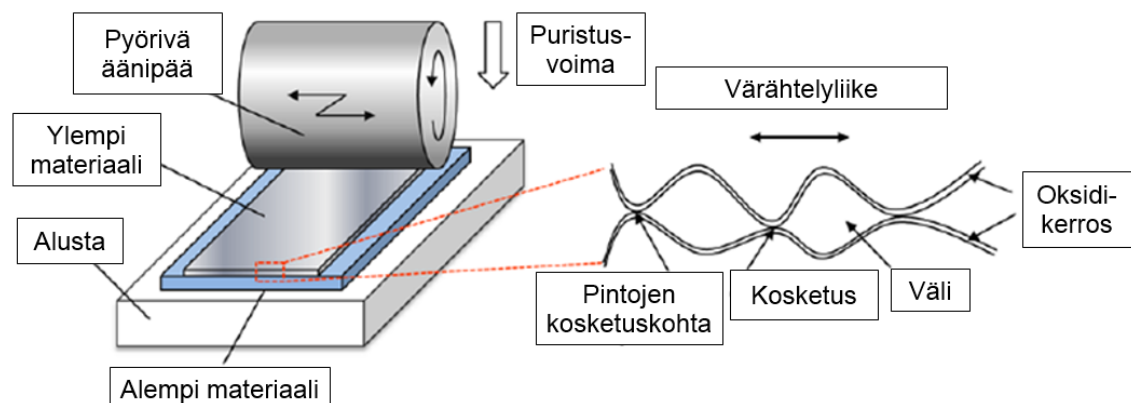
ja uusi kerros liimataan edellisten päälle. Laminaattisia esineitä käytetään usein visuaalisiin malleihin, eivätkä ne sovi rakenteelliseen käyttöön (kuva 19).



Kuva 19. Laminated object manufacturing. Mukailten Royal Society of Chem. (2016)

Ultrasonic Additive Manufacturing (UAM)

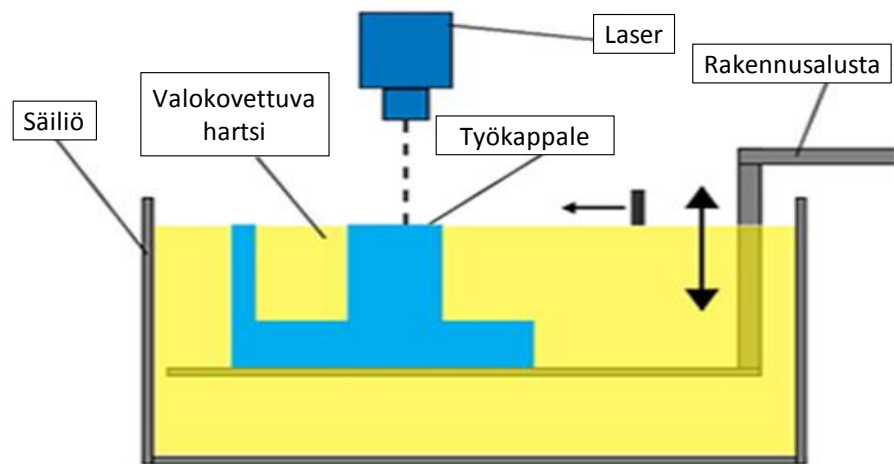
Ultraääni lisäävä valmistus prosessi käyttää arkkeja tai nauhoja, jotka hitsataan yhteen ultraäänihitsauksella. Prosessi vaatii CNC-työstöä ja hitsaamattoman materiaalin poistamista usein hitsausprosessin aikana. Materiaaleina käytetään metalleja, paperia, polymeerejä hybridimetalleja. Prosessilla on alhainen lämpötila, joka mahdollistaa sisäisten geometrioiden luomisen. Vaatii suhteellisen vähän energiaa, koska materiaalit eivät sulaa (kuva 20).



Kuva 20. Ultrasonic additive manufacturing. Mukailten Loughborough University (2014)

4.1.7 Nesteen fotopolymerisointi (VAT Photopolymerization)

Nestemäistä valokovettuvaa hartsia kovetetaan ultraviolettivalolla, näkyvällä valolla tai lasersäteellä kohdistetusti altaassa haluttuun kohtaan eli rakennettavan aihion alueelle. Valoa voidaan kohdistaa liikuttamalla valosädettä valotettavan alueen yli tai projisoimalla valo halutulle alueelle yhtä aikaa. Kun kerros on saatu valotettu, lasketaan työalustaa alaspäin uutta kovettettavaa kerrosta varten, kuten kuvassa alla. Valo voidaan tuoda myös alakautta, jolloin työalustan liike on päinvastainen (kuva 21).

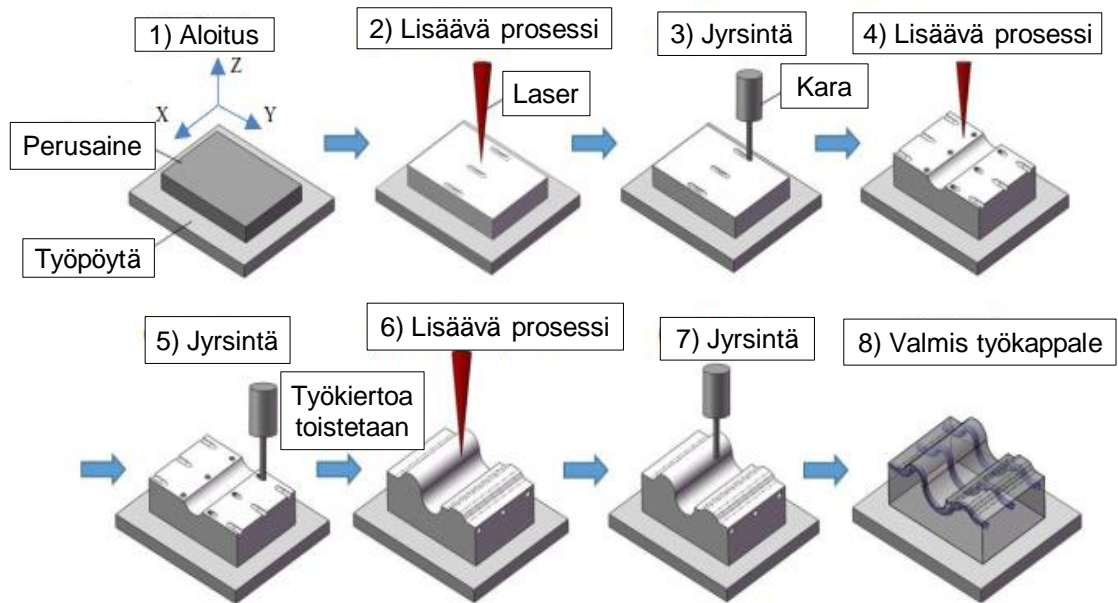


Kuva 21. Nesteen fotopolymerisointi. Mukailten Loughborough University (2017)

4.2 Hybridi 3D-valmistus

Hybridivalmistuksessa on yhdistetty ainetta lisäävä valmistus ja ainetta poistava valmistus. Yleensä käytetään suorakerrostusmenetelmää (Directed Energy Deposition, DED), joka tehdään metallijauheella tai metallilangalla. Valmistajilla on menetelmästä käytössä erilaisia nimityksiä, kuten Laser-Engineered Net Shaping (LENS), valmistaja Optomec tai Direct Metal Deposition (DMD) valmistaja DM3D. Menetelmä on esitelty kaupallisesti vuonna 2013 (Wohlers report 2017). Useimmilla työstökonevalmistajilla on tuotevali-

koimissa sorvi, jyrsinkone tai työstökeskus, joissa on lisäävän valmistuksen ominaisuudet. Alla periaatekuva (kuva 22) toimintaprosessista sekä (kuva 23) kuvat DMG-MORI:n prosessista.



Kuva 22. Hybridi 3D-valmistus. Mukailten Procedia Manufacturing (2016)



Kuva 23. DMGMORI Lasertec 65 3D-Hybrid (2017)

5 LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN PROSESSIEN KÄYTTÖTARKOITUKSIEN VERTAILUT JA SOVELTUVUUDET

5.1 Lisäävän valmistuksen prosessien vertailu (SWOT) perinteiseen valmistukseen

Taulukko 2. Lisäävän valmistuksen SWOT (Al-Makky M. ym. 2016)

VAHVUUDET (STRENGTHS)	HEIKKOUEDET (WEAKNESSES)
<ul style="list-style-type: none"> • Mahdollistaa monimutkaisten muotojen valmistamisen. • Valmistus ei tarvitse erikoistyökaluja. • Kappaletta ei tarvitse suunnitella perinteisen valmistuksen ehdoilla (Manufacture for Design). • Kevyiden ja vahvojen rakenteiden valmistus on mahdollista. • Erikoismateriaalien käyttö on mahdollista. • Koneistusajat vähenevät. • Läpimenoajat lyhenevät. • Varastot pienenevät. • Kuljetuskustannukset vähenevät. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pinnanlaatu kohtuullisen karkea, vaatii usein jälkikäsittelyn. • Räätelöidyt tuotteet eivät sovellu massatuotantoon. • Metalliset materiaalit ovat vielä kalliita. • Ei standardoituja materiaaleja. • Eri koneilla on erilaiset prosessit, joten prosessit testattava uudelleen • Prosessin valvonta. • Koulutuksen puute suunnittelusta, prosesseista ja standardeista. • Asiakkaiden on hyväksyttävä prosessit.
MAHDOLLISUUDET (OPPORTUNITIES)	UHAT (THREATS)
<ul style="list-style-type: none"> • Käytön lisääntyminen kaupallisissa tuotteissa. • Materiaalikehitys (erikoislujat materiaalit, pinnanlaadun kehitys) • Elektroniikan yhdistäminen tulostuksiin. • Ihmisten ”varaosien valmistus” • Hybridivalmistuksen kehittyminen. • Varaosien valmistus ”paikan päällä” 	<ul style="list-style-type: none"> • Prosessin valmistusenaikaisen valvonnan varmistaminen • Virheiden korjaaminen prosessin aikana. • Optisten antureiden kalibroinnit • Geometrioiden hallinta (jäähdytysnopeudet, jäännösjännitykset) • Nopea kehitys -> pysyvätkö suunnitteluperiaatteet, valmistusohjeet ja standardit ajan tasalla. • Immateriaalioikeudet

Taulukosta 2 voi vahvuuksina nostaa esille monimutkaisten kappaleiden valmistamisen, joita ei muuten voisi tehdä. Valmistus ei tarvitse erityistyökaluja ja työvaiheista jää pois esimerkiksi valaminen, hitsaus ym. Koneistusajat pienevät, kun työvarat ovat pienemmät. Valmistuskustannukset pienenevät ja läpimenoajat lyhenevät. Varastot pienenevät, kun valmistuksen voi tehdä tuotteet tarpeen mukaan. Kuljetuskustannukset vähenevät paikallisvalmistuksen johdosta.

Heikkoutena on kohtuullisen huono pinnanlaatu metallisilla prosesseilla. Sarjatuotteet ovat usein vielä perinteisillä menetelmillä edullisempia. Metalliset materiaalit ovat kalliita eikä niitä ole standardoitu. Eri lisäävän valmistuksen prosesseilla valmistetuilla tuotteilla menetelmät ja laitteet ovat testattava sekä asiakashyväksyttävä. Tietämys lisäävästä valmistuksesta on vielä puutteellista ja mahdollisuuksia ei täysin ymmärretä.

Mahdollisuudet kasvavat, kun prosessin tunnettavuus lisääntyy ja ymmärretään käyttömahdollisuudet. Prosessien kehittyessä käyttömahdollisuudet lisääntyvät esim. elektroniikka tuotteissa, jolloin laitteisiin on tulostettuna esimerkiksi sähköpiirit. Lääketieteen osalla ”ihmisten varaosat” eli erilaiset implantit ja tekonivelet on mahdollista valmistaa lisäävällä valmistuksella. Konehuolloissa laitteiden varaosat valmistetaan paikan päällä, ilman toimitusaika ongelmia.

Uhkina on prosessin hallinnan kehittyminen ja virheiden korjaaminen prosessin aikana. Laitteiden kehittyessä tulee varmistaa laadunvalvonta ja laitteistojen kalibroinnit.

Mitä vaikuttavat nopean kehityksen tuomat vaatimukset lainsäädäntöön ja immateriaali-oikeuksiin? Pysyvätkö suunnittelu- ja valmistusohjeet ajan tasalla? Miten standardisointi pysyy kehityksessä mukana?

5.2 Lisäävän valmistuksen prosessien vertailu ja soveltuvuus eri käyttökohteille

Vaativimpia prosesseja hallita ovat suorakerrostustekniikat ja hybridivalmistus, jotka soveltuvat metallisille materiaaleille. Niiden käyttäminen vaatii hyvää ammattitaitoa, koska parametrien hallinta sekä laitteistojen käyttämien ei aloittelijoilta onnistu.

Jauhepetisulatusprosessit ovat koulutuksella helposti omaksuttavissa ja laitteistojen käyttö ei vaadi suurta ammattitaitoa. Hyvän puoleena mainittakoon useimpien materiaali- vaihtoehtojen olevan käytettävissä.

Sideaineen suihkutetus, materiaalin pursotus ja materiaalin suihkutetus prosessit ovat pienellä koulutuksella kohtuullisen helposti omaksuttavissa. Laitteistojen käyttö ei ole vaikeaa ja lähes kaikki materiaalivaihtoehdot ovat käytettävissä. Tarkemmat tiedot (liite 1).

5.3 Lisäävän valmistuksen prosessien kustannusten vertailut

Liitteenä 2 olevassa vertailutaulukosta voidaan päätellä lisäävän valmistuksen suuntaa antavat käyttökulut eri prosesseilla. Laitteistoissa on yksilöllisiä eroja, joten tarkka vertailu olisi tehtävä todellisten tarjousten perusteella laitteiston hankintaa suunniteltaessa. Vertailu on tehty eri laitetoimittajien keskimääräisten ilmoitusten perusteella sekä FIRPA ry (2016) tietojen perusteella. Materiaalihinnat perustuvat eri toimittajien tarjouksiin. Pääomakulut on laskettu kuuden vuoden poistoajalla ja 4 %:n korolla. Yleiskuluarviona on käytetty omaa kymmenien vuosien kokemukseräistä tietämystä konepajahinnoittelusta. Taulukossa on laskettu yhden tunnin käytön tuntihintakustannus €/h, sekä myös kuinka paljon cm³ voi tunnin aikana lisäävällä valmistuksella rakentaa. Taulukosta voidaan päätellä pääomakulujen ollessa kalliimmilla laitteilla tuntia kohti korkeammat. Vastaavasti rakennusnopeus on suurempi, jolloin kustannukset tuntia kohti tuotetulle cm³ on halvempi. Tämä johtuu useamman säteen ja suihkutuspään käyttämisestä, suurempien liikenopeuksien sekä tehokkaammista ohjausjärjestelmistä.

On arvioitu tulostuksenaikaista tehokkuutta laitteiston ensimmäisen käyttötunnin aikana. Tunnin jälkeen ei henkilöpalkkoja välttämättä tarvitse ottaa huomioon, koska laitteisto toimii itsenäisesti. Tällöin tuntikustannus laskee 33 €/h, jolloin hinta tuotetulle kuutiosenttimetrille pienenee. Tätä ei ole erikseen taulukossa arvioitu.

Suojakaasunkulutus laitteistoilla, joissa ei ole integroitua suojakaasun kehitysgeneraattoria on kustannuksiltaan merkittävä. Tämä on huomioitava laitteiston valintaa suunniteltaessa.

Taulukossa ei myöskään oteta kantaa eri lisäävän valmistuksen prosessien sopivuuteen eri tuotteiden valmistuksessa.

Valmistelu- ja jälkikäsitteilykustannuksia sekä asetus- ja läpimenoaikoja on arvioitua koko valmistusketjun kannalta asteikolla yhdestä kymmeneen (1 = Helppo, 10 = Vaikea). Valokovetus altaassa ja hybridikoneet paremmuus tuli selkeästi esille.

6 LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN AIEMMAT SELVITYKSET

Opinnäytetyössä on käyty läpi 5 kpl Suomessa tehtyjä opinnäytetöitä. Valintakriteereinä olivat esimerkiksi lopputyö suomessa tehty ja lopputyö käsitteli lisäävää valmistusta. Rajauksena oli, että metallisten materiaalien oli oltava mukana yhtenä lisäävän valmistuksen materiaalina. Työt löydettiin www.theseus.fi sivulta, google hakuina tai Professori Antti Salmisen neuvosta.

Arvioitavia opinnäytetöinä oli yliopistoista 1 kpl DI lopputyö ja 1 kpl kandidaattityö, sekä ammattikorkeakouluista 3 kpl.

Markku Lindqvistin (2016) ”Lisäävän valmistuksen tarpeen kartoitus Kaakkois-Suomessa” opinnäytetyössä pohdittiin lisäävän valmistuksen mahdollisuuksia esim. koneenosien piensarjavalmistuksessa sekä monimutkaisissa yksittäiskappaleissa. Todettiin mahdollisuuksia olevan paljon, joihin Suomen teollisuudenkin pitäisi tarttua kilpailukyvyyn kasvattamiseksi. Työssä tutkittiin selvityksessä mukana olleiden yritysten ja oppilaitosten käytössä olevia lisäävän valmistuksen tekniikoita. Näitä olivat jauhepetiteknikka, materiaalin pursotusmenetelmät, allasvalopolymerisaatio ja materiaalin suihkutetus. Samalla suoritettiin kartoituskysely lisäävästä valmistuksesta Kaakkois-Suomen yrityksille sen hetkisen tarpeen ja tietämyksen kartoittamiseksi. Yhtenä kyselyn tuloksista oli, etteivät yritykset nähneet vielä lisäävää valmistusta oman toimintansa kannalta oleellisena.

Jarmo Hanhelan (2015) ”Materiaalia lisäävän valmistuksen käyttö Pirkanmaalaisissa yrityksissä” opinnäytetyön tarkoitus selvittää materiaalia lisäävän valmistuksen käyttö Pirkanmaalaisissa yrityksissä koulutuksen suunnittelun tueksi. Kyselyjen tuloksena yrityksillä oli kiinnostusta lisäävään valmistukseen ja osa oli käyttänytkin näköismallitöissä ja prototyyppitöissä. Lisää tietoa ja koulutusta haluttiin yleisesti suunnittelusta laitteiston käyttöön ja valintaan.

Karoliina Korpimaan (2014) ”3D-tulostustekniikan hyödyntäminen jalkinemuotoilussa” opinnäytetyön tavoitteena oli laatia kattava kartoitus Hämeen ammattikorkeakoulun muotoilun koulutusohjelman jalkineen pääaineelle sekä nykyisille ja tuleville jalkinemuotoilijoille 3D-tulostustekniikan onnistuneesta hyödyntämisestä kansainvälisesti. Kenkävalmistuksessa käytetään muoveja ja eri metalleja riippuen käyttökohteesta jalkineissa. Erikoisimpina materiaaleina olivat biohajoavat muovit, TPU:ta eli termoplastinen polyure-

taani ja protosoluja, jotka ovat laboratoriossa valmistettavia molekyyliä. Työssä pohdittiin myös 3D-tiedostojen tekijänoikeuksia ja piratismia lakien puutteellisuuden näkökulmasta, todeten eivät lait ole vielä kehittyneet vaadittavalle tasolle.

Juha Koljosen (2015) ”Robottikäsivarren rakentaminen materiaalia lisäävää valmistusta hyödyntäen” opinnäytetyössä vertailtiin metallikappaleiden ja muovikappaleiden valmistuksen soveltuvuutta osien valmistuksessa. Metalleille sopivien lisäävän valmistuksen laitteiden käyttökustannukset todettiin korkeiksi, vastaavasti muovikappaleilla lisäävä valmistus on edullisempaa. Robottikäsivarren valmistamisessa käytettävään pursotusmenetelmään perehdyttiin syvemmin. Huomiona oli lisäävän valmistuksen laitteiston mekaanisten liikkeiden tarkkuuden ja pursotinlaitteiston materiaalin syötön kalibroinnin tarkkuuden vaikutukset mekaaniseen kokoonpanoon. Todettiin pursotusmenetelmällä valmistettujen robottikäsivarren komponenttien toimivan hyvin verrattuna perinteisiin menetelmiin ja harvan osan korvaaminen olisi ollut hyödyllistä robottikäsivarren toimivuuden kannalta. Valmistettavien osien laatuvaatimusten kasvaessa, kasvaa myös valmistuslaitteen hinta.

Pekka Mansikka-ahon (2014) ”Materiaalia lisäävä valmistus” opinnäytetyössä esiteltiin ja vertailtiin materiaalia lisäävän valmistuksen menetelmiä ja koneita, sekä perehdyttiin eri sovelluskohteisiin. Kerrottiin valmistuksen työketjusta, pohjana on 3D-mallinnusohjelmalla tehty CAD-tiedosto, josta muokataan STL-tiedosto. Tätä tiedostoa lisäävä valmistuskone hyödyntää, valmistaa todellisen kappaleen. Kerrottiin materiaalia lisäävän valmistuksen pikamallinnus ja pikavalmistus käsitteistä. Pikavalmistamisessa tehdään prototyyppien sijasta valmiita kappaleita, esimerkiksi koneen osia. Todettiin lisäävässä valmistuksessa lisättävän materiaalia ja CNC-koneistuksessa poistettavan materiaalia. Materiaalia lisäävää valmistusta pohdittaessa hyötyinä mainittiin kappaleiden vaikeiden muotojen valmistus, massakustomointi, kappaleiden varastoinnin tarpeen väheneminen, kappaleiden optimoiminen painon vähentämiseksi sekä työvaiheiden väheneminen. Haittina suuri hankintahinta, koska osa koneista vaatii lähes laboratoriomaiset tilat puhtausvaatimuksineen. Koneet on sijoitettava tärinävapaaseen tilaan. Käytön osaamista vaatii koulutettua henkilöstöä. Toleroitujen reikien tekeminen ei ole vielä mahdollista lisäävän valmistuksen tekniikoilla ja käytön olevan vähäistä tietämyksen puutteesta. Pääteltiin konevalmistajien ja materiaalitoimittajien kilpailun kasvun johtavan kustannusten alenemiseen.

6.1 Kyselytutkimus ”Lisäävän valmistuksen (”3D-tulostus”) kehittäminen Varsinais-Suomessa”

Kysely suoritettiin kyselynetti.fi web-käyttöliittymän kautta. Kyselyyn valittiin yritykset ja oppilaitokset Koneteknologiakeskus Turku Oy:n asiakasrekisteristä.

Kyselyn tarkoituksena oli selvittää pääosin Varsinais-Suomen alueen lisäävän valmistuksen tämän hetkistä tietämystä ja tulevaisuuden mahdollisuuksista yritysten sekä oppilaitosten tarpeisiin. Kyselyt tehtiin erikseen yrityksille ja oppilaitoksille. Yrityksissä oli mukana valmistavan teollisuuden yrityksiä, konetoimittajia sekä työkaluvalmistajia. Oppilaitoksissa kyselyt lähetettiin ammatilliselle nuoris- ja aikuiskoulutukselle, korkeakouluille ja yliopistoille.

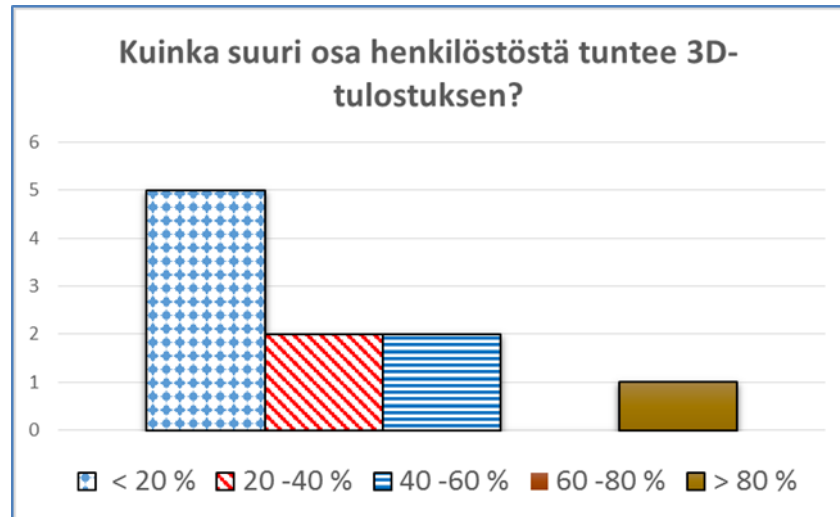
Selvityksen tarkoituksena oli kartoittaa mitä toimenpiteitä ja investointeja Koneteknologiakeskus Turku Oy:ssä olisi tehtävä, jotta voisimme tarjota yrityksille sekä oppilaitoksille tietoa lisäävän valmistuksen eri teknologioiden mahdollisuuksista. Samalla miten voisimme auttaa yrityksiä tuotteiden prototyyppien kehittämisessä ja testauksessa sekä oppilaitoksia, korkeakouluja ja yliopistoja opetuksen ja tutkimuksen kehittämisessä.

Osa yrityksistä ei antanut lupaa julkaista nimeään kyselytutkimuksessa, joten kaikkia tuloksia käsitellään anonymisti.

Kyselyjen vastauksien tarkempi koonti (liite 3).

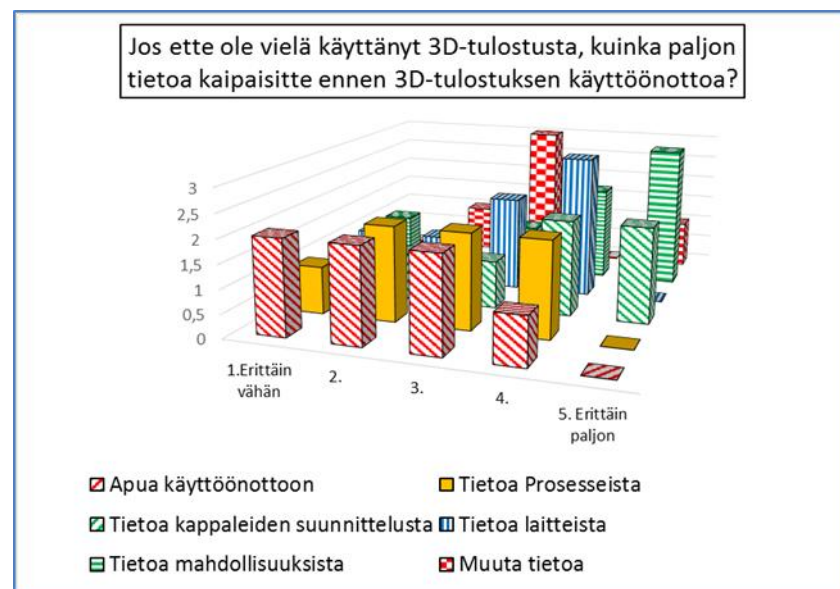
6.1.1 Kyselytutkimus yrityksille

Kysely (Liite 4) lähetettiin 65:lle henkilölle 54:ään yritykseen. Kohteena oli valmistavan teollisuuden tuotteita valmistavat, suunnittelevat yritykset. Valituilla yrityksillä oli ollut aikaisempaa yhteistyötä Koneteknologiakeskuksen kanssa. Vastauksia kyselyyn saatiin yrityksiltä 10 kpl. Alueellisesti vastauksia saatiin Vantaa - Laitila väliseltä alueelta. Vastajina oli pääsääntöisesti yrityksen johdosta tai kehittämisestä vastaavia henkilöitä.



Kuva 24. Yritysten henkilöstön 3D-tulostuksen tietämys

Henkilöstön tietämys oli suhteellisen vähäistä ja siitä johtuen käyttö ei ollut aktiivista. Mahdollisuuksia nähtiin varaosa-, mallikappale- ja piensarjavalmistuksessa. Liiketoiminnan kehittämiseen uusien tuotteiden kautta nähtiin myös mahdollisuutena (kuva 24).



Kuva 25. Yritysten 3D-tulostuksen tiedon tarve

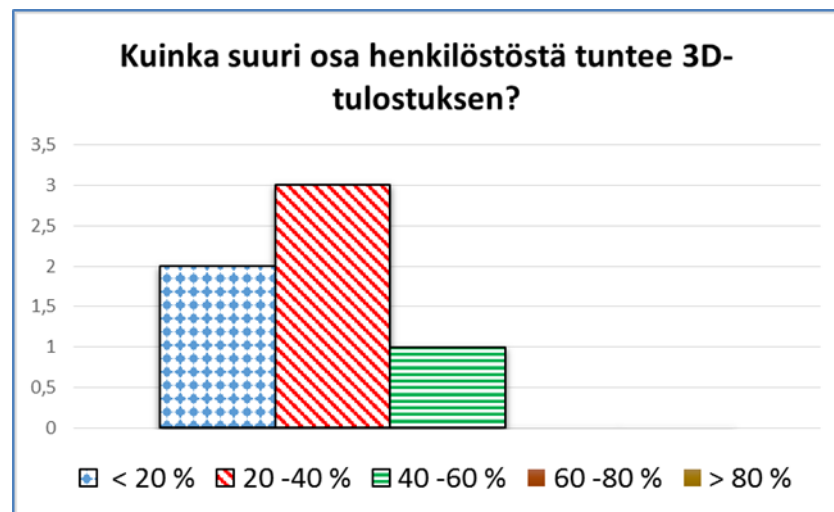
Tietoa kaivattiin 3D-tulostuksen mahdollisuuksista kappaleiden suunnittelussa, erilaisista prosesseista ja laitteista sekä eri materiaalien ominaisuuksista (kuva 25).

Metallien 3D-tulostaminen kiinnosti yrityksiä eniten. Seuraavana oli muovien tulostaminen. Myös uusille komposiitti- ja kierrätysmateriaaleille oli jonkin verran kiinnostusta. Laitekantaa haluttiin lisää edellisten testaamiseen.

Osa yrityksistä ei kokenut välitöntä tiedon tarvetta lisäävästä valmistuksesta. Voi olettaa monen tekevän tuotteita alihankkijana, jolloin päämiehet eivät halua muutoksia tuotteisiinsa. Päämiesten saaminen mukaan kehittämiseen olisi näin ollen tärkeää.

6.1.2 Kyselytutkimus oppilaitoksille

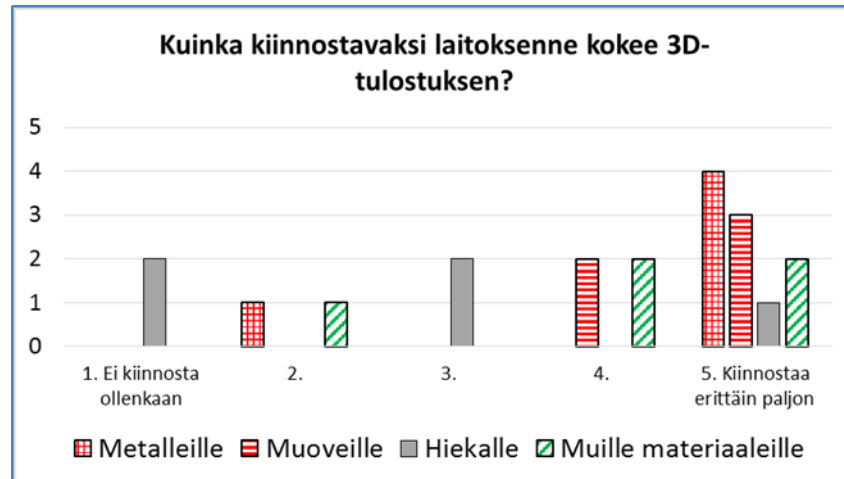
Kohteena oli kanssamme toimineet yhteistyöoppilaitokset. Kysely (Liite 5) lähetettiin 40:lle oppilaitosedustajalle ja vastauksia saimme kuudelta henkilöltä kolmesta korkeakoululta. Osa oppilaitoksista ei halunnut laitostaan mainittavan nimeltä, joten emme mainitse yhtäkään laitosta nimeltä. Ammatillisilta oppilaitoksilta ei kyselyyn saatu vastauksia.



Kuva 26. Oppilaitosten henkilöstön 3D-tulostuksen tietämys

Suhteellisen pieni osa oppilaitosten henkilöstöstä tuntee 3D-tulostuksen. Henkilöt, jotka työskentelivät 3D-tulosteiden kanssa päivittäin, oli vahva tietämys aiheesta. Kaikilla oppilaitoksilla oli 3D-tulostimia käytössään. Tietoa haluttiin muissa oppilaitoksissa olevista laitteista (kuva 26).

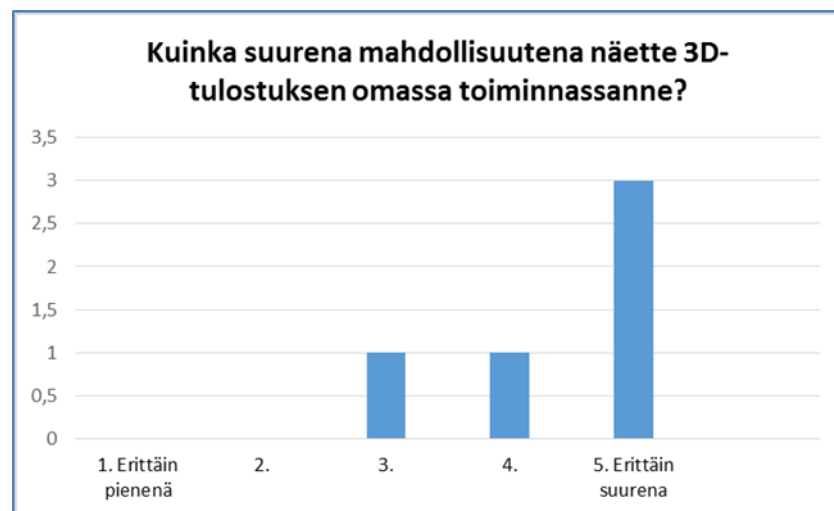
Opetusta 3D-tulostamisesta annetaan oppilaitoksissa, kuitenkin suhteellisen vähäiselle määrälle oppilaista, riippuen suuntautumisalasta.



Kuva 27. Oppilaitosten kiinnostavuus 3D-tulostuksesta

Kiinnostus ja mahdollisuudet ovat kasvamassa eri materiaaleille. 3D-tulostusta aiotaan soveltaa lisää opetuksessa. Tietoa kaivataan lähes kaikilta osa-alueilta (kuva 27).

Olemassa olevat laitteet oli koettu kannattavaksi sijoitukseksi. Kuitenkin nähtiin opetuksen kasvaessa laitekanta riittämättömäksi ja lisäinvestoinneille olisi tarvetta



Kuva 28. Oppilaitosten näkemys 3D-tulostuksen mahdollisuuksista

Kehitysmahdollisuuksia nähtiin oppilaiden ja yritysten yhteistyöprojekteissa sekä suunnitteluharjoituksissa ja luovissa prototypointi-menetelmissä (kuva 28).

6.2 Aikaisempien opinnäytetöiden kyselytulosten vertailu

Aikaisempien kyselyjen (Markku Lindqvist 2016, Jarmo Hanhela 2015) havainnot. Yrityksissä lisäävän valmistuksen käyttö oli vähäistä. Kiinnostusta oli lisäävään valmistukseen, mutta suurin osa yrityksistä ei nähnyt suuria mahdollisuuksia oman toimintansa kannalta. Yritykset eivät olleet valmiita suuntaamaan resursseja lisäävään valmistukseen ja sen kehittämiseen. Suurin osa halusi tietoa lisäävän valmistuksen menetelmistä, laitteista ja käyttösovellutuksista. Yritykset olivat käyttäneet menetelmää prototyypitöissä, esittely- ja mallikappaleissa. Jos oma tuote oli muovista valmistettu, niin silloin lisäävää valmistusta käytettiin tuotannossa.

Verratessa aikaisempia yrityskyselyjä tässä opinnäytetyössä tehtyihin kyselyihin (Liite 4 ja liite 5), voidaan tehdä seuraavia havaintoja. Tietämys lisäävästä valmistuksesta on edelleen kohtuullisen vähäistä, vaikka laitteita olisi käytänytkin. Käytössä voi havaita pientä nousua, lähinnä varaosissa, työkaluissa ja prototyyppoinnissa. Yritykset, jotka käyttivät lisäävää valmistusta, saivat liiketoimintahyötyjä uusien tuotteiden ja tuoteratkaisujen kautta. Kiinnostus on selvästi lisääntymässä, etenkin metallisten materiaalin käytössä.

Tietämyksen ja suunnitteluosaamisen kasvaessa lisäävän valmistuksen menetelmistä vaikuttaa kiinnostuksen ja käytön lisääntymiseen tuotteiden valmistamisessa.

Oppilaitoskyselyssä havainnot olivat pääosin samankaltaisia. Suhteellisen pieni osa henkilökunnasta tuntee lisäävän valmistuksen. Kiinnostus ja tiedontarve olivat kuitenkin huomattavasti suurempia kuin yrityksillä. Erilaisia materiaalivaihtoehtoja käytettiin oppilaitoksissa enemmän. Lisäävä valmistus oli tuonut uusia mahdollisuuksia oppilaitos- ja tutkimustoimintaan esimerkiksi oppilaiden ja yritysten yhteistyöprojekteissa. Kuitenkin lisäävä valmistus oli omana oppiaineena vain osassa oppilaitoksia.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli selvittää mitä toimenpiteitä olisi tehtävä Koneteknologiakeskus Turku Oy:n oppimis- ja kehitysympäristön kehittämiseksi, jotta se palvelisi opiskelaitos- ja yritystarpeita huomioiden myös tutkimukselliset tarpeet.

Materiaalia lisäävän valmistuksen menetelmät ovat tiedostettuja, mutta käyttäminen todellisissa tuotteissa sarjavalmistaisesti on vasta alussa. Lisäävä valmistus tulee todennäköisesti kehittymään seuraan kymmenvuoden aikana paljon. Vaikka laitevalmistajien ja materiaalitoimittajien hinnat tulevat lisääntyvän kilpailun seurauksena laskemaan, niin teknologian ja laitteistojen kehittyminen tulee pitämään hintatason lähivuosina lähes samana. Yksinkertaisten peruslaitteistojen hinnat todennäköisesti laskevat.

Haasteena on tuotesuunnittelijoiden tietämättömyys lisäävästä valmistuksesta, koska lisäävä valmistus vaatii uudenlaista tuotteiden suunnittelua. Kun tuotteet suunnitellaan oikein, saadaan lisäävä valmistus jalkautettua tuotteiksi ja tuotantoon.

Menetelmien etuja verratessa perinteiseen valmistukseen mainittakoon suunnittelun vapaus, monimutkaisten muotojen sekä keveiden rakenteiden valmistettavuus. Huomionarvoista on menetelmien soveltuvuus useimmille materiaaleille. Haittoina metallisten materiaalien kalleus ja tiedon sekä koulutuksen puutteet hidastavat menetelmien leviämistä. Jälkikäsitteilyä tarvitaan usein ennen kuin tuote on valmis.

Opiskelijakäytössä on huomioitava käytön helppous perusymmärryksen tavoitteiden saavuttamiseksi. Helppoja prosesseja käyttää ovat sideaineen suihkutusta, materiaalin suihkutusta ja materiaalin pursotusta. Kerroslaminointi ja valokovetus altaassa ovat myös opiskelijoiden käyttöön helposti omaksuttavissa.

Vaativien prosessien materiaalitekniset ominaisuudet ja laitteistojen käytön haasteet vaativat syvempää osaamista. Menetelmistä mainittakoon suorakerrostus, jauhepetisulatus ja hybridi 3D-valmistus. Tulevaisuudessa KTK:n käyttöympäristössä on nämä asiat huomioitava yhdistäessä opiskelijoiden ja yritysten sekä tutkimuksen tarpeet.

Kustannusvertailussa eri lisäävän valmistuksen menetelmistä voi päätellä kalliimman investointimenon tuovan tehokkuutta valmistukseen, joka näkyy halvempaan kustannuksena tuotettua kuutiosenttimetriä kohti. Käyttökustannuksissa metallisille materiaaleille

suojakaasun kulutus voi olla merkittävä tekijä laitteiston valinnassa. Kalleimmissa laitteissa integroidulla suojakaasun kehittäjällä käyttökustannukset ovat pienempiä, vastavasti pääomakulut ovat suurempia.

Hybridi 3D-valmistuslaitteet ovat kalliita ja niiden hyöty tulee läpimenoaikojen lyhentymisenä sekä asetusajojen vähentymisenä koko tuotantoketjussa. Osaa tuotteista ei olisi mahdollista muuten valmistaa. KTK:lla olisi mahdollista toteuttaa osittainen 3D-hybridivalmistus, robotilla tapahtuvan suorakerrostustulostuksen ja FMS:n kautta koneelle siirrettävän paletin kanssa. Koneistus tehtäisiin nykyisillä työstökoneilla ja kappaleiden siirto joko käsin tai tulevaisuudessa vihivaunulla.

Asioita, joita KTK:n koulutus – ja kehitysympäristössä on kehitettävä.

- On panostettava koulutukseen sekä testaukseen tiedon ja teknologioiden mahdollisuuksien levittämisen varmistamiseksi. Tämä kasvattaa 3D-tulostuksen kiinnostusta ja hyödyntämistä.
- Laitehankinnat, jotka mahdollistavat eri materiaaleiden tulostamisen. Materiaaleina muovit, metallit, keraamit ja UV-kovetteiset polymeerit. Materiaalin suihkutuksen sekä jauhepetisulatus prosessilla toimivat lisäävän valmistuksen laitteet. Lämpökäsittelyuuni (sintraus, jäännösjännitysten poisto) mahdollistaisivat monimutkaisten vahvojen rakenteiden valmistamisen.
- Suorakerrostus menetelmien kehittäminen robottihitsausasemalla. Tämä vaatii ohjelmoinnin, railon seurannan ja korkeuden seurannan kehittämistä. Lisäksi on hankittava uusia laserpäitä (langoille ja jauheille) sekä skannerioptiikkaa.
- Tutkimustyön mahdollistaminen materiaali- ja rakenneominaisuuksille.
- Prototyyppien ja kehitysprojektien tekeminen oppilaitosten sekä yritysten kanssa uusien tuotteiden valmistamisessa.
- Myöhemmässä vaiheessa harkittava 3D hybridivalmistuslaitteen hankkimista.

3D-teknologia on nopeasti kehittyvä ala, jolloin tietämystä ja kokemuksia eri laitteista ja materiaaleista tarvitaan koko ajan lisää. Lämmöstä tulevien aerosolien ja metallisten sekä polymeeristen jauheiden käytössä on työturvallisuus huomioitava. Tässä KTK:lla olisi rooli ajantasaisten laitteistojen ja tiedon ylläpitäjänä.

LÄHTEET

Al-Makky M., Kairo 19 - 21.4.2016 International Conference on Applied Mechanics and Mechanical Engineering, esityksestä "THE IMPORTANCE OF ADDITIVE MANUFACTURING PROCESSES IN INDUSTRIAL APPLICATIONS"

Arcam EBM® systems 2017, "Welcome to Manufacturing Unbound"-esite, s.5
www.arcam.com/wp-content/uploads/arcamebm-corp-brochure-fnlv3.pdf

Culpteo 2017. Third edition of Culpteo's State of 3D Printing 2017.
www.sculpteo.com/en/get/report/state_of_3D_printing_2017/

DMGMORI verkkoesite 2017.
www.dmgmori.com/products/machines/advanced-technology/additive-manufacturing/powder-nozzle/lasertec-65-3d-hybrid

FIRPA ry. AM konematriisi 14.3.2016
http://www.firpa.fi/AM_konematriisi_viimeisin.pdf

Gartner's 2017 3D printing Hype Cycle, 4.4.2017.
<https://www.3ders.org/articles/20170804-gartners-2017-3d-printing-hype-cycle.html>

Gibson, I., Rosen, D.W. & Stucker, B. 2010. Additive Manufacturing Technologies Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing. Boston, MA: Springer US, s. 28.

Hanhela J. 2015. Opinnäytetyö, "Materiaalia lisäävän valmistuksen käyttö Pirkanmaalaisissa yrityksissä", Tampereen ammattikorkeakoulu.

IDTechEx. Tulevaisuuden tehdas seminaari 14.11.2017 Tampere. Esitys, "Metallien lisäävä valmistus (eli 3D-tulostus) teollisessa tuotannossa" Heidi Piili, R&D Engineer EOS Finland Oy, Turku

Bhavar V. ym 2014, Kalyani Centre for Technology and Innovation (KCTI), "A Review on Powder Bed Fusion Technology of Metal Additive Manufacturing" s. 2.

Koljonen J. 2015. Opinnäytetyö, "Robottikäsivarren rakentaminen materiaalia lisäävää valmistusta hyödyntäen". Tampereen teknillinen yliopisto. Integroitu tuotekehitys ja tuotanto.

Koneteknologiakeskus Turku Oy, Esittelymateriaali, www.koneteknologiakeskus.fi

Korpimaa K. 2014. Opinnäytetyö "3D-tulostustekniikan hyödyntäminen jalkinemuotoilussa", Hämeen ammattikorkeakoulu.

Lehtinen Kati ja FIRPA 2014. Trilingual glossary.
http://www.firpa.fi/html/sanasto_html.html

Lehtinen K. 2014. Pro gradu -tutkielma "Materiaalia lisäävä valmistus vai 3D-tulostus. Muuttuva termistö".

Lindqvist M. 2016. Opinnäytetyö "Lisäävän valmistuksen tarpeen kartoitus Kaakkois-Suomessa", Lappeenrannan teknillinen yliopisto.

Loughborough University 2017. Additive Manufacturing Research Group.
<http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/>

Loughborough University 2017, Additive Manufacturing Research Group, The 7 categories of Additive Manufacturing. Pros/Cons.
www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing.

Li J. ym 2014, Loughborough University. seminaari artikkeli, "EXPLORING THE MECHANICAL PERFORMANCE AND MATERIAL STRUCTURES OF INTEGRATED ELECTRICAL CIRCUITS WITHIN SOLID STATE METAL ADDITIVE MANUFACTURING MATRICES", s.858.

Mazaki. Mazaki Wire arc AM verkkoesite 2017.
(www.mazakeu.co.uk/machines-technology/technology/hybrid-multi-tasking-machine)

Pekkarinen J. 2017. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Haastattelut.

Piili H. 2017. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Haastattelut.

Piironen A. Koneteknologiakeskus Turku Oy. Haastattelut.

Precitech pinnoituspään toimintaperiaate KTK:lla E.Virkki 2017.

Procedia Manufacturing, Volume 5, 2016, s. 1020

Roland Merger, Additive Manufacturing – next generation AMnx, 4.11.2016

RSC (2016), Chemical Society Reviews, "3D-printing technologies for electrochemical applications 8.11.2016"

Salminen A. 2017. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Haastattelut.

Sratasys. Technology-PolyJet Process,D. Dikovsky 2014. "Multi-Material 3D Printing"-esitys, s.9,
www.slideshare.net/radtechuveb/multimaterial-3d-printing

Standardi ASTM F2792-12a (2012)












Standardi SFS-EN ISO/ASTM 52900:2017 "Additive manufacturing. General principles. Terminology (ISO/ASTM 52900:2015), s. 7 ja s. 17





Waldbaur, A., Rapp, H., Länge, K. & Rapp, B. E. 2011. Let there be chip – towards rapid prototyping of microfluidic devices: one-step manufacturing processes. Analytical Methods, 3. s. 2699

Wohlers Report 2017. Part 2. Processes and materials, s. 34 – 46, s.67

3D Printing Research Group (3DPRG) 2017. University of Nottingham. "SELECTIVE HEAT SINTERING VERSUS LASER SINTERING: COMPARISON OF DEPOSITION RATE, PROCESS ENERGY CONSUMPTION AND COSTPERFORMANCE", s. 110

Lisäävän valmistuksen prosessien vertailut ja soveltuvuus opiskeluun

PROSESSI	EDUT: (Lähde: Loughborough University (2017) , Additive Manufacturing Research Group)	HAITAT: (Lähde: Loughborough University (2017), Additive Manufacturing Research Group)	MATERIAALIT: (Lähde: Wohles Report 2017 s.67)	OPISKELIJA-KÄYTTÖ
Sideaineen suihkutus (Binder Jetting)	Nopea ja halpa tekniikka. Useille eri materiaaleille. Kappaleet voi läpi värjätä	Rajoitettu mekaaninen lujuus, ellei käsitellä myöhemmin esim. uunissa sintraamalla.	Keraamit, komposiitit, metallit, polymeerit, polymeeriseokset, hiekka, valumallimateriaalit	
Suorakerrostus (Directed Energy Deposition)	Metalleilla raerakennetta voi hallita. Korjaukset, korkealaatuiset osat	Rajoitettu materiaalien käyttö. Materiaalia ei voi rakentaa tyhjän päälle	Metallit, hybridimetallit	
Pursotus (Material Extrusion)	Yleisesti käytetty, suhteellisen halpa menetelmä. ABS:llä voi rakentaa vahvoja kappaleita	Suuttimen halkaisija määrää lopullisen laadun. Materiaalia ei voi rakentaa tyhjän päälle ja siten tukimateriaalin. Haittana on myös tukimateriaalin poisto tulostuksen jälkeen. Materiaalivirran on pysyttävä katkeamattomana halutun laadun varmistamiseksi.	Polymeerit, polymeeriseokset, komposiitit, metallit, hiekka	
Materiaalin suihkutus (Material Jetting)	Vähän hukkamateriaalia, kun tulostustarkkuus on hyvä. Eri materiaaliyhdistelmillä voi rakentaa vahvoja kappaleita. Mahdollisuus on myös värjätä kappaleet	Materiaalia ei voi rakentaa tyhjän päälle ja vaatii siten tukimateriaalin, joka tulostetaan omalla suuttimella samaan aikaan. Haittana on myös tukimateriaalin poisto tulostuksen jälkeen.	Polymeerit, polymeeriseokset, komposiitit, metallit, valumallimateriaalit	
Jauhepetisulatus (Powder Bed Fusion)	Helppo käyttää. Metalleilla raerakennetta voi hallita.	Rajoitettu materiaalien käyttö. Materiaalia ei voi rakentaa tyhjän päälle, vaatii tukirakenteen tekemisen.	Metalli, polymeerit, polymeeriseokset, komposiitit, keraamit, hiekka, valumallimateriaalit	
Jauhepetisulatus (Powder Bed Fusion) EBW	Metalleilla raerakennetta voi hallita. Korkealaatuiset osat.	Rajoitettu materiaalien käyttö. Materiaalia ei voi rakentaa tyhjän päälle, vaatii tukirakenteen tekemisen.	Metalli, polymeerit, polymeeriseokset, komposiitit, keraamit, hiekka, valumallimateriaalit	
Jauhepetisulatus (Powder Bed Fusion) SHS	Kohtuullisen halpa. Sopiva prototyypeille ja malleille	Hidas menetelmä. Rakenteellisia ongelmia. Koko rajoittava. Suuri tehontarve. Viimeistelyn tarve riippuu jauheen koosta	Metalli, polymeerit, polymeeriseokset, komposiitit, keraamit, hiekka, valumallimateriaalit	
Kerroslaminointi (Sheet Lamination)	Nopeus. Kohtuullisen halpa. Helppo käsitellä materiaaleja.	Lujuus riippuu side-aineesta. Käytettävien materiaalien valikoima pieni	Paperit, polymeerit, polymeeriseokset, metallit, hybridimetallit	
Kerroslaminointi UAM (Ultrasonic Additive Manufacturing)	Nopea, kohtuullisen halpa. Helppo käsitellä materiaaleja.	Viimeistely vaatii työstökoneen	Paperit, polymeerit, polymeeriseokset, metallit, hybridimetallit	
Valokovetus altaassa (Vat Photopolymerization)	Hyvä pystysuuntainen lujuus, hyvä muoto- sekä mittatarkkuus ja pinnanlaatu	Kun työalustaa lasketaan, vaatii tukirakenteiden käyttämistä.	Polymeerit, polymeeriseokset, komposiitit, keraamit, valumallimateriaalit	
Hybridi 3D-valmistus	Metalleilla raerakennetta voi hallita. Korjaukset. Korkealaatuiset ja monimuotoiset osat. Voi välillä koneistaa ja lisätä materiaalia kappaletta poistamatta, jolloin saavutetaan suuri tarkkuus ja erilaisten muotojen rakentaminen on helppoa	Kallis. Rajoitettu materiaalien käyttö. Materiaalia ei voi rakentaa tyhjän päälle	Metallit	

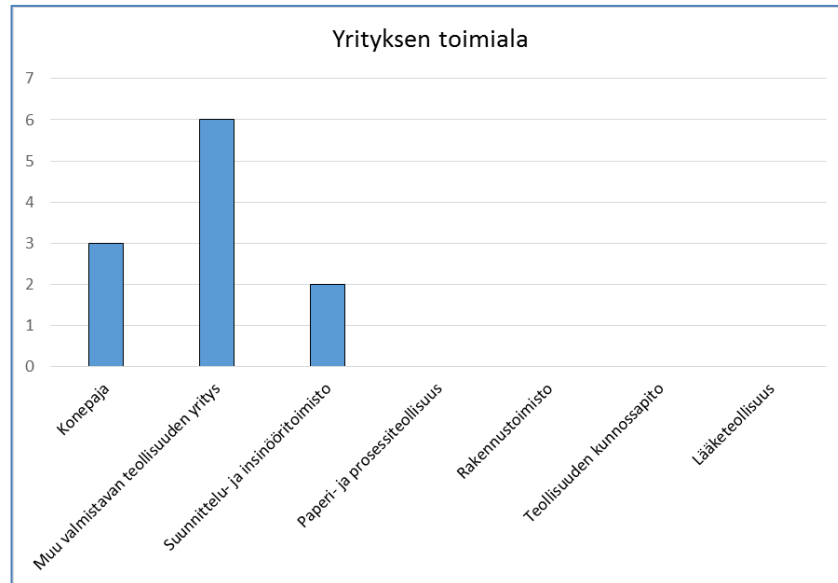
Opiskelijäkäytön näkökulma	
Opiskelijoiden helppo käyttää opiskelun tukena	
Opiskelijoiden kohtuullisen helppo käyttää opiskelussa	
Vaatii kokeneen opiskelijan saada prosessi toimimaan	
Vaatii tutkijan tai ammattilaisen saada prosessi toimimaan	

Lisäävän valmistuksen prosessien kustannusten vertailut

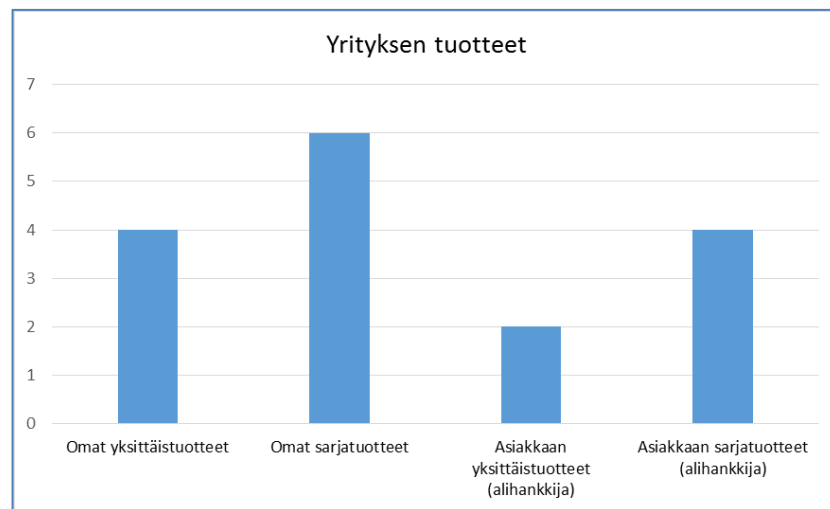
Esimerkkikonepaja / Käyttökulut tunnin käytölle	Sideaineen suihkutus (Binder Jetting)		Suorakerrostus (Directed Energy Deposition)		Pursotus (Material Extrusion)		Materiaalin suihkutus (Material Jetting)		Jauhepetisulatus (Powder Bed Fusion)		Jauhepetisulatu s (Powder Bed Fusion) EBM		Jauhepetisulatus (Powder Bed Fusion) SHS		Kerroslaminoit i (Sheet Lamination)		UAM (Ultrasonic Additive Manufacturing)		Valokovetus altaassa (Vat Photopolymeriz ation)		Hybridi 3D- valmistus	
	20 000	200 000	100 000	800 000	2 000	200 000	10 000	180 000	200 000	800 000	500 000	700 000	20 000	50 000	30 000	80 000	70 000	150 000	1 000	5 000	1 000 000	1 800 000
Hankintahinta €	20 000	200 000	100 000	800 000	2 000	200 000	10 000	180 000	200 000	800 000	500 000	700 000	20 000	50 000	30 000	80 000	70 000	150 000	1 000	5 000	1 000 000	1 800 000
Rakennusnopeus cm ³ /h	20	4 000	50	300	7	140	20	40	14	80	240	320	1 800	3 000	30	40	100	160	9	12	50	300
Yleiskulut €/h	12	16	12	14	12	14	12	14	12	14	12	14	12	13	12	13	12	13	12	12	15	18
Energiakulut €/h	0,08	3,36	0,26	0,80	0,05	0,24	0,05	0,24	0,27	1,36	1,12	1,12	0,16	0,27	0,16	0,27	0,26	0,80	0,02	0,08	0,51	3,20
Suojakaasukulut €/h	0,00	0,00	26,00	31,20	0,00	0,00	0,00	0,00	78,00	integroitu => 0	80,00	90,00	78,00	integroitu => 0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	26,00	31,20
Materiaalikulut €/cm ³	2,00	2,00	10,00	10,00	0,03	0,06	0,10	0,15	10,00	10,00	10,00	10,00	3,00	3,00	3,00	3,00	8,00	8,00	0,03	0,05	10,00	10,00
Pääomakulut €/h	0,19	1,88	0,94	7,50	0,02	1,88	0,09	1,69	1,88	7,50	4,69	6,56	0,19	0,47	0,28	0,75	0,66	1,41	0,09	0,47	9,38	16,88
Henkilökulut €/h	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
Kustannukset yhteensä €/h	47	56	82	97	45	49	45	49	135	66	141	155	126	50	48	50	54	56	45	46	94	112
Kustannukset €/(cm ³ /h)	2,36	0,01	1,64	0,32	6,44	0,35	2,26	1,23	9,52	0,82	0,59	0,48	0,07	0,02	1,61	1,25	0,54	0,35	5,02	3,80	1,88	0,37
Valmistelu ja jälkikäsittely (1=helppo, 10 = vaikea)	6		7		7		6		8		8		7		Teräs 9, Muut 7		Teräs 9, Muut 7		4		5	
Taulukon oletukset Luvut suuntaa antavia	<p>Omakustannushintoja -> ei myyntikatetta Materiaalikulut keskimääräisinä, eri toimittajien hintoja vertailemalla Rakennusnopeus keskimääräisinä. Eri konevalmistajilla tuotot hiukan erilaisia Yleiskulut / pääomakulut keskimääräisen konepaja kustannusten mukaan Tarkat luvut saa vasta kun, eri laiteomilta saa tarkat tarjoukset ja materiaalit ovat vastaavia. Koneissa yksilöllisiä eroja Kalleimissa koneissa integroitu suojakaasukehittäjä, joka näkyy hankintahinnassa</p>																					

Kyselyjen vastausten laajempi koonti

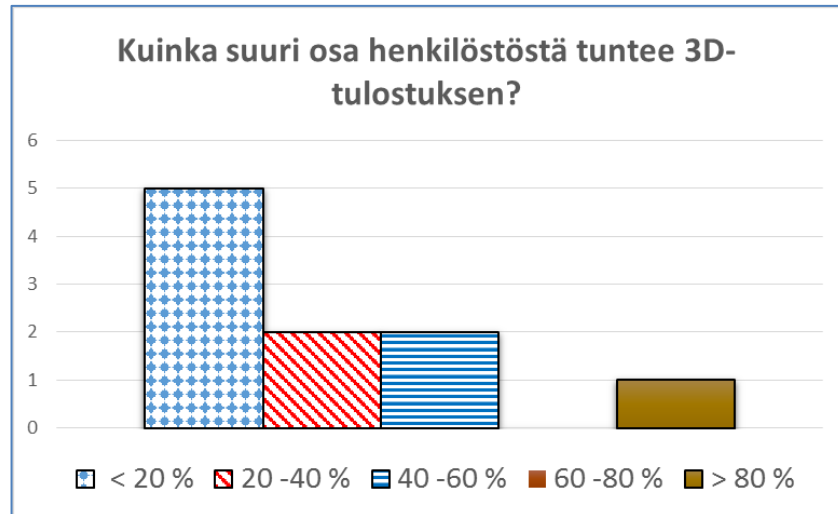
Yritysten vastausten analysointi:



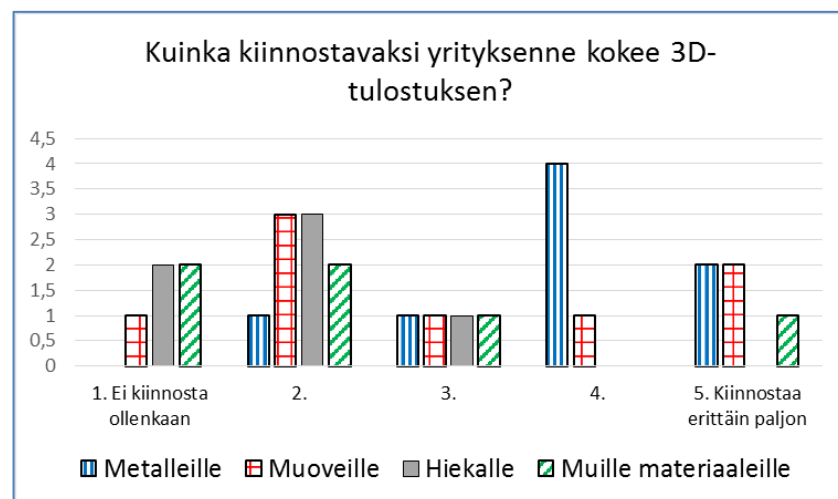
Vastaukset on saatu valmistavan teollisuuden yrityksiltä ja suunnittelutoimistoilta. Yritysten vastaukset pääosin tulivat pienistä ja keskisuurista yrityksistä



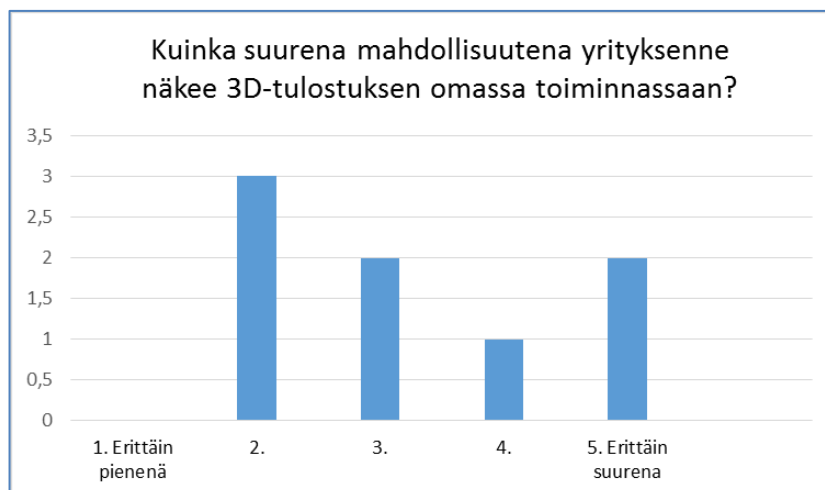
Vastaajayrityksillä on yli 60% omia tuotteita ja alle 40 % on päämiesten tuotteita.



Henkilöstön tietämys 3D-tulostuksesta oli suhteellisen vähästä, tästä johtuen käyttökään ei ole ollut aktiivista.

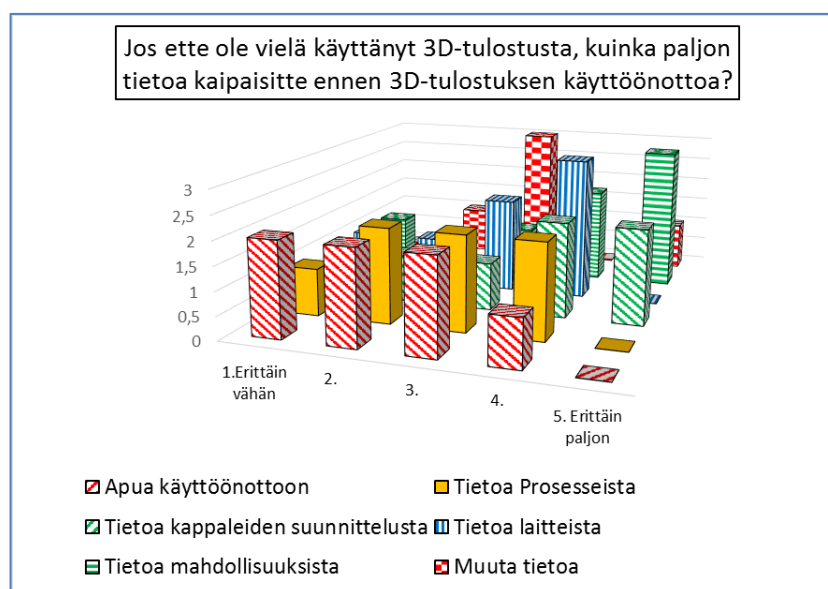


3D-tulostus koettiin kiinnostavaksi. Materiaaleista metallien 3D-tulostukselle oli kiinnostusta eniten. Seuraavaksi eniten oli kiinnostusta muovien tulostukseen. Muille materiaaleille ja hiekalle kiinnostus oli vähäisempää.

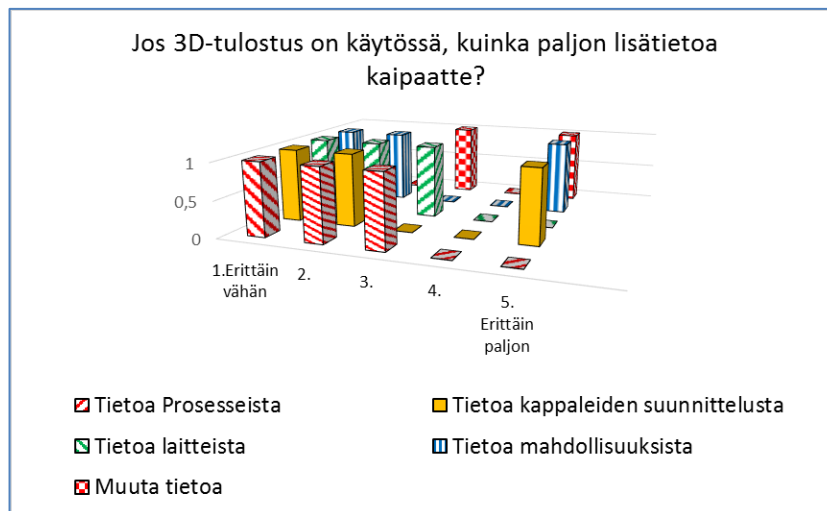


Omassa toiminnassa 3D-tulostuksen mahdollisuudet koettiin suurena, varaosa-, mallikappale- ja piensarjavalmistuksessa. Liiketoiminnan kehittämiseen uusien tuotteiden kautta nähtiin myös mahdollisuutena alan teknologian ja vientimme kilpailukyvyyn parantamiseksi. Mahdollisuutena nähtiin myös valmistuksen tuominen takaisin lähelle asiakasta.

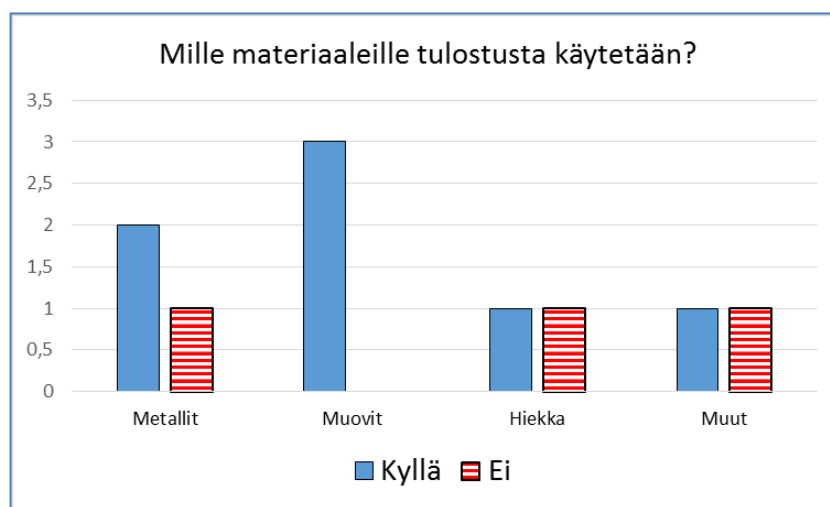
Kiinnostusta 3D-tulostuksen soveltamiseen lähimmän kahden vuoden aikana ei ollut kuin parilla yrityksellä. Odotuksia oli soveltamiseen tuotekehityksessä, sekä muovisten venttiilikomponenttien ja metallisten osien valmistamiseen.



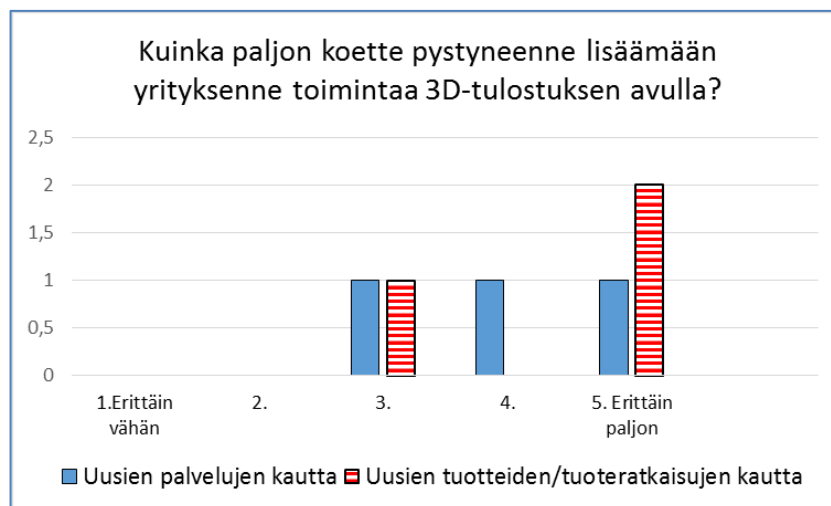
Yritykset jotka eivät olleet käyttäneet 3D-tulostusta, kaipasivat tietoa 3D-tulostuksen mahdollisuuksista, kappaleiden suunnittelussa, erilaista prosesseista ja laitteista, sekä eri materiaalien ominaisuuksista.



Yrityksillä joilla 3D-tulostus oli ollut käytössä, kaipasivat tietoa kappaleiden suunnittelusta, eri materiaalien vahvuuksista ja mahdollisuuksista. Kuitenkin tiedon tarpeelle 3D-tulostuksesta juuri nyt, ei koettu välitöntä suurta tarvetta.

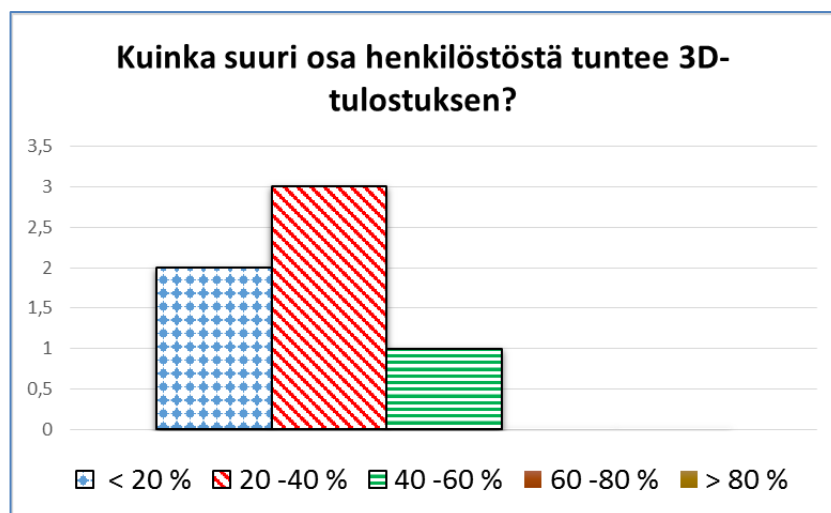


Yritykset, jotka olivat käyttäneet 3D-tulostinta, käyttivät sitä kohtuullisen harvoin. Vain yksi yritys käytti sitä päivittäin. Pääosin käyttö oli muovi- ja metallimateriaalilla. Muutamat olivat kokeilleet myös biomateriaaleja sekä komposiitti- ja kierrätysmateriaaleja.

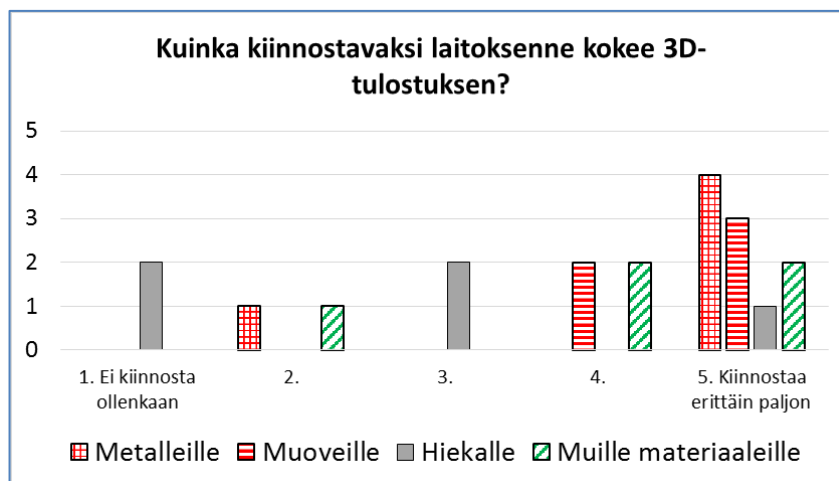


Yritykset jotka käyttävät 3D-tulostusta kokevat sen hyödylliseksi ja olivat voineet lisätä toimintaansa uusien tuotteiden ja tuoteratkaisujen kautta. Kohteena olivat olleet varaosat, teollisuuden lopputuotteet/koneiden osat, tuotannon apuvälineet, myynti ja markkinointimateriaalit.

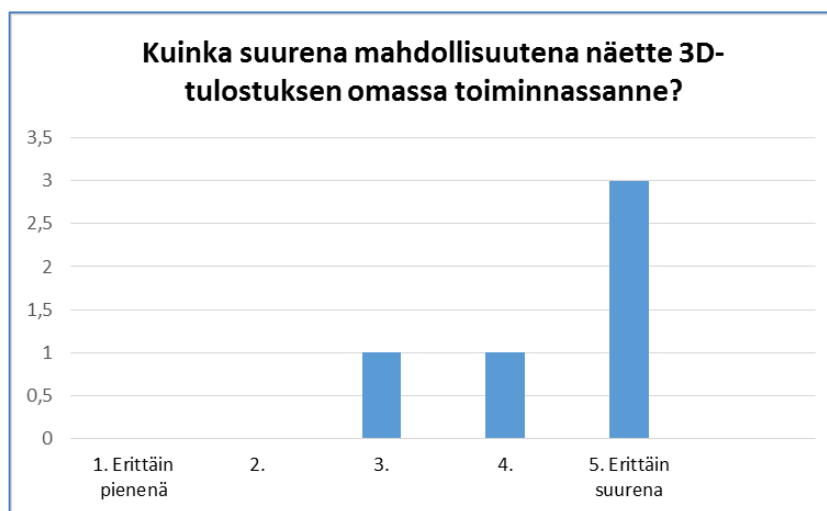
Oppilaitosten vastausten analysointi:



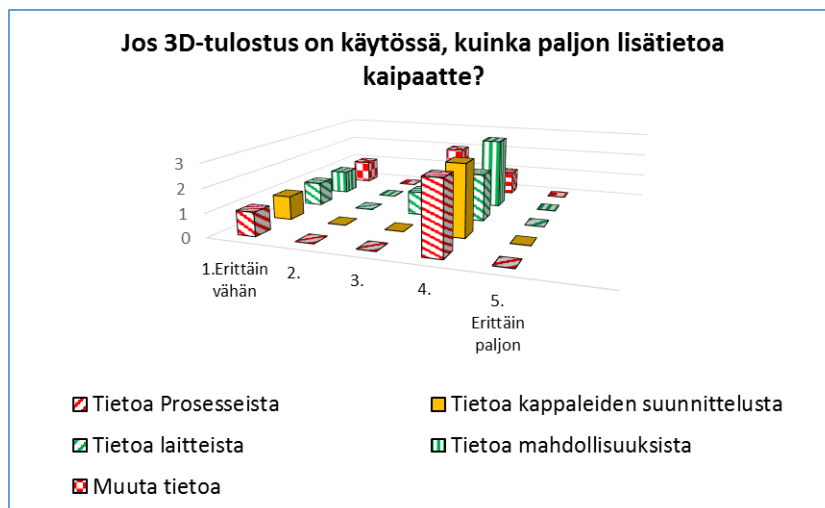
Oppilaitosten henkilöstöstä suhteellisen pieni osa tuntee 3D-tulostuksen. Kaikilla oppilaitoksilla oli kuitenkin 3D-tulostuslaitteita käytössään, joita satunnaisesti käytettiin.



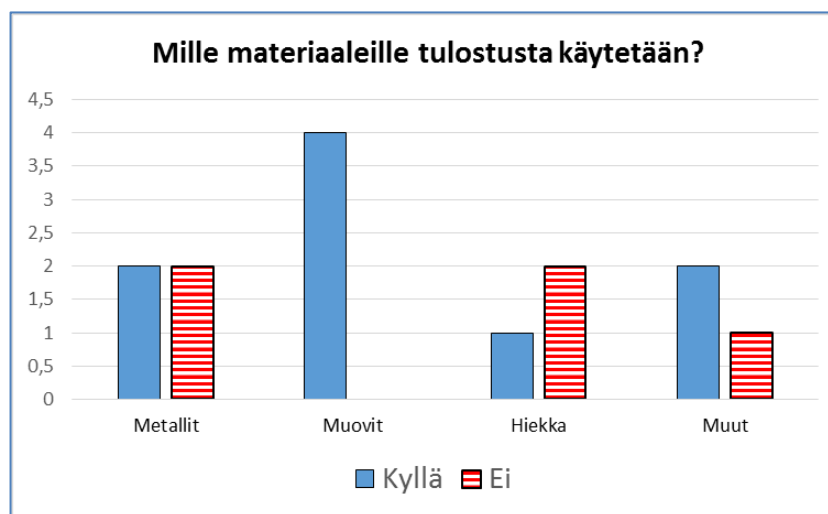
3D-tulostus koettiin kiinnostavaksi lähes kaikille materiaaleille. Esiin nousi kysyttyjen lisäksi myös hybridimateriaalit, biolasi, biomateriaalit ja puukuidut sekä keraamit ja komposiitit



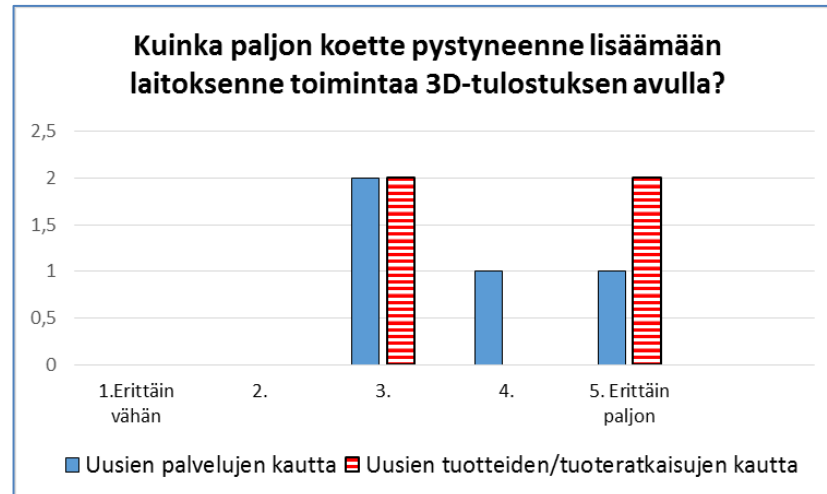
Oppilaitosten mahdollisuudet omassa toiminnassa nähtiin erittäin suurena. Esille nousivat, 3D-tulostus tukemassa koulutusta mallinnuksessa ja koulutuksen suunnittelutehtävissä sekä prototyyppien valmistamisessa. Muina mahdollisuuksina mainittiin hyödyntäminen muotoilussa, esimerkiksi kappaleiden tulostaminen teknisen piirtämisen harjoittelussa tai tuotteiden valmistuksen suorituskykyvertailussa. 3D-tulostusta aiotaan soveltaa lisää opetuksessa ja tutkimuksessa seuraavan kahden vuoden aikana.



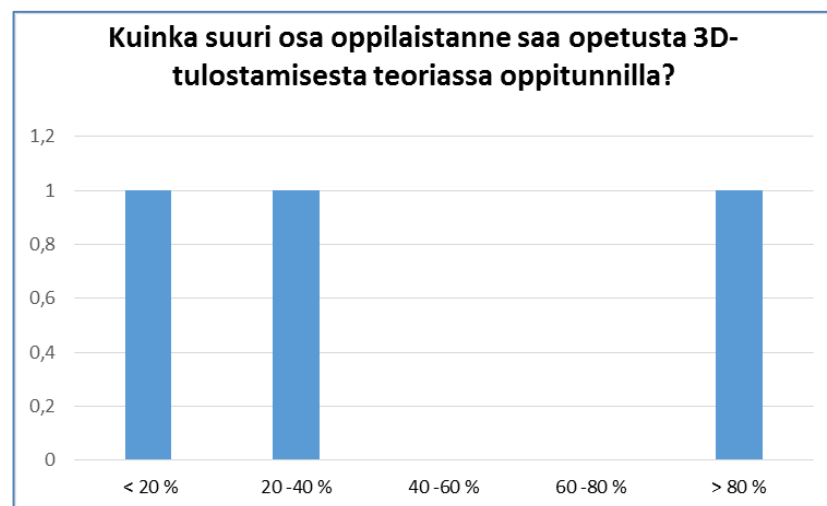
Henkilöt, jotka eivät olleet käyttäneet 3D-tulostusta, kaipasivat lisää tietoa. Taas pääosin ne, jotka olivat jo käyttäneet, kokivat silti lisätiedon tarvetta. Myös kustannuksista haluttiin lisätietoa.



Oppilaitoksilla joilla oli 3D-laitteita, olivat laitteet olleet käytössä yli viisi vuotta ja niitä käytettiin päivittäin tai muutaman kerran viikossa. Materiaaleina käytettiin peruskyselyn lisäksi alumiinia, ruostumatonta terästä, titaania, kipsiä ja keraameja.



3D-tulostus on tuonut uusia mahdollisuuksia kehittää oppilaitos- ja tutkimustoimintaa ja hankinnat on koettu kannattavaksi.



Opetusta 3D-tulostuksesta omana oppiaineena annettiin puolessa vastaajien oppilaitoksissa. Kuitenkin vain joka kolmas oppilas saa opetusta käytännön harjoittelussa.

Kehitysmahdollisuuksia nähtiin oppilaiden ja yritysten yhteistyöprojekteissa, suunnittelu-harjoituksissa sekä luovissa prototypointi-menetelmissä. Osa halusi lisätietoa muista menetelmistä kuin omassa laitoksessaan olevista.

LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN ("3D-TULOSTUS") KEHITTÄMINEN VARSINAIS-SUOMEN ALUEELLA:

Lisäävä valmistus kehittyy tällä hetkellä huimaa vauhtia. Uusia lisäävän valmistuksen laitteita ja sovellettavia teknologioita näkyy julkaisuissa viikoittain.

Koneteknologiakeskus Turku Oy:ssä kartoitetaan Varsinais-Suomen alueen lisäävän valmistuksen tämän hetkistä tietämystä sekä sen tuomista tulevaisuuden mahdollisuuksista yritysten ja oppilaitosten tarpeisiin.

Selvityksen tarkoituksena on kartoittaa mitä toimenpiteitä ja investointeja Koneteknologiakeskus Turku Oy:ssä olisi tehtävä, jotta voisimme tuoda lisätietämystä yrityksille sekä oppilaitoksille lisäävän valmistuksen eri teknologioiden mahdollisuuksista. Samalla miten voisimme auttaa tuotteidenne prototyyppien kehittämisessä, testauksessa sekä oppilaitoksille, korkeakouluille ja yliopistoille opetuksen ja tutkimuksen kehittämisessä.

Kyselyyn vastaamiseen menee aikaa noin 5 – 10 min aikaa. Tietojanne käsitellään anonyymisti, yhteenvedosta ei voi tunnistaa yksittäisiä vastajia. Voitte vasta myös nimettömänä. Toivottavasti teillä olisi aikaa vastata kysymyksiin ja olla osaltanne tukemassa alueen kehitystä.

Jos ette itse ehdi vastaamaan, niin välitättekö jollekin toiselle sopivalle henkilölle yrityksessänne. Voitte myös jakaa kyselyä eteenpäin henkilöille, joilla voisi olla tietämystä annettavana selvitykseen.

Kiitoksia Teille vaivannäöstänne etukäteen.

Koneteknologiakeskus Turku Oy

Erkki Virkki

Toimitusjohtaja

Vastaavantyyppinen kysely on tehty Kaakkois-Suomen alueella

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTON Markku Lindqvistin lopputyössä "LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TARPEEN KARTOITUS KAAKKOIS-SUOMESSA"

Kiitokset Markku Lindqvistille, jotta saimme käyttää osaa kyselyaineistostasi.

Kyselypohja lisäävän valmistuksen ("3D-tulostus") tarpeen kartoitukseen

1. Vastaajan tiedot:

Yritys:

Postitoimipaikka:

Vastaajan nimi:

Vastaajan ammattinimike:

Vastaajan puhelinnumero:

Vastaajan sähköposti:

Yrityksen toimiala:

- 1) Konepaja
- 2) Muu valmistavanteollisuuden yritys
- 3) Suunnittelu- ja insinööritoimisto
- 4) Paperi- ja prosessiteollisuus
- 5) Rakennustoimisto
- 6) Teollisuuden kunnossapito
- 7) Lääketeollisuus.

Yrityksen tuotteet

- 1) Omat yksittäistuotteet
- 2) Omat sarjatuotteet
- 3) Asiakkaan yksittäistuotteet (alihankkija)
- 4) Asiakkaan sarjatuotteet (alihankkija)

2. Henkilöiden lukumäärä yrityksessä

- 1) <10 henkilöä
- 2) 10-50 henkilöä
- 3) 50-250 henkilöä
- 4) >250 henkilöä

3. Kuinka suuri osa yrityksenne henkilöstöstä tuntee 3D-tulostuksen?

- 1) <20%
- 2) 20-40%
- 3) 40-60%
- 4) 60-80%
- 5) >80%

4. Käyttääkö yrityksenne jo nykyään 3D-tulostusta?

- 1) Ei käytä
- 2) Hankkii palvelut muualta
- 3) Omistaa laitteet

5. Kuinka kiinnostavaksi yrityksenne kokee 3D-tulostuksen?

- | | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| a. Metalleille | Ei Kiinnosta [1-5] Kiinnostaa paljon |
| b. Muoveille | Ei kiinnosta [1-5] Kiinnostaa paljon |
| c. Hiekka | Ei kiinnosta [1-5] Kiinnostaa paljon |
| c. Muille materiaaleille | Ei Kiinnosta [1-5] Kiinnostaa paljon |

Mikä materiaali? _____

6. Kuinka suurena mahdollisuutena yrityksenne näkee 3D-tulostuksen omassa toiminnassaan?

Erittäin pieni [1-5] Erittäin suuri

a. Millaisia hyödyntämismahdollisuuksia?

7. Kuinka paljon yrityksenne ajattelee soveltaa 3D-tulostusta seuraavan kahden vuoden aikana?

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

a. Missä kohteissa?

8. Jos yrityksenne ei ole vielä käyttänyt 3D-tulostusta, kuinka paljon tietoa yrityksenne kaipaisi ennen 3D-tulostuksen käyttöönottoa?

a. Apua käyttöönottoon

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

b. Tietoa prosesseista

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

c. Tietoa kappaleiden suunnittelusta

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

d. Tietoa laitteista

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

e. Tietoa mahdollisuuksista

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

f. Muuta tietoa, mitä?

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

9. Jos 3D-tulostus on käytössä, kuinka paljon lisätietoa yrityksenne kaipaa?

a. Tietoa prosesseista

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

b. Tietoa kappaleiden suunnittelusta

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

c. Tietoa laitteista

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

d. Tietoa mahdollisuuksista

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

e. Muuta tietoa, mitä?

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

10. Kuinka suureksi koette tiedon tarpeen 3D-tulostuksesta juuri nyt?

Erittäin pieneksi [1-5] Erittäin suureksi

11. Jos yrityksenne on kokeillut 3D-tulostusta,

a. Kuinka kauan menetelmä on ollut käytössä?

- 1) <1kk
- 2) 1kk-1v
- 3) 1v-3v
- 4) 3v-5v
- 5) >5v

b. Kuinka usein tulostusta käytetään?

- 1) Päivittäin
- 2) Muutaman kerran viikossa
- 3) Muutaman kerran kuukaudessa
- 4) Muutaman kerran vuodessa
- 5) Harvemmin

c. Mille materiaaleille tulostusta käytetään?

- | | |
|-------------|-----------|
| 1) Metallit | Kyllä/Ei |
| 2) Muovit | Kyllä/Ei |
| 2) Hiekka | Kyllä/ Ei |
| 3) Muut | Kyllä/Ei |

Mikä materiaali? _____

d. Kuinka paljon koette pystyneen lisäämään yrityksen toimintaa 3D-tulostuksen avulla?

i. Uusien palveluiden kautta Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

ii. Uusien tuotteiden/tuoteratkaisuiden kautta Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

e. Minkälaisissa tuotteissa/palveluissa 3D-tulostusta on käytetty?

f. Minkä takia päädyttiin käyttämään 3D-tulostusta?

g. Kuinka hyödylliseksi 3D-tulostus koetaan yrityksenne kannalta?

Ei ollenkaan [1-5] Todella hyödylliseksi

12. Jos teillä yrityksellänne on 3D-tulostukseen soveltuvaa laitteistoa;

a. Mille materiaaleille laitteisto soveltuu?

b. Mitä tulostusmenetelmää laite käyttää?

c. Minkä valmistajan laite on kyseessä?

d. Miksi päädyttiin laitteen hankkimiseen?

e. Onko hankinta ollut mielestänne kannattava?

Erittäin kannattamaton [1-5] Erittäin kannattava

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

Kyllä / Ei

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

Kyllä / Ei

LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN ("3D-TULOSTUS") KEHITTÄMINEN VARSINAIS-SUOMEN ALUEELLA:

Lisäävä valmistus kehittyy tällä hetkellä huimaa vauhtia. Uusia lisäävän valmistuksen laitteita ja sovellettavia teknologioita näkyy julkaisuissa viikoittain.

Koneteknologiakeskus Turku Oy:ssä kartoitetaan Varsinais-Suomen alueen lisäävän valmistuksen tämän hetkistä tietämystä sekä sen tuomista tulevaisuuden mahdollisuuksista yritysten ja oppilaitosten tarpeisiin.

Selvityksen tarkoituksena on kartoittaa mitä toimenpiteitä ja investointeja Koneteknologiakeskus Turku Oy:ssä olisi tehtävä, jotta voisimme tuoda lisätietämystä yrityksille sekä oppilaitoksille lisäävän valmistuksen eri teknologioiden mahdollisuuksista. Samalla miten voisimme auttaa tuotteidenne prototyyppien kehittämisessä, testauksessa sekä oppilaitoksille, korkeakouluille ja yliopistoille opetuksen ja tutkimuksen kehittämisessä.

Kyselyyn vastaamiseen menee aikaa noin 5 – 10 min aikaa. Tietojanne käsitellään anonyymisti, yhteenvedosta ei voi tunnistaa yksittäisiä vastaajia. Voitte vasta myös nimettömänä. Toivottavasti teillä olisi aikaa vastata kysymyksiin ja olla osaltanne tukemassa alueen kehitystä.

Jos ette itse ehdi vastaamaan, niin välitättekö jollekin toiselle sopivalle henkilölle yrityksessänne. Voitte myös jakaa kyselyä eteenpäin henkilöille, joilla voisi olla tietämystä annettavana selvitykseen.

Kiitoksia Teille vaivannäöstänne etukäteen.

Koneteknologiakeskus Turku Oy

Erkki Virkki

Toimitusjohtaja

Vastaavantyyppinen kysely on tehty Kaakkois-Suomen alueella

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTON Markku Lindqvistin lopputyössä "LISÄÄVÄN VALMISTUKSEN TARPEEN KARTOITUS KAAKKOIS-SUOMESSA"

Kiitokset Markku Lindqvistille, jotta saimme käyttää osaa kyselyaineistostasi.

Kyselypohja lisäävän valmistuksen ("3D-tulostus") tarpeen kartoitukseen oppilaitoksille, korkeakouluille ja yliopistoille:

1. Vastaajan tiedot:

Oppilaitos, korkeakoulu, yliopisto:

Postitoimipaikka:

Vastaajan nimi:

Vastaajan ammattinimike:

Vastaajan puhelinnumero:

Vastaajan sähköposti:

2. Henkilöstön määrä

- 1) <10 henkilöä
- 2) 10-50 henkilöä
- 3) 50-250 henkilöä
- 4) >250 henkilöä

3. Kuinka suuri osa henkilöstöstä tuntee 3D-tulostuksen?

- 1) <20%
- 2) 20-40%
- 3) 40-60%
- 4) 60-80%
- 5) >80%

4. Käytetäänkö 3D-tulostusta?

- 1) Ei käytetä
- 2) Hankitaan palvelut muualta
- 3) Omistaa laitteet

5. Kuinka kiinnostavaksi laitoksenne kokee 3D-tulostuksen?

- | | |
|--------------------------|--------------------------------------|
| a. Metalleille | Ei Kiinnosta [1-5] Kiinnostaa paljon |
| b. Muoveille | Ei kiinnosta [1-5] Kiinnostaa paljon |
| c. Hiekka | Ei kiinnosta [1-5] Kiinnostaa paljon |
| c. Muille materiaaleille | Ei Kiinnosta [1-5] Kiinnostaa paljon |

Mikä materiaali? _____

6. Kuinka suurena mahdollisuutena näette 3D-tulostuksen omassa toiminnassanne?

Erittäin pieni [1-5] Erittäin suuri

- a. Millaisia hyödyntämismahdollisuuksia?

7. Kuinka paljon ajattelette soveltaa 3D-tulostusta seuraavan kahden vuoden aikana?

Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

- a. Missä kohteissa?

8. Jos ette ole käyttänyt 3D-tulostusta, kuinka paljon tietoa kaipaisitte ennen 3D-tulostuksen käyttöönottoa?

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| a. Apua käyttöönottoon | Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon |
| b. Tietoa prosesseista | Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon |
| c. Tietoa kappaleiden suunnittelusta | Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon |
| d. Tietoa laitteista | Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon |
| e. Tietoa mahdollisuuksista | Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon |
| f. Muuta tietoa, mitä? | Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon |

9. Jos 3D-tulostus on käytössä, kuinka paljon lisätietoa kaipaatte?

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------------|
| a. Tietoa prosesseista | Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon |
| b. Tietoa kappaleiden suunnittelusta | Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon |
| c. Tietoa laitteista | Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon |
| d. Tietoa mahdollisuuksista | Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon |
| e. Muuta tietoa, mitä? | Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon |

10. Kuinka suureksi koette tiedon tarpeen 3D-tulostuksesta juuri nyt?

Erittäin pieneksi [1-5] Erittäin suureksi

11. Jos olette kokeillut 3D-tulostusta,

a. Kuinka kauan menetelmä on ollut käytössä?

- 1) <1kk
- 2) 1kk-1v
- 3) 1v-3v
- 4) 3v-5v
- 5) >5v

b. Kuinka usein tulostusta käytetään?

- 1) Päivittäin
- 2) Muutaman kerran viikossa
- 3) Muutaman kerran kuukaudessa
- 4) Muutaman kerran vuodessa
- 5) Harvemmin

c. Mille materiaaleille tulostusta käytetään?

- | | |
|-------------|-----------|
| 1) Metallit | Kyllä/Ei |
| 2) Muovit | Kyllä/Ei |
| 2) Hiekka | Kyllä/ Ei |
| 3) Muut | Kyllä/Ei |

Mikä materiaali? _____

d. Kuinka paljon koette pystyneen lisäämään laitoksenne toimintaa 3D-tulostuksen avulla?

- i. Uusien palveluiden kautta Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon
- ii. Uusien tuotteiden/tuoteratkaisuiden kautta Erittäin vähän [1-5] Erittäin paljon

e. Minkälaisissa tuotteissa/palveluissa 3D-tulostusta on käytetty?

f. Minkä takia päädyttiin käyttämään 3D-tulostusta?

g. Kuinka hyödylliseksi 3D-tulostus koetaan yrityksenne kannalta?

Ei ollenkaan [1-5] Todella hyödylliseksi

12. Jos teillä on 3D-tulostukseen soveltuvaa laitteistoa;

a. Mille materiaaleille laitteisto soveltuu?

b. Mitä tulostusmenetelmää laite käyttää?

c. Minkä valmistajan laite on kyseessä?

d. Miksi päädyttiin laitteen hankkimiseen?

e. Onko hankinta ollut mielestänne kannattava?

Erittäin kannattamaton [1-5] Erittäin kannattava

13. Saako laitoksenne nimeä mainita kyselyn tuloksia analysoitaessa? Laitostanne ei tulla suoraan yhdistämään mihinkään kyselyn vastauksista?

Kyllä / Ei

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

Kyllä / Ei

15. Mikä on edustamasi koulutus / opintolinja suunta?

16. Mika on vuosikurssilaisten määrä?

17. Opetetaanko oppilaitoksessanne 3D-tulostusta omana oppiaineena?

Kyllä / Ei

18. Kuinka suuri osa vuosikurssilaisista saa opetusta 3D-tulostamisesta teoriassa oppitunnilla?

1) <20%

2) 20-40%

3) 40-60%

4) 60-80%

5) >80%

19. Onko teillä opetuskäyttöön soveltuva laboratorioita käytännön harjoitteluun?

Kyllä / Ei

Mille materiaaleille laboratorioita käytetään?

1) Metallit Kyllä/Ei

2) Muovit Kyllä/Ei

3) Muut Kyllä/Ei

20. Kuinka suuri osa vuosikurssilaisista saa opetusta 3D-tulostamisesta käytännön harjoittelussa?

- 1) <20%
- 2) 20-40%
- 3) 40-60%
- 4) 60-80%
- 5) >80%

21. Mitä hyödyntämismahdollisuuksia näette 3D-tulostuksessa opetuksen kehittämisessä?

22. Minkälaista tukea tarvitsette 3D-tulostuksen opetuksen kehittämisessä?