

■ TEKNIIKAN ALA



FORMNEXT 2016

15.11 – 18.11.2016

SEMINAARIRAPORTTI

Antti Alonen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	4
2.	TIISTAI.....	6
2.1.	AM ja urheiluproteesit	6
2.2.	AM ja ilmailuteollisuus	7
2.3.	Nanopartikkelien suihkutusmenetelmä	9
2.4.	Tiistain muita esityksiä	11
2.4.1.	Lisäävän valmistuksen seuraava sukupolvi.....	12
2.4.2.	Pikavalmistuksen hyödyntäminen teollisten tuulettimien kehityksessä ja optimoinnissa..	14
3.	KESKIVIIKKO.....	16
3.1.	Lisäävän valmistuksen käyttö yleistyy terveydenhuollossa.....	16
3.2.	Lisäävä valmistus ja varaosat	18
3.3.	Sarjatuotannon haasteet lisäävässä valmistuksessa.....	20
3.4.	IP ja lisäävän valmistuksen uhkia	21
3.5.	Keskiviikon muita esityksiä.....	23
3.5.1.	Keraamin lisäävä valmistus	23
3.5.2.	Rapid casting - pikavalujen valmistus 3D-tulostusta hyödyntämällä	25
3.5.3.	Magnesiumseosten valmistus jauhepetimenetelmällä	25
4.	TORSTAI.....	27
4.1.	Lisäävän valmistuksen tilannekatsaus	27
4.2.	Termoplastisten polymeerien käyttö kuluttajatuotteiden lisäävässä valmistuksessa	28
4.3.	Kokemuksia lisäävästä valmistuksesta konsortioprojekteissa	31
4.4.	Torstain muita esityksiä	34
4.4.1.	Komposiittien valmistaminen 3D-tulostamalla	34
4.4.2.	Kuntoutus- ja proteesisovellukset lisäävällä valmistuksella	35
4.4.3.	Lisäävän valmistuksen osajien puute.....	38
4.4.4.	Suunnitteluprosessin uusi työnkulku	39
5.	PERJANTAI.....	41
5.1.	GE ja lisäävä valmistus	41
5.2.	Lisäävän valmistuksen käyttökokemuksia	43
5.3.	Piirilevyjen valmistus 3D-tulostamalla.....	44
5.4.	Perjantain muita esityksiä	46
5.4.1.	Tulevaisuuden tuotesuunnittelu - generatiivinen suunnittelu ja lisäävä valmistus	46
5.4.2.	AM -käyttömahdollisuudet teollisuustuotteiden komponenttivalmistuksessa.....	47
5.4.3.	Startup -trendejä lisäävässä valmistuksessa	48

6.	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ.....	50
6.1.	Hedelmällisimmät käyttökohteet / alueet.....	50
6.2.	Varaosien valmistus.....	50
6.3.	Automaatio ja työturvallisuus	50
6.4.	Komposiittien lisäävä valmistus sekä silikonimateriaalit	51
6.5.	Laite- ja materiaalikustannukset laskevat	51

1. JOHDANTO

Formnext on tällä hetkellä merkittävin pelkästään lisäävään valmistukseen liittyvä messu- ja seminaaritapahtuma maailmassa. Kysyntää lisäävän valmistuksen tapahtumille riittää ja alan kiivaasta kasvutahdista kertoo se, että sekä näytteilleasettajien määrä että messualueen koko kasvoivat viime vuoteen verrattuna. Näytteilleasettajia oli 307 ja messualueen koko 18702 m². Kävijöitä messuilla oli reilu 13000 ja monet messuosastoista olivatkin hyvin ruuhkaisia. Myös messujen yhteydessä pidetyn seminaarin osallistujamäärä moninkertaistui edelliseen vuoteen verrattuna.

Tämän vuoden Formnext -seminaari oli neljäpäiväinen tapahtuma eli seminaarin esitykset kestivät käytännössä koko messujen ajan. Tämä aiheutti teknisiä ongelmia seminaarikävijöille, sillä mikäli kaikki seminaari-esitykset halusi kuunnella läpi, ei messuilla kiertelyyn jäänyt riittävästi aikaa. Koska sekä messutapahtuma että seminaaritapahtuma olivat kasvaneet edelliseen vuoteen verrattuna, ei seminaari enää mahtunut samaan tilaan messujen kanssa vaan oli siirretty viereiseen halliin messujen läheisyyteen. Seminaaripäivät alkoivat tunnettujen asiantuntijoiden keynote -puheenvuoroilla, jotka olivat erinomaisia katsauksia alan nykytilanteeseen ja tulevaisuuteen.

Tapahtumaan osallistuttiin Savonian LIVA -hankkeen (**Lisäävä Valmistus Pohjois-Savossa, 1.9.2016-31.12.2018**) toimenpiteenä kolmen hengen voimin siten että yksi osallistui seminaaritapahtumaan ja kaksi kierteli messuosastoja läpi.

Formnext –tapahtuman yhteydessä keskiviikkona 16.11 järjestettiin myös Suomen pikavalmistusyhdistyksen FIRPAn perinteinen esitelmätilaisuus, jossa messujen tarjontaa käytiin läpi. Tilaisuus on hyödyllinen paitsi verkostoitumisen, myös itse esitelmän vuoksi. Messuosastoilta saatava tieto vaihtelee yleensä sen mukaan kenen kanssa sattuu juttelemaan, joten esitelmätilaisuudessa on mahdollista saada sellaista tietoa tuotteista ja tarjonnasta, jota ei messuosastoilla kiertelemällä saa selville.

Formnext –seminaarin pääpuheenvuorot olivat

- Tiistai 15.11: Denise Schindler, para-atleetikko & olympiakilpailija, kertoi henkilökohtaisen kokemuksensa siitä miten 3D-tulostus on mullistanut kilpaproteesien valmistamisen. 3D-tulostettu proteesi on myös huomattavasti perinteisiä proteeseja kilpailukykyisempi.
- Keskiviikko 16.11: Prof. Tsung-Yuan Tsai, Shanghai Ninth People's Hospital, esitteli eri tasoisia lääketieteen toteutuksia 3D-tulostukseen liittyen. Esitelmästä kävi ilmi että vaikka tekeminen Kiinassa onkin keskittynyt pääosin yhteen toimijaan, on maa erittäin pitkällä lääketieteen sovelluksissa.
- Torstai 17.11: Terry Wohler, Wohlers Associates. Terry piti seminaarin odotetuimman puheenvuoron siitä mihin lisäävä valmistus on lähivuosina menossa ja seminaaritila olikin tungokseen asti täynnä.
- Perjantai 18.11: Mohammad Ehteshami, Vice President and General Manager, GE. Mohammadin esitys siitä, miten GE on lisäävän valmistuksen ottanut käyttöön ja mihin se on teknologiaa viemässä, vahvisti entisestään kuvaa siitä että yritys on useita vuosia kilpailijoi-
taan edellä.

Tähän raporttiin on kirjoitettu lyhyitä tiivistelmiä kunkin päivän mielenkiintoisimmista ja ajankoh-
taisimmista esityksistä .

2. TIISTAI

2.1. AM ja urheiluproteesit

Denise Schindler, "Never stops Spinning"

Tiistain, seminaarin ensimmäisen päivän keynote -puheenvuoron piti Denise Schindler, saksalainen paralympiakilpailija, joka voitti vuonna 2016 Rion olympialaisissa pyöräilyssä hopeaa ja pronssia. Denise kertoi puheenvuorossaan miten lisäävä mallinnus tulee mullistamaan jalkaproteesien valmistuksen kilpailukäytössä.

Jalkaproteesien valmistus on työlästä ja hidasta käsityötä sillä urheiluproteesien tekeminen on huomattavasti tarkempaa kuin perusproteeseissa. Urheiluproteesit ovat yleensä huomattavan kovassa käytössä ja harjoitusjaksot voivat kestää helposti viisi tuntia päivässä yhtämittaista käyttöä joten minkäänlaisia "painepisteitä" ei proteeseihin saisi jäädä tai seurauksena on hiertymiä ja tulehduksia. Lisäksi urheilukäytössä proteesit vaativat paljon jatkuvaa säätöä mm. lihasten kasvun ja painonvaihteluiden johdosta.

Denisen tiimi kehitti ja valmisti Rion olympialaisia varten uuden 3D-tulostetun proteesin noin kahden vuoden mittaisessa projektissa. Projektin aikana tiimi loi kilpaproteesien kehitys- ja valmistusprosessin, joten jatkossa proteesien valmistus on huomattavasti helpompaa. Denisellä oli tiimissä mukana lääkärin ja välinehuoltajien lisäksi Autodeskin suunnittelijoita.

Prosessissa käydään läpi seuraavat vaiheet ja työkalut:

1. Lähtötieto: 3D-skannataan potilaan data sähköiseen muotoon lähtötiedoksi
2. Suunnittelu: Autodesk fusion 360 on pilvipohjainen työkalu jolla projektin osapuolet voivat työskennellä suunnitelman parissa. Suunnittelussa hyödynnetään orgaanisia rakenteita ja topologian optimointia. Nopeatkin muutokset ovat mahdollisia lähtötietoja päivittämällä.
3. Valmistus 3D-tulostamalla: Valmistusaika lyhenee, hinta laskee, muutokset helpottuvat. Valmistuksen osuus on itsessäänkin halpaa verrattuna perinteiseen tapaan valmistaa proteesi.

Lisäävän valmistuksen edut lopputuotteessa perinteiseen valmistustapaan verrattuna ovat hyvin samankaltaiset kuin teollisuuden tuotteissa yleisestikin. Proteesin osalta Denise nosti esille merkittävästi parantuneen aerodynaamisuuden, painon sekä voimansiirron.

Lopuksi Denise totesi että 3D-tulostamalla valmistetusta proteesista oli hänelle merkittävää ja olennaista hyötyä kilpailussa. Kilpailusuorituksessa pienelläkin erolla on suuri vaikutus lopputulokseen, ja hänen proteesinsa kanssa kävi ilmi että ero aiempaan oli suorastaan merkittävä. Valmistusprosessin hyödyt eivät koske pelkästään kilpailukäyttöön räätälöityjä tuotteita, vaan ylipäätään kaikenlaisien proteesien valmistusta.



Kuva 1: Denise Schindler esitteli 3D-tulostetun proteesin kehitystä ja valmistusta

2.2. AM ja ilmailuteollisuus

John Dunstan, BAE Systems, "Additive Manufacture in BAE Systems - Next steps to printed aircraft"

Ilmailuteollisuus on ollut lisäävän valmistuksen / 3D-tulostuksen hyödyntäjiä aina tekniikan alkua ajoista saakka, ja uusissa lentokonemalleissa on käytössä lukuisia 3D-tulostettuja osia. Tästä huolimatta lisäävän valmistuksen hyödyntäminen valmistusprosesseissa on vielä monilta osin alkutekijöissään myös tällä teollisuudenalalla.

BAE on yksi maailman suurista lentokonevalmistajista valmistuen mm. F-35 Lightning II, Typhoon ja Hawk -hävittäjiä. Se työllistää yli 13000 työntekijää Englannissa, Saksassa ja Yhdysvalloissa. AM (Additive Manufacturing eli Lisäävä Valmistus) on VR:n (Virtual Reality, virtuaalitodellisuus) kanssa

osa BAE:n tuotannon kehityspolkua. AM:n hyödyntäminen on lähtenyt BAE:lla käyntiin jo 25 vuotta sitten stereolitografialla, nyt käytössä ovat mm. SLM, SLS ja lankasyöttöinen lisäävä valmistus.

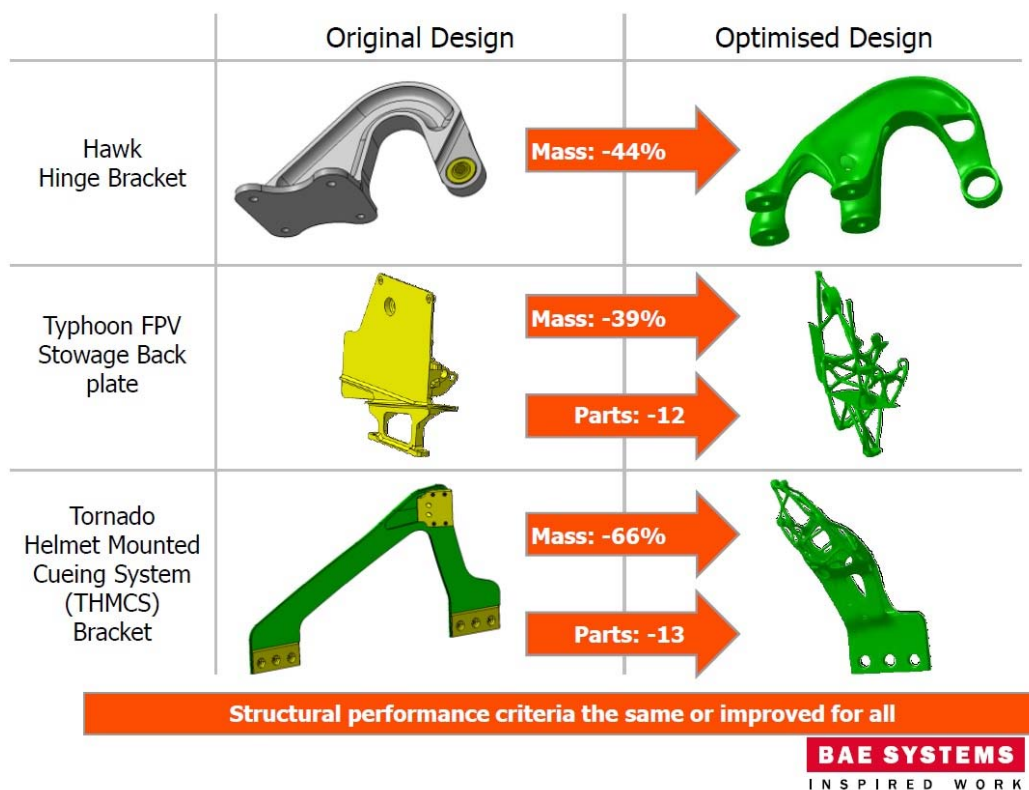
Vuonna 2015 BAE käynnisti "New Products & Process Development Center" -yksikön lisäävän valmistuksen hyödyntämiseen. Vuoden 2015 aikana yksikössä valmistettiin 2500+ komponenttia lisäävällä valmistuksella. Vuonna 2016 AM -komponentteja valmistettiin yhteensä 2899. Yhteistyötä lisäävän valmistuksen osalta tehtiin yliopistojen, tutkimuslaitosten ja yhteistyökumppanien kanssa eri lentokonealustojen osalta. Vuoden 2016 aikana valmistui myös BAE:n ensimmäinen hyväksytty/sertifioitu metallinen AM osa lentokoneeseen. **Valmistus ja materiaalikustannukset laskivat 36% per valmistettu osa ja läpimenoaika lyheni 62%.**

Lentokoneiden elinkaari on helposti jopa 60 vuotta suunnittelusta valmistukseen ja sitä voidaan vielä jatkaa elinkaaren loppupuolella erilaisten päivitysten avulla. Tämä on haasteellista AM:n kannalta, sillä miten "vasta tulossa oleva" valmistusmenetelmä voidaan ottaa tehokkaasti huomioon suunnittelussa, joka tähtää valmistuksen aloittamiseen useiden vuosien päästä?

Kun BAEn insinöörejä pyydettiin vuonna 2014 visioimaan lisäävän valmistuksen mahdollisuuksia tulevaisuudessa, esittelivät he konseptin siitä, miten 3D-tulostettuja miehittämättömiä lennokkeja, "droneja", voidaan valmistaa lentokoneessa matkalla kohteeseen. Valmistettavat lennokit voidaan räätälöidä ominaisuuksiltaan juuri tiettyä tehtävää varten. Vaikka tämä vielä tuolloin tuntuikin tieteiselokuvien tuotteelta, on vuoden 2016 aikana yhdysvaltojen armeijan tutkimuslaitos esitellyt ja testannut vastaavaa konseptia, jossa 3D-tulostamalla valmistetaan 24 tunnin sisällä tehtäväkohtaisesti räätälöityjä lennokkeja.

Metallin lisäävään valmistukseen liittyen Duncan nosti esille **valmistusprosessin lämmönhallinnan** (Thermal Management) ja miten se on olennaisen tärkeä osa suunnittelu- ja valmistusprosesseja. Lämmönhallinta on huomattavasti haastavampaa kuin nopeasti ajatellen voisi kuvitella, ja sen hallitseminen vaatii yleensä useita suunnitteluiteraatioita valmistusprosessissa. **Muita tärkeitä huomioita olivat jauheen hallinta ja kierrätys (mm. jauheen säilytysolosuhteet), skannausstrategia (jauheen sulatuksessa), prosessidokumentaation päivittäminen (opittujen asioiden kirjaaminen ylös) sekä yhteistyö eri toimijoiden kanssa.**

Dunstan esitteli myös useita esimerkkejä kappaleista, joiden suunnittelussa on hyödynnetty topologian optimointia, ja joiden valmistaminen lisäävällä valmistuksella on merkittävästi perinteistä tapaa parempi.



Kuva 2: Esimerkkejä topologian optimoinnin ja lisäävän valmistuksen hyödyistä. Lähde: "Additive Manufacture in BAE -Systems - Next steps to printed Aircraft", John Dunstan, Formnext 15.11.2016

2.3. Nanopartikkelien suihkutusmenetelmä

Dror Danai, Xjet, "NanoParticle Jetting"

Xjet -yrityksen esitys, oli yksi seminaarin mielenkiintoisimmista esityksistä johtuen siitä, että kyseessä on markkinoille tulossa oleva, uudenlaiseen tekniikkaan perustuva metallin 3D-tulostinlaite.

Vaikka laite tulee markkinoille vasta nyt, Xjet on yli 10 vuotta vanha yritys jolla on 70 työntekijää. Työntekijöillä on pitkä tausta lisäävän valmistuksen pioneiriyrityksistä (mm. Objet) joka onkin osasy siihen, että uusi valmistusmenetelmä on kehitetty binder jetting –menetelmään pohjau-

tuen. Valmistusmenetelmän potentiaali kiinnostaa myös useita suuryrityksiä joka on varmistanut sen että yrityksen rahoitus on vakaalla pohjalla – omistajista löytyy tätä nykyä mm. Autodesk.

Kyseessä on nanopartikkelien suihkutukseen perustuva metallin 3D-tulostuslaitteisto. Menetelmässä metalliaineen nanopartikkelit on sekoitettu sidosnesteeseen jonka avulla aine saadaan kuljetettua haluttuun pisteeseen tulostusalueella. Sidosneste suihkutetaan suuttimista tulostettavaan kohteeseen korkeassa lämpötilassa, jolloin sidosaine höyrystyy pois jättäen jäljelle ainoastaan metallin nanopartikkelit. Kyseessä ei ole metallin sulatusmenetelmä, sillä lämpötila ei missään vaiheessa nouse metallin sulamispisteeseen saakka. Vaikka metallia ei sulateta, on valmistettavalla kappaleella yrityksen mukaan "täydelliset materiaaliominaisuudet": tiheys metalleilla 100 % ja karbideilla 99,9 %. 3D-tulostuksen muiden menetelmien tapaan suihkutusta jatketaan kerros kerrokselta kunnes kappale on valmis.

Yritys mainostaa kehittämäänsä menetelmää ensimmäisenä "oikeana" metallin 3D-tulostusmenetelmänä sillä tulostuksessa käytetään inkjet -tulostuspäitä. Laitteessa on 24 tulostuspäätä, joissa jokaisessa on 510 suutinta, ja tulostusnopeus on 18000 pisaraa sekunnissa. Pisarakoko on pikolitratasoa ja nanopartikkelien käyttäminen tulostusmateriaalina mahdollistaa tarkat piirteet (esimerkiksi hyvin ohuet seinämät) ja pienetkin kerroskorkeudet. Laite onkin erittäin tarkka, yrityksen mukaan jopa alle 2 mikronin kerrokset ovat mahdollisia.

Laitetta mainostetaan "5 kertaa nopeampana" kuin metallin sulatukseen pohjautuvia menetelmiä, mutta mainoslauseella tarkoitetaan lähinnä laitteen skaalattavuutta. Koska menetelmä ei pohjautu laseriin vaan tulostuspäihin, on tulostusalueen koko helpommin skaalattavissa peruslaitteen 500 mm tulostusalueesta myös suurempiin kokoluokkiin. Valmistettavien kappaleiden kokoon tällä ei sinänsä ole vaikutusta sillä se on suunniteltu pienten kappaleiden valmistusta varten. Laitteella ei ole edes valmistettu tulostusalueen sallimia suurempia kappaleita. Yrityksen mukaan suurempien kappaleiden valmistaminen pitäisi periaatteessa onnistua, mutta niiden materiaaliominaisuuksien varmentaminen vaatii vielä aikaa.

Laitteessa käytetään kahta eri materiaalia: raaka-ainetta sekä tukimateriaalia. Tukimateriaali on lämpöhajoavaa ja eri materiaalia kuin varsinainen tulostusmateriaali. Kumpaakin materiaalia voidaan tulostaa samanaikaisesti mahdollistaen tulostuksen ilman geometriarajoitteita. Materiaali

syötetään koneeseen kaseteissa, mikä puolestaan mahdollistaa turvallisen käsittelyn ilman suoja-varusteita.

Kappaleiden tukirakenteita ei suunnitella erikseen vaan ne muodostuvat automaattisesti. 3D-tulostuksen jälkeen kappale kuumennetaan uunissa jolloin tukimateriaali sulaa pois. Tämä tarkoittaa sitä, että tukirakenteen poisto on automaattinen työvaihe johon ei kulu työntekijöiden aikaa. Metallitulosteiden osalta tukirakenteen poisto ja jälkiprosessointi on usein hyvin työlästä ja hidasta, joten on ymmärrettävää että Xjetin ratkaisu herättää kiinnostusta.

Tällä hetkellä tulostusmateriaalina ovat vain metallit ja karbidit mutta yritys on jo pitkällä keraamin (zirkonian) sertifioinnissa tulostusmateriaaliksi.

Laitteiden myynti alkaa vuonna 2017. Laitteiden hintaa ei ole vielä julkaistu, mutta tulee olemaan samassa hintaluokassa tai hieman kalliimpi kuin muut metallin 3D-tulostuslaitteet.

2.4. Tiistain muita esityksiä

Päivän muiden esitysten sisältö vaihteli joidenkin yritysten omista mainoksista lisäävän valmistuksen yleisiin etuihin ja hyviin puoliin sekä markkinanäkymien ennustamiseen.

Yleisistä eduista painotettiin jo vakiintunutta mantraa, jonka mukaan lisäävässä valmistuksessa "erä koko ei vaikuta kustannuksiin", "monimutkaisuus on ilmaista" ja "painon pudotuksella vähennetään valmistuskustannuksia". Kaikki näistä eivät luonnollisesti pidä paikkaansa kaikissa tapauksissa - esimerkiksi riippuen valmistettavasta materiaalista sekä käytetystä lisäävän valmistuksen menetelmästä, kappaleen geometria voi vaikuttaa valmistushintaan merkittävästikin jälkikäsittelykustannusten vuoksi.

Lisäksi painotettiin sitä, että kun yritys on ottamassa ensimmäisiä askeleitaan lisäävän valmistuksen parissa, on suuri merkitys sillä, onko yrityksessä tehtävä "ensimmäinen valmistettu osa" käytettävissä demonstraatiotarkoituksiin vai ei. Jos onnistunutta esimerkkiä ei ole esitellä, on muutosvastarinnan määrä yleensä huomattavasti suurempi ja lisäävän valmistuksen etujen koulutta-

minen työntekijöille työläämpi urakka.

Energieeinsparung SLM-Titan-Bauteil

AM Design

Gewicht: ca. 195 g

Fertigung:

SLM-Prozess:

1231 MJ/kg Ti64 Bauteil

= 67 kWh per Bracket

Betrieb:

135g weniger Gewicht:

0.02 l weniger Kerosin/Flug

22 l bei 1100 Flügen/Jahr

660 l über 30 Jahren



Konventionelles Design

Gewicht: 330 g

Fertigung:

Zerspanung:

193 MJ/kg Halbzeug

+ 15 MJ/kg Späne

= 126 kWh per Bracket

<http://www.3dnatives.com/wp-content/uploads/bourget/25-1024x768.jpg>

Kuva 3: esimerkki hyödyistä joita 3D-tulostetulla, topologia-optimoidulla kappaleella voidaan saavuttaa perinteiseen valmistusmenetelmään nähden. Lähde: Dr. Christoph Klahn/Inspire, "Success Factors for Additive Manufacturing Products", Formnext 2016

2.4.1. Lisäävän valmistuksen seuraava sukupolvi

Bernhard Langefeld, Roland Berger GmbH, "Additive Manufacturing - next generation AMnx"

Roland Berger -konsulttitoimiston esityksessä käytiin läpi heidän viimeisimmän AM-selvitystyönsä ("Additive Manufacturing - next generation AMnx" -raportti) tulosten esittelyä. Esityksessä käytiin läpi mm. GE:n viimeaikaisia hankintoja (Arcam ja Concept Laser) ja mitä vaikutuksia sillä on markkinoihin, laitevalmistukseen ja kysyntään. Pelkästään GE:n omat sisäiset tarpeet seuraavan 10 vuoden aikana eri toimialoilla (ilmailu, terveydenhuolto, huolto ja tuotekehitys) ovat yli 1000 metallin 3D-tulostinlaitetta. GE on laskenut, että lisäävän valmistuksen yksikön tuotto Arcamin ja Concept Laserin hankinnan jälkeen kääntyy voitolliseksi vuodesta 2021 lähtien.

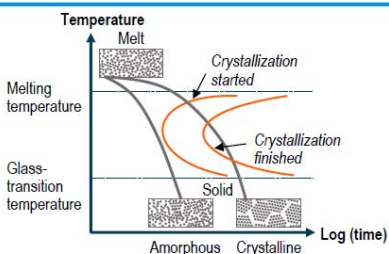
Lisäävän valmistuksen markkinoiden koon ennakoidaan kasvavan 40% vuodessa ainakin vuoteen 2021 saakka. Tämä aiheuttaa suuria haasteita laitevalmistajille: Jos kasvu jatkuu yhtä suurena kuin viime vuosina, täytyisi laitevalmistajien kasvaa samaa vauhtia ylläpitääkseen markkinoiden kasvua.

Yhtenä suurista haasteista katsotaan olevan ohjelmistoketjun kehittäminen - lisäävän valmistuksen tuotepolun yhdistäminen suunnittelusta valmistukseen ja dokumentointiin. Tällä hetkellä ohjelmistoketju muodostuu useista eri palasista jotka eivät vielä täydellisesti keskustele keskenään. Suunnitteluohjelmien tekijät eivät usein tarjoa saumatonta liitäntää esimerkiksi topologian optimointia varten, tai ota huomioon loppuvaiheen valmistusprosessin tarpeita.

Materiaalien osalta Bergerin esityksessä nostettiin esiin kiteytymättömien (amorphous) metallien lisäävä valmistus. Kiteytymättömissä metalleissa yhdistyvät suuri lujuus suureen elastisuuteen ja niillä on useita hyödyllisiä ominaisuuksia. Valmistus perinteisillä menetelmillä (kuten valamalla) on kuitenkin haastavaa ja valmistusprosessista johtuen valmistettavan kappaleen materiaalipaksuus rajattua. Lisäävän valmistuksen käyttäminen valmistuksessa poistaisi rajoituksia mahdollistaen uudet käyttökohteet ja suuremmat materiaalipaksuudet.

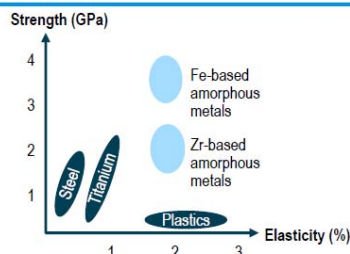
Amorphous metals: Introduction

Metallurgical process



- > Alloy with suitable **glass-forming ability** needed to produce amorphous metals, e.g. Fe-, Zr- or Ti-based
- > High cooling rates lead to amorphous (non-crystalline, i.e. disordered) atomic structure
- > Achievable cooling rate limits **maximum material thickness** with traditional manufacturing methods, e.g. casting
- > The amorphous atomic structure determines specific material characteristics

Mechanical properties



- > Amorphous metals combine **high strength and high elasticity**
- > They offer high hardness, corrosion resistance, conductivity, biocompatibility and self-sharpening properties
- > **Ductility and fatigue strength** are typically below that of crystalline metal – research has shown that fatigue strength can be improved by reinforcing amorphous matrix with nanocrystals
- > Ferromagnetic amorphous alloys furthermore offer **high magnetic susceptibility with low coercivity** and high electrical resistance

Kuva 4: Kiteytymättömien metallien ominaisuuksia. Lähde: Roland Berger, "Additive Manufacturing - next generation AMnx", Formnext 15.11.2016

Muita huomioita Bergerin esityksestä olivat:

- Metallijauheiden valmistuksen halpeneminen uusien valmistusprosessien myötä: Uudet valmistusmenetelmät voivat laskea jauheen hintaa jopa 50 %.
- 3D-tulostuslaitteiden hintojen lasku: Patenttien raukeaminen ja kasvava kilpailu painaa koneiden hintaa alaspäin. Laserien määrä metallin 3D-tulostuslaitteissa tuskin enää kasvaa sil-

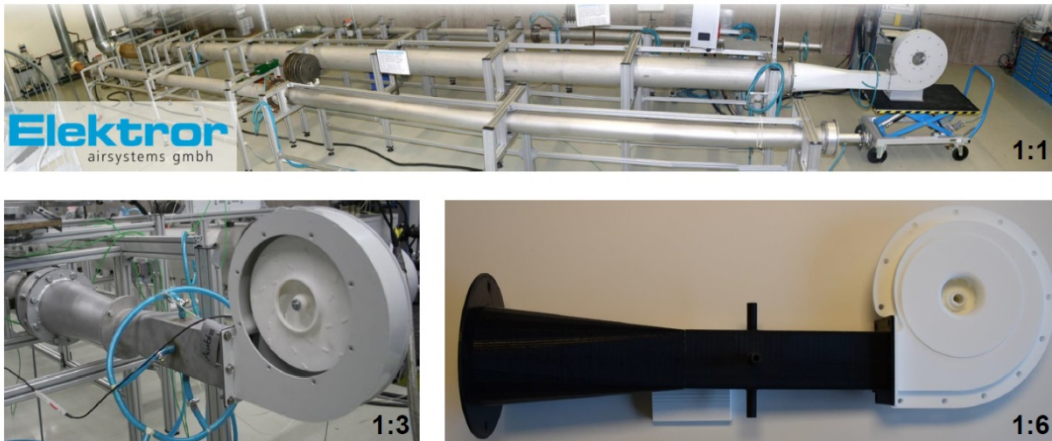
lä kyseessä on usein koneen kallein komponentti.

- Automaation ja modularisoinnin määrä lisäävän valmistuksen laitteissa kasvaa. Jatkossa laitteet eivät ole enää yksittäisiä koneita, vaan kehityksessä siirrytään kohti valmistuslinjoja, joissa on yhdistettynä jauheen syöttö, purkaminen ja kappaleiden jälkikäsittely useiden tuotantolaitteiden välillä.
- Esimerkkejä tulevasta automaatiosta, jota valmistajat ovat jo esitelleet:
 - o ExOne on kehittänyt täysin automaattisen tuotantolinjan hiekkamuottien valmistukseen jossa yhdistyvät tulostuslaite, uuni, hiekanpoisto ja kappaleen purkupiste.
 - o EOS on esitellyt modularisoidun ratkaisun metallin 3D-tulostukselle joka muodostuu valmisteluyksiköstä, purkuyksiköstä, tulostusyksiköistä ja jauheenkäsittely - yksiköstä. Automatisoitu vihivaununjärjestelmä kuljettaa tuotteita yksiköiden välillä.
 - o Additive Industries on esitellyt MetalFAB1 laitteiston, jossa yhdistyy tulostuskammio, jauheenpoisto ja varasto (<http://additiveindustries.com/systems/metalfab1>)

2.4.2. Pikavalmistuksen hyödyntäminen teollisten tuulettimien kehityksessä ja optimoinnissa

Anna-Lena Luiz, Elektror airsystems GmbH, "Deployment of Rapid Prototyping in the development and optimization of industrial fans"

Päivän viimeisenä puheenvuorona oli Elektror -yrityksen edustajan esitys teollisten tuulettimien kehityksestä ja optimoinnista lisäävän valmistuksen keinoin. Esityksessä käytiin läpi yrityksen tapaa hyödyntää lisäävää valmistusta prototyyppien valmistamisessa. Suurimpana huomiona jäi mieleen se, miten tiettyjen prototyyppien valmistaminen lisäävän valmistuksen keinoin voi olla hankalaa. Tuulettimien prototyyppien kustannustehokas valmistaminen 3D-tulostamalla vaatii tällä hetkellä tuotteiden skaalausta pienempään kokoluokkaan. Kun kokoluokkaa skaalataan pienemmäksi, myös laitteiston ja moottorien hyötikäyrät muuttuvat. Tämä tarkoittaa tuulettimien osalta mm. sitä, että pienemmän kokoluokan siivekkeiden pinnanlaatu on oltava tasaisempi jotta tehokäyrä saataisiin vastaamaan todellista kappaletta.



Kuva 5: esimerkkejä eri mittakaavaan skaalatusta prototyypistä, Lähde: Anna-Lena Luiz/Elektorr airsystems gmbh, "Deployment of Rapid Prototyping in the development and optimization of industrial fans", Formnext 2016

Pinnanlaadun lisäksi myös tuulettimien korkea kierrosluku aiheuttaa haasteita materiaalille. Rajoitukset (tasalaatuisuus, pinnanlaatu, mittatarkkuus, tukimateriaalin puute, hinta, koneistusmahdollisuus) tarkoittivat yrityksen tapauksessa sitä, että ainoa sopiva valmistusmenetelmä oli SLS.

Haasteista huolimatta merkittävänä etuna nostettiin esille valmistusajan tippuminen 3-4 päivään aiemman 3 viikon sijaan, ja muutosten tekemisen mahdollisuus aina valmistuspäivään saakka. Merkittävistä hyödyistä johtuen lisäävän valmistuksen käyttö prototyyppien valmistukseen on yrityksessä nykyisin vakiokäytäntöä.

3. KESKIVIIKKO

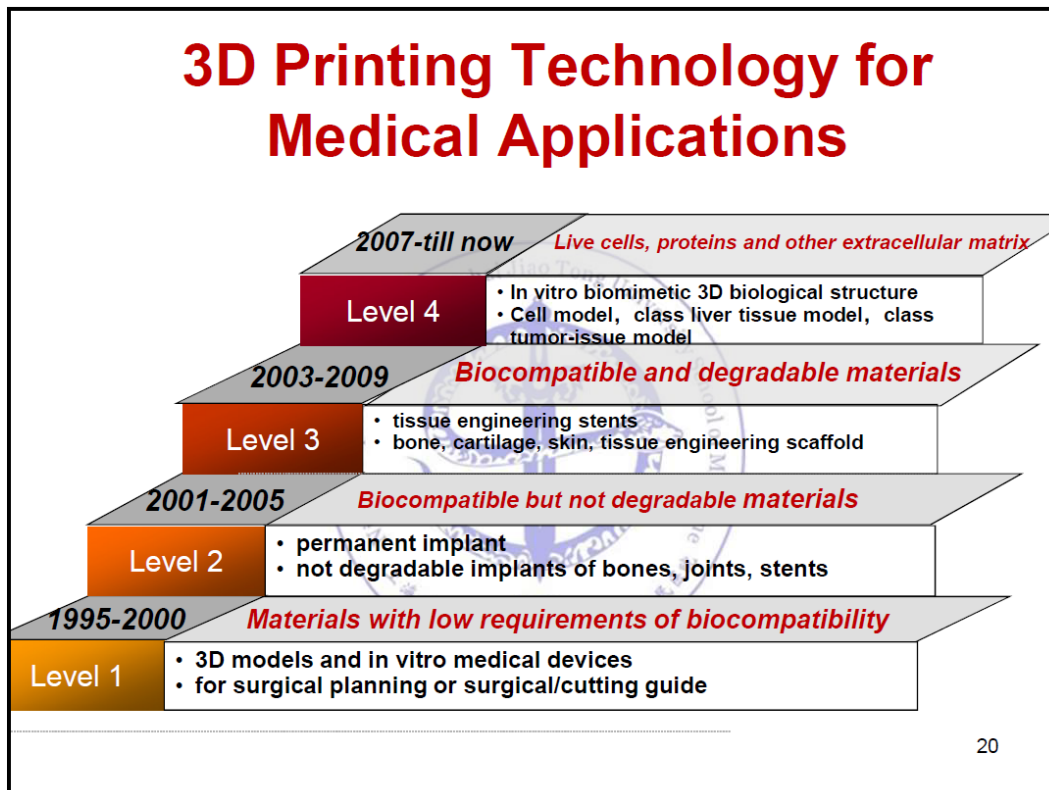
3.1. Lisäävän valmistuksen käyttö yleistyy terveydenhuollossa

Tsung-Yuan Tsai, Kerong Dai, Shanghai Ninth People's Hospital, "Additive Manufacturing Technology is Widely Entering Medical Field – Shanghai Experience"

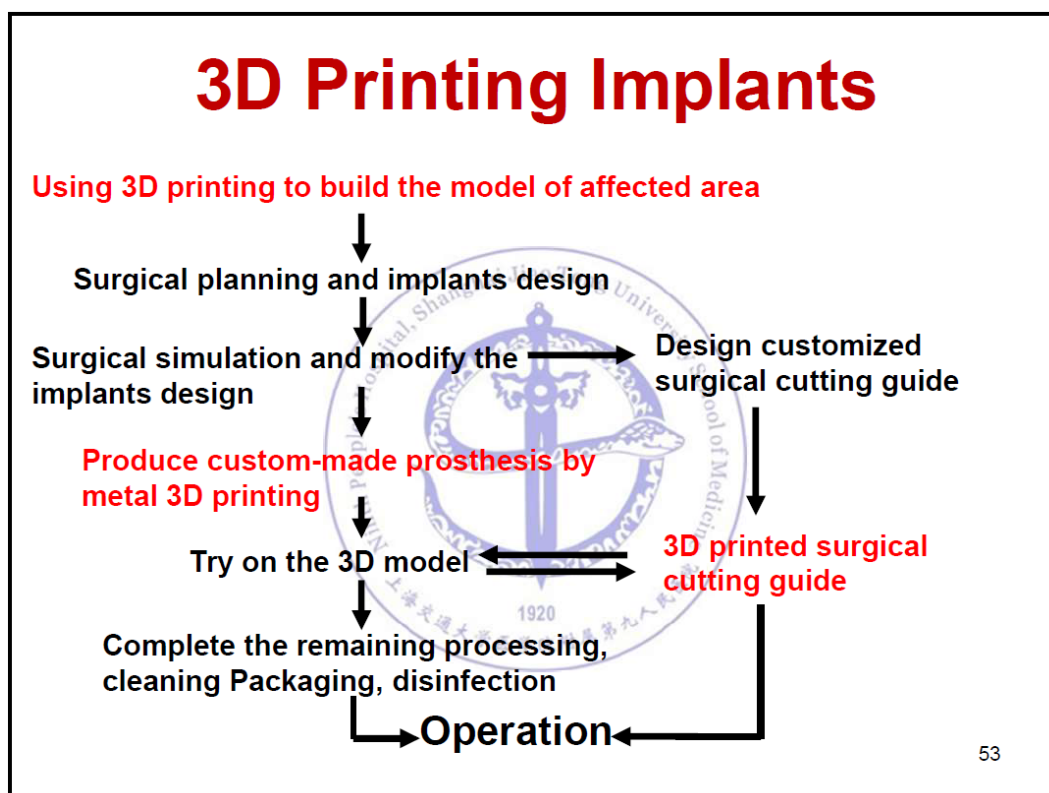
Shanghai Ninth People Hospital (myöhemmin SN9) on Kiinan johtava sairaala lisäävän valmistuksen tutkimuksessa, kehittämisessä ja soveltamisessa. Sairaalalla on maan ensimmäinen "clinical translational" tutkimuskeskus ja omia metallin 3D-tulostuslaitteita. Kiinassa ei ole vielä toistaiseksi lakia tai säännöstä joka sallisi 3D-tulostettujen implanttien asennuksen potilaisiin mutta SN9 -sairaalalle on myönnetty poikkeuslupa 3D-tulostettujen, asiakasräätälöityjen implanttien käyttöön ainoana sairaalana Kiinassa.

Lisäävän valmistuksen käyttäminen ei ole uusi asia, sillä SN9 on hyödyntänyt 3D-tulostusta paperitulosteiden muodossa jo 90-luvulla. Metallin 3D-tulostus on kuitenkin verrattain uusi asia, ja esimerkiksi vuonna 2014 sairaalassa asennettiin ensimmäinen metallista valmistettu lantioproteesi. Esitys oli yhdistelmä yleistietoa 3D-tulostuksen eduista ja mahdollisuuksista, käytöstä terveydenhuollon sovelluksiin maailmalla sekä esimerkkejä siitä, miten SN9 on hyödyntänyt 3D-tulosteita tähän mennessä.

Medikaalipuolen käyttöalueet jaoteltiin esityksessä neljään eri tasoon, jonka jälkeen esiteltiin jokaisen tason osalta sairaalan toteuttamia käytännön esimerkkejä seurantatietoineen. Erityisen mielenkiintoiseksi esityksen tekikin juuri se, että siinä esiteltiin 3D-tulostamalla valmistettujen implanttien seurantavaiheita vuosia implantin asentamisen jälkeen.



Kuva 6: 3D-tulostuksen käyttötasot medikaalipuolen sovelluksissa, Lähde: Tsung-Yuan Tsai, Kerong Dai, "Additive Manufacturing Technology is Widely Entering Medical Field – Shanghai Experience" Shanghai Ninth People's Hospital, Formnext 2016



Kuva 7: 3D-tulostettujen implanttien valmistuksen vaiheet, Lähde: Tsung-Yuan Tsai, Kerong Dai, "Additive Manufacturing Technology is Widely Entering Medical Field – Shanghai Experience" Shanghai Ninth People's Hospital, Formnext 2016

Esityksessä nostettiin esille myös muita käyttökohteita maailmalta, kuten silmäproteesien valmistus. Silmäproteesien valmistus on perinteisesti kallista käsityötä joka kestää **8-10 viikkoa**. Brittiläinen yritys valmistaa silmäproteeja 3D-tulostamalla, valmistuen 150 räätälöityä silmäproteesia **tunnissa**.

Viimeisenä tasona medikaalipuolen sovelluksissa esiteltiin biotulostus, jonka kehitysvauhti viime vuosina on ollut huimaa. Biotulosteiden kehityksellä esimerkiksi regeneratiiviselle lääketieteelle (esim. elinten valmistamiseen 3D-tulostamalla) on kova tarve maailmanlaajuisesti, sillä vain yksi prosentti potilaista, jotka odottavat maksa-, munuais- tai sarveiskalvosiirrännäistä saa sen ajoissa. Ainoa tapa vastata kysyntään on biotulostuksen kehitys. Mikäli kehitysvauhti jatkuu samana, ensimmäiset biotulostetut elimet nähdään jo 2020 -luvulla.

Esityksen loppukaneettina todettiin "kirurgin mielipiteenä", että 3D-tulostuksen vaivattomuus, yksinkertaisuus ja tarkkuus asiakasräätälöityjen mallien, leikkausohjureiden ja implanttien valmistamisessa on niin merkittävä, että paluu aiempaan tapaan toimia ei ole mielekäästä.

3.2. Lisäävä valmistus ja varaosat

Stefanie Brickweden, Deutsche Bahn AG, "Von Klonen, Mutanten und der Spinne im Netz - 3D Druck bei der Deutschen Bahn"

Yksi päivän mielenkiintoisimmista esityksistä oli Deutsche Bahnin edustajan edistys siitä miten saksan rautatiet ovat käyttöönottamassa lisäävää valmistusta varaosien valmistamiseen.

Deutsche Bahn on aloittanut noin vuosi sitten projektin, jossa tutkitaan lisäävän valmistuksen mahdollisuuksia varaosien valmistamisessa. Projektin aikana on valmistettu 400 osaa (45 eri nimikettä) joiden avulla on testattu 3D-tulostettujen osien ja lisäävän valmistuksen valmistusmenetelmien soveltuvuutta varaosakäytössä. Valmistetuista osista 200 kpl on jatkuvassa testikäytössä to-

dellisessa käyttöympäristössä saksalaisissa junissa. Varaosien materiaalina ovat sekä muovi- että metalliosia. Käyttökohteena ovat olleet erilaiset "kulutusosat" mutta ei vielä varsinaisesti junien toiminnan kannalta kriittiset komponentit.

DB:n 3D-tulostamalla valmistamien varaosien koko vaihteli pienistä muovinippeleistä tuuletusriti-
löihin ja mm. penkkien rakenteisiin.



Kuva 8: 3D-tulostettuja varaosia DB:n juniin, Lähde: Stefanie Brickweden, Deutsche Bahn AG, "Von Klonen, Mutanten und der Spinne im Netz - 3D Druck bei der Deutschen Bahn", Formnext 2016

Projektin valmistusmenetelmien osalta kokemukset olivat hyvin samankaltaisia kuin muissakin seminaarin aikana esitellyissä tapauksissa, eli valmistusmenetelmä tulee valita kappaleen mm. materiaalin, koon, hinnan ja käyttökohteen mukaan. Kappaleiden valmistuksessa on hyödynnetty sekä omia laitteita joita ovat lähinnä muovin 3D-tulostimet, että yhteistyökumppanien ja palveluntarjoajien valmistuskapasiteettia.

Kokemukset varaosien valmistuksesta lisäävän valmistuksen keinoin ovat vielä alustavia. Lisätutkimusta ja käyttöttestausta tarvitaan vielä lisää, mutta alku on ollut lupaava. Konservatiivinen arvio

3D-tulostuksen hyödyntämisestä DB:n varaosatuotannossa voisi olla n. 15000 tulostetta vuodessa. Tämä arvio on huomattavasti konservatiivisempi kuin esimerkiksi Siemensin visioima n. 6-8 % valmistusosuus kaikista varaosista omissa toiminnoissaan.

Varaosien valmistus 3D-tulostamalla mahdollistaisi paitsi varastojen pienentämisen myös kappaleiden valmistamisen juuri siellä, missä varaosaa tarvitaan. Myös mahdolliset päivitykset osien toiminnallisuuksiin olisivat mahdollista ilman lisäkustannuksia varaosien vaihtamisen yhteydessä.

DB on liittynyt mukaan "Mobility goes Additive" -verkostoon (<http://mobilitygoesadditive.com>), joka on kansainvälinen kuljetus- ja logistiikka-alan verkosto lisäävän valmistuksen hyödyntämisessä. Verkostossa on osapuolina yrityksiä, oppilaitoksia ja tutkimuslaitoksia.

3.3. Sarjatuotannon haasteet lisäävässä valmistuksessa

Felix Haeckel, BMW Group, "Technological Challenges for Automotive Series Production in Laser Beam Melting"

BMW -konsernin esityksessä käytiin läpi sarjatuotannon aiheuttamia haasteita jauhepetitekniikkaan pohjautuville lisäävän valmistuksen järjestelmille. Sarjatuotanto edellyttää, että valmistusprosessin toistettavuus ja laatu pysyvät vakiona.

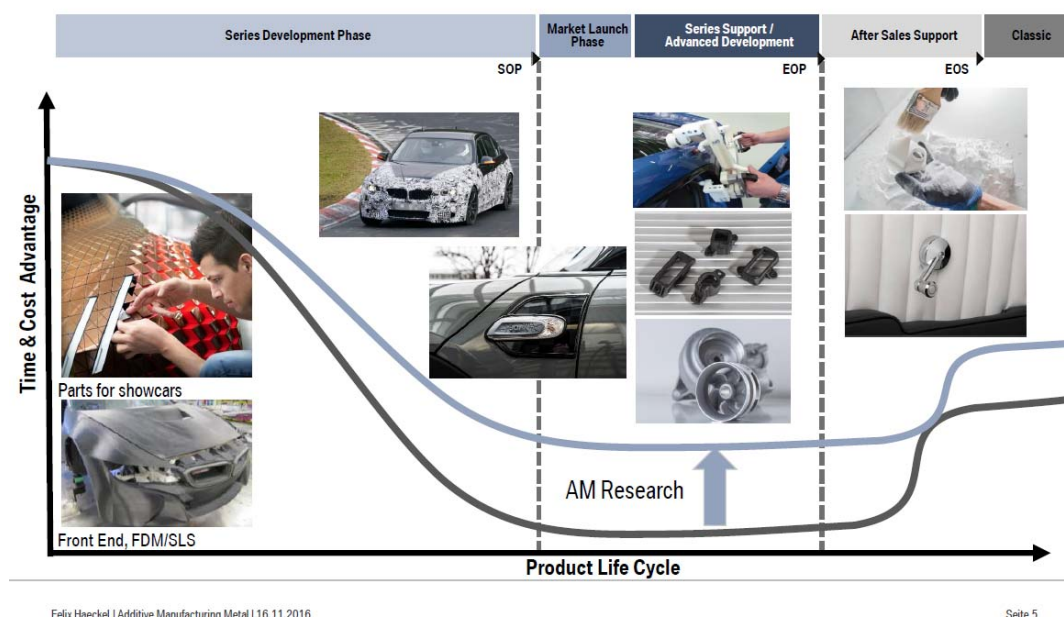
Yksi merkittävistä haasteista sarjatuotannon kannalta on BMW:n tutkimusten perusteella se, että kun tulostusalueelle pakataan osia tiheämmin, nousee laatuongelmien määrä merkittävästi. Esiteytissä tutkimuksessa oli tutkittu kappaleiden materiaali tiheyksiä kun tulostusalueelle oli pakattu valmistettavia kappaleita kolmella eri tiheysasteella. Pääosa ongelmista johtuu metallijauheen sulatusprosessissa tapahtuvista roiskeista, jotka aiheuttavat kappaleisiin huokoisuutta.

Tulostusalueen pakkaus mahdollisimman tiheästi on sarjatuotannon ja kustannusten laskemisen kannalta tärkeää, mutta pakkaustiheyden kasvaessa laatuongelmat vaikuttavat kasvavan niin merkittävästi, että tietyn tiheysasteen jälkeen valmistettujen kappaleiden tiheys ja laatu eivät enää täytä valmistuskriteereitä.

Vaikka esityksessä keskityttiinkin lähinnä metalliosien valmistukseen jauhepetitektiikalla, kerrottiin myös hieman taustoja siitä miten BMW hyödyntää lisäävää valmistusta toiminnassaan. Yrityksellä on omassa käytössään miltei kaikki lisäävän valmistuksen tekniikat eri valmistajien laitteilla, onhan yritys ollut lisäävän valmistuksen parissa tekemisissä jo 90-luvulta, eli tekniikan kehityksestä saakka. Omista laitteista huolimatta osa valmistuksesta on järkevämpää tehdä alihankintana ulkopuolisilta tahoilta. Sama asia mainittiin useissa muissakin esityksissä - vaikka yrityksellä olisikin AM-laitteet, on kustannussyistä usein halvempaa hankkia palvelu ulkopuolelta.

Myös varaosien valmistus nousi esiin - BMW:n jälkimyyntin yksikkö käyttää jo tälläkin hetkellä lisäävää valmistusta joidenkin varaosien valmistukseen.

TECHNOLOGICAL CHALLENGES IN LASER BEAM MELTING. ADDITIVE MANUFACTURING AT BMW.



Kuva 9: Lisäävän valmistuksen hyödyt autovalmistajan näkökulmasta, Lähde: Felix Haeckel/BMW, Formnext 2016

3.4. IP ja lisäävän valmistuksen uhkia

Andreas Leupold, Leupold Legal, "Securing your IP and business secrets"(Sicherung von geistigem Eigentum und Geschäftsgeheimnissen bei additiven Fertigungsverfahren)

IP- ja lakiasiat ovat lisäävän valmistuksen osalta erittäin ajankohtaisia, sillä lisäävään valmistukseen liittyy mahdollisuuksien lisäksi myös paljon konkreettisia uhkia ja riskejä, eikä valtioiden tai Euroopan Unionin lainsäädäntö ole asiassa vielä ajan tasalla.

Saksan taloudelle aiheutuu vuosittain 51 miljardin euron edestä tappiota teollisuusvakoilun, sabotoinnin ja tietovarkauksien johdosta. Tutkimuslaitos Gartner puolestaan ennustaa että vuonna 2018 3D-tulostus aiheuttaa teollisuudelle noin 90 miljardin euron immateriaaliomaisuuden tappion.

Esitys alkoi muutamalla esimerkillä siitä, minkä tyyppisiä riskejä lisäävässä valmistuksessa voisi pahimmillaan olla. Singaporessa on tehty tutkimus, jossa nauhoitettiin kännykällä 3D-tulostimen ääni tulostuksen ajan. Nauhoitetun äänen perusteella pystyttiin valmistamaan 90 % kopio valmistetusta tuotteesta - pohjana pelkästään puhelimen nauhoittama ääni!

Sivuhuomautuksena esityksessä esitettyyn esimerkkiin: Tutkimus on ilmiselvästi suunniteltu kulmakarvoja nostattavaksi, sillä kyseessä on pursottavaan tekniikkaan perustuva laite, josta tulostuslaitteen tulostuspään liikkuminen x, y ja z-akseleilla kuuluu selvästi. Teollisen tason 3D-tulostimet ovat usein laserpohjoisia jauhepetitulostimia joissa vastaavaa ääntä ei kuulu.

Toinen esimerkki koski 3D-tulostettujen lennokkien valmistamista. Esimerkkitapauksessa tulostustiedostojen säilytyspaikkaan murtauduttiin, ja tulostustiedostoja muokattiin. Muokkaus toteutettiin lennokin sisäisiin rakenteisiin siten, että päällepäin valmiista tulostuksesta ei eroa havaitse mutta lennokin tasapaino muuttuu olennaisesti. Tästä johtuen valmistetut lennokit eivät olleet valmistuskelpoisia

Sivuhuomautus: kyseessä enemmänkin tietoturvaan liittyvä esimerkki, sillä tapahtuneessa tietomurrossa on muokattu valmistuskuva. Esimerkki on kuitenkin hyvä siitä johtuen, että 3D-tulostustiedostoa käsittelevä henkilö ei yleensä ole suunnittelusta vastannut henkilö, joten mahdolliset muutokset mallitiedostoon voivat käydä ilmi vasta lopputuotetta käyttäessä, pitkänkin ajan kuluttua.

Saksassa IP –laki on muuttunut siten, että liikesalaisuus täytyy yrityksen puolesta aktiivisesti salata jotta se katsottaisiin salaiseksi tiedoksi. Mikäli yritys ei pysty näyttämään toteen että näin on tehty,

ei se voi vedota tiedon olevan salaista.

Esille nousi tuttuun tapaan myös 3D-skannauksen ja 3D-tulostuksen tuoma "uhka" (tai mahdollisuus, riippuu tarkastelukulmasta), eli käänteisen suunnittelun helppous. Monessa sovelluskohteessa kopiointi on helpottunut olennaisesti, sillä kappaleen muoto voidaan ottaa talteen 3D-skannaamalla, joka mahdollistaa objektin täydellisen kopioinnin ilman suunnitteluosaamista.

3D-mallien osalta tekijänoikeus on voimassa vain, mikäli kyseessä on taiteellinen teos. Puhtaasti tekniset muodot eivät saa tekijänoikeuden suojaa, joten tuotteiden varaosien valmistus ja kopiointi ei välttämättä ole edes rikos!

Tekijänoikeuden paranneltuihin osiin sen sijaan kuuluvat sille, joka on viimeisimmän muodon tehnyt, ellei omistussuhdetta määritetä erikseen sopimuksella. Käytännön esimerkkinä tästä on yritys, joka ostaa suunnittelutoimistolta jonkin tuotteen jatkokehityksen. Vaikka pohjana käytettäisiin olemassa olevaa tuotetta, jatkokehitetyn tuotteen tekijänoikeudet ovat suunnittelutoimistolla.

Asia on otettava huomioon erityisesti silloin, kun käytetään freelancereita, tai joukkoistamista.

3.5. Keskiviikon muita esityksiä

3.5.1. Keraamin lisäävä valmistus

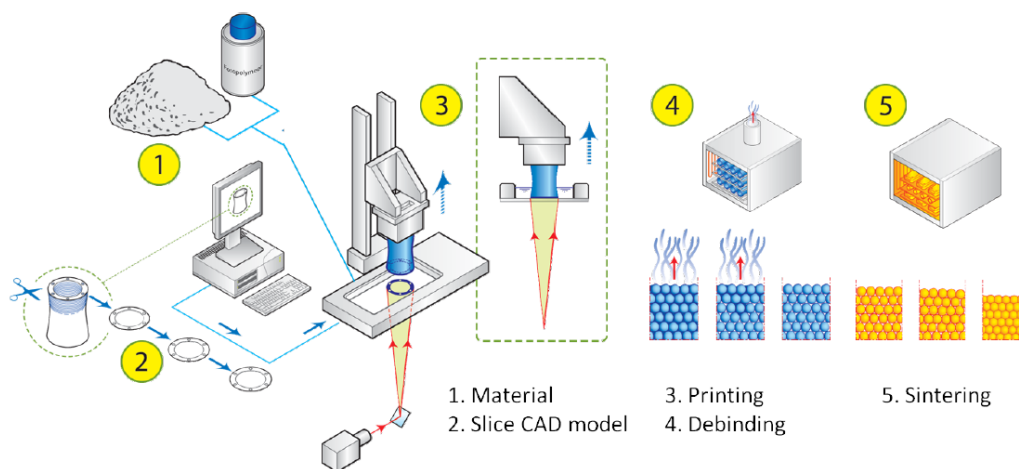
Michiel de Bruijcker, Admatec Europe BV, "Printing High Dense Ceramic Components"

Esityksessä esiteltiin keraamikomponenttien valmistusta 3D-tulostamalla ja siinä nousi tuttuun tapaan esille suunnittelupuolen haaste, eli suunnittelijat eivät vielä osaa yleisesti ottaen suunnitella 3D-tulostettavia kappaleita, vaan pysytään sitkeästi kiinni perinteisistä suunnittelutavoista. Niinpä yrityksen asiakkaista suurin osa tuo tarjolle perinteisiä valmistustapoja varten valmistetun kappaleen suunnitelman, jota ei ole järkevää edes lähteä 3D-tulostamaan.

Mielenkiintoisena poimintana esityksessä oli se, että keraamisten komponenttien sarjatuotanto lisäävän valmistuksen keinoin on jo täysin mahdollista ja sitä jonkin verran tehdäänkin. Pienten

keraamisten kappaleiden valmistus lisäävän valmistuksen keinoin on merkittävästi kustannustehokkaampaa kuin perinteiset menetelmät kymmenien tuhansien kappaleiden sarjavalmistukseen saakka.

» ADMAFLEX TECHNOLOGY



Kuva 10: Admatec -yrityksen Admaflex 130 -laitteen ja keraamisten komponenttien 3D-tulostuksen toimintaperiaate, Lähde: Admatec, Formnext 2016

» Additive manufacturing as production method

Printing

- Maximizing load on building platform
- 750 pcs in one run
- Building size 170 x 90 mm

Additive manufacturing as a production method



Kuva 11: Keraamisten komponenttien sarjavalmistusta, Lähde: Admatec, Formnext 2016

3.5.2. Rapid casting - pikavalujen valmistus 3D-tulostusta hyödyntämällä

Andreas Huppertz, Brechmann-guss, "Rapid casting – Mehr bieten in weniger Zeit Integration des Additive Manufacturing in Produktionsumgebungen"

Valutuotannon koko ja taloudellinen merkitys maailmanlaajuisesti on huomattava - Pelkästään Saksan valutuotanto oli vuonna 2014 5247 miljoonaa tonnia, 13,187 miljardia euroa ja työllisti 78800 työntekijää.

Lisäävä valmistus on tärkeä menetelmä jolla voidaan nopeuttaa valumenetelmien käyttöä huomattavasti. Valutuotannossa käytettävästä materiaalista 4/5 on rautaa tai terästä.

Metalliosien valmistamiselle lisäävällä valmistuksella on vielä toistaiseksi runsaasti rajoituksia - laitteet ovat kalliita ja suuntautuneet paremmin pienerä - kuin massavalmistukseen. Valmistuvien kappaleiden yhdenmukaisuus on puutteellista ja laadunvarmistus vielä toistaiseksi haastavaa. Raaka-aine (metallijauhe) on kallista ja sen valmistusprosessi hyvin energia-intensiivistä.

"Pikavalujen" valmistusprosessin käyttäminen metalliosien valmistamiseen on monelta osin huomattavasti edullisempi ratkaisu. 3D-tulostuksen hyödyntäminen valutuotteiden valmistuksessa ei välttämättä vaikuta hintaan merkittävästi, mutta valmistusaika lyhenee huomattavasti. 3D-tulostuksen hyödyntäminen perinteisessä valuprosessissa lyhentää prosessin kestoa 4-8 viikosta noin kymmeneen päivään. Lisäksi se mahdollistaa jopa 3mm seinämävahvuudet valuraudalla ja 2mm seinämävahvuudet teräkselle sekä tuotteiden ominaisuudet, jotka eivät muuten olisi mahdollisia.

Esimerkkinä käyttäjäkunnasta yrityksen edustaja kertoi, että seuraavan vuoden sisällä yksi saksan suurista autovalmistajista valmistaa autotuotteen moottorin valukomponenttien keernoista 100% 3D-tulostamalla paremman toiminnallisuuden vuoksi.

3.5.3. Magnesiumseosten valmistus jauhepetimenetelmällä

Matthias Gieseke, Lazer Zentrum Hannover, "Selektives laserstrahlschmelzen von magnesiumlegier-

ungen"

Päivän viimeisenä esityksenä oli tutkimustulosten esittelyä aiheesta magnesiumseosten lasersulatus. Magnesium on bioyhteensopiva ja biohajoava maa-alkalimetalli jolla on lukuisia potentiaalisia käyttökohteita niin perinteisessä teollisuudessa kuin lääketieteen sovelluksissakin. Magnesium ja magnesiumseokset soveltuvat ominaisuuksiensa puolesta hyvin esimerkiksi implanttien materiaaliksi.

Esityksessä käytiin läpi magnesiumin käytön haasteita jauhepetimenetelmän raaka-aineena. Lisävalmistuksen materiaalina magnesium on vielä melko uusi, ja sen käyttämisen suurimpia haasteita ovat oksidoituminen ja haihtuminen. Lisäksi magnesium on hyvin reaktiivista joten hienojen hiukkasten käsittely turvallisesti laboratorioympäristössä on haasteellista.

Tutkimuksessa on käytetty SLM 125 -koneetta, jonka laitevalmistaja on räätälöinyt tutkimuskäyttöä varten. Prosessissa syntyvät päästöt putsataan koneesta SLM:n imu-prosessilla. Haasteena putsauksessa on imu - liian suuri imu poistaa myös hyvin kevyttä magnesium -jauhetta. Tutkimuksessa vertailtiin useita eri jauheita joiden osalta tutkittiin mm. materiaalin tiheyttä ja mekaanisia ominaisuuksia. WE43 -materiaalilla päästiin yli 99 % tiiviysasteeseen ja hyviin mekaanisiin ominaisuuksiin. Implanttien valmistuksessa käytettiin lisäksi kemiallista purseenpoistoa sillä partikkelit tukkivat helposti huokoista rakennetta.

Tutkimuksen tulokset olivat lupaavia, ja toiveena on että muutaman vuoden sisällä markkinoilla on tarjolla laitteita ja materiaaleja magnesium -kappaleiden valmistukseen.

4. TORSTAI

4.1. Lisäävän valmistuksen tilannekatsaus

Terry Wohlers, Wohler's Associates, " mikä tämän otsikko oli??"

Terry Wohler oli yksi seminaarin odotetuimmista puhujista. Wohlers Associates julkaisee vuosittaista Wohler's Report tilannekatsausta joka on vanhin ja arvostetuin lisäävän valmistuksen vuosikatsausraportti. Yritys työskentelee tiiviisti maailman johtavien yritysten kanssa lisäävän valmistuksen saralla.

Esityksessä nousi esille heti aluksi GE:n investointi (Arcamin ja Concept Laserin osto) sekä hankintojen merkitys markkinoille. GE tulee myymään yli tuhat metallin AM-konetta parin seuraavan vuoden aikana mikä tekee siitä alan merkittävimmän metallin 3D-tulostuslaitteiden valmistajan.

Valtioiden investoinnit 3D-tulostukseen jatkuvat. Viimeisten viiden vuoden aikana useat maat ovat investoineet tai ilmoittaneet investoivansa lisäävään valmistukseen merkittäviä summia ja trendi näyttäisi jatkuvan. Esimerkiksi Hollanti ilmoitti kesällä 2016 investoivansa 134 miljoonaa euroa lisää kehitysprojekteihin jotka painottuvat lisäävään valmistukseen. Suurin osa rahoituksesta kohdistuu tutkimuslaitosten ja yliopistojen tutkimusprojekteihin.

Lisäävän valmistuksen laitteistokehitystä auttaa patenttien raukeaminen. Joulukuussa 2016 raukesi metallin SLM-valmistusprosessin kannalta olennaisia patenteja, ja 2017 raukeaa lämmitetyn kammion patentti. Tämä kiihdyttää laitteistokehitystä ja laskee laitteistojen hintoja.

HP on vihdoin saapumassa markkinoille, ja Formnext -messuilla esiteltiin HP:n Jet Fusion 3D-tulostuslaitteistoa yleisölle. Yritys on myös aloittanut yhteistyön lukuisten yritysten kanssa ja avannut materiaaliensa speksejä / ominaisuuksia.

Wohlerin mukaan pääasiallisia nousualoja 3D-tulostuksessa lähitulevaisuudessa ovat:

- Lääketieteen ja terveydenhuollon sovellukset ovat erittäin kiinnostavia ja siellä on suurta potentiaalia

- Ilmailuala jatkaa vahvana menetelmän hyödyntäjänä
- Jotkin kuluttajatuotteet
- Autoteollisuus
- Tiettyjen tuotantoalojen erikoistarpeet - esimerkiksi ompeluteollisuuden koneiden osat

Nousevana trendinä Wohler nosti esille ruuan ja ruokatuotteiden tulostuksen, joka on hänen mukaansa vihdoin yleistymässä. Markkinoille on tullut ja tulossa laitteita sekä kuluttaja- että ammatikäyttöön.

Automaatio on lisääntymässä mikä tarkoittaa sitä että, 3D-tulostuslaitteiden tyyppi on muuttumassa yksittäisistä koneista tuotantolinjamaiseen toimintaan. Messuilla oli myös esillä useita automaatiopainotteisia esimerkkejä eri laitevalmistajilta tästä kehityssuunnasta.

Vaikka 3D-tulostus tuleekin vähentämään työntekijätarvetta joillain aloilla, luo se myös uusia aloja joihin tarvitaan työntekijöitä. Tämä tulisi ottaa huomioon koulutuksessa. Lisäävää valmistusta osaavista työntekijöistä on yrityksissä jo tälläkin hetkellä puute.

Markkinoille tulee myös uusia materiaaleja, joista yhtenä esimerkkinä nostettiin esille Ultem 9085 materiaali, joka on speksattu armeijan ja lentokoneteollisuuden tarpeisiin.

Luonnollisesti Wohler esitteli vuoronsa aikana lukuisia esimerkkejä 3D-tulostuksen hyödyistä, mutta valitettavasti esimerkkejä ei saanut kuvata.

- Yhtenä esimerkkinä oli kappale joka muodostui 126 osasta ja valmistuksessa tarvittiin 27 kiinnitintä. 3D-tulostuksen avulla kappale valmistetaan nykyisin kolmesta osasta ilman kiinnittimien tarvetta.
- Toisena esimerkkinä oli etelä-afrikkalainen sovelluskohde jossa valmistettiin valukappaleita. Hiekkavalujen valmistaminen 3D-tulostamalla mahdollisti 8-11 kk aikasäästön ja 147 000 dollarin säästön per valmistettu kappale.

4.2. Termoplastisten polymeerien käyttö kuluttajatuotteiden lisäävässä valmistuksessa
Franziska Kautin, Proctor & Gamble Global Devices, "Additive Manufacturing of the thermo-

plastic polymers for consumer products"

Proctor & Gamble on kansainvälinen yritys jolla on Saksassa n. 13000 ja maailmanlaajuisesti 121000 työntekijää. Yrityksen liikevaihto on yli 65 miljardia dollaria ja se valmistaa hygieniatuotteita kuluttajille eri yritysten käyttöön. Tuotevalikoimassa ovat mm. pesuaineet ja hoitoaineet niin kotiin, tekstiileille kuin henkilökohtaiseen käyttöönkin. Global Devices -yksikkö on keskittynyt valmistamaan erilaisia laitteita hammashoitoon ja karvanpoistoon - valmistaen esimerkiksi Oralin sähköiset hammasharjat ja Gilletten partaveitset sekä Braunin partakoneet.

Global Devices -yksiköllä on ollut käytössään 3D-tulostinlaitteita jo vuodesta 1999 lähtien. Viimeisimmän kymmenen vuoden aikana hankitut laitteet ovat pääosin materiaalia ruiskuttavia (objet) tai materiaalia pursottavia (fdm). Yrityksellä on mm. Arburg Freeformer laitteita käytössään.

Nähtävissä on noin neljä aluetta, joissa 3D-tulostus on vahvasti tullut, tai on tulossa esille:

- **Kokoonpano ja käsittelykomponenteissa** hyödynnetään lisäävää valmistusta jo usein, esimerkiksi tarttujien osalta. Edustajan mukaan polyjet -valmistusmenetelmän laitteet soveltuvat hyvin näihin käyttökohteisiin.
- **Prototyyppien valmistuksessa** lisäävää valmistusta on hyödynnetty aivan alkuajoista saakka. 3D-tulostamalla valmistettuja prototyypejä voidaan hyödyntää myös kuluttajatestauksessa ja laatutestauksessa.
- **Personoidut/mukautetut komponentit ja tuotteet** on nouseva sovellusalue, johon löytyy markkinoilta runsaasti mielenkiintoa
- **Varaosien valmistus** on kuluttajatuotteissa potentiaalisesti erityisen hedelmällinen käyttökohde. Varaosien valmistuksesta nousivat esille kodinkoneet ja laitteet. Esimerkiksi Braunin partakoneessa on yli sata osaa, joista noin 70 % on polymeereja.

Laatuvaatimus	Polyjet		Lasersintraus		SLA		Materiaalin pursotus	
Pinnanlaatu	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Yellow
Mittatarkkuus	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green	Red	Red
Prosessin joustavuus	Red	Red	Yellow	Yellow	Red	Red	Green	Green
UV-kestävyys	Red	Red	Green	Green	Red	Red	Green	Green
Materiaalin joustavuus	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Green
Mekaaninen Kestävyys								
Vetolujuus	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Red	Red	Green	Yellow
Iskukestävyys	Yellow	Yellow	Green	Yellow	Red	Red	Green	Yellow
Pidentäminen	Red	Red	Green	Yellow	Red	Red	Green	Yellow
Jatkuva toimintavahvuus	Red	Red	Green	Yellow	Red	Red	Green	Yellow
Kemiallinen kestävyys								
Puhdistusaineiden kestävyys	Yellow	Red	Red	Red	Yellow	Red	Green	Yellow
Hammastahnan kestävyys	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Yellow	Green	Green
Materiaalihyväksyntä								
FDA/ UL/ REACH/ RoHS	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Green	Yellow

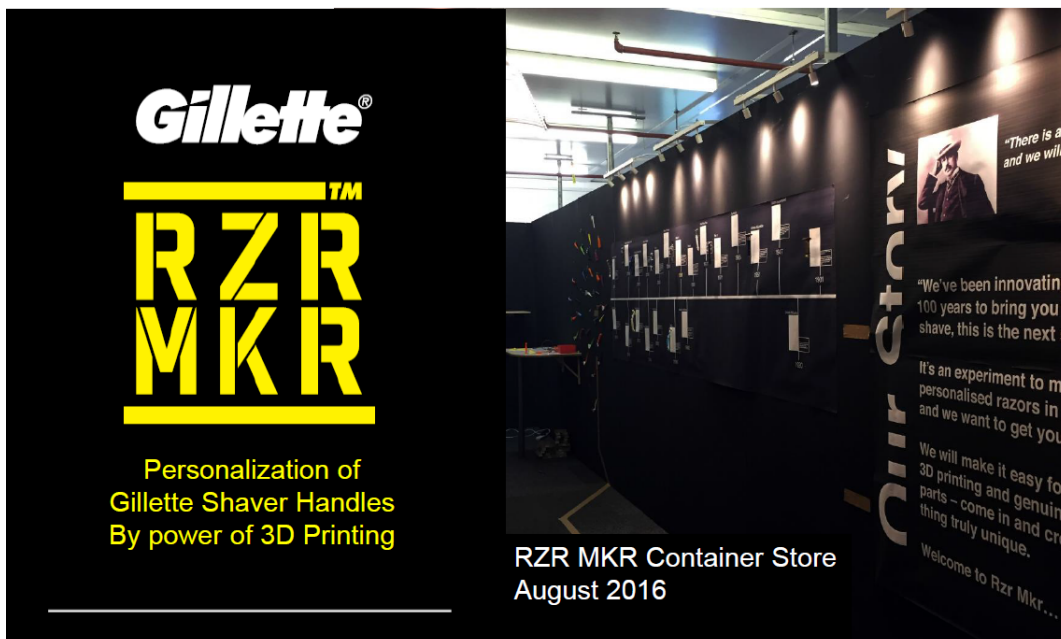
Kuva 12: Materiaalivertailua eri AM -menetelmien soveltuvuudesta P&G:n kuluttajatuotteisiin.

Lähde: P&G, Formnext 2016 (käännetty suomeksi)

Esityksessä vertailtiin eri lisäävän valmistuksen menetelmien soveltuvuutta P&G:n käyttöön. Eri menetelmistä erityisesti materiaalin pursotusmenetelmä ja Arburgin freeform -laitteet olivat lupaavimpia, vaikka menetelmä sinänsä onkin vielä hieman kehittymätön sarjavalmistuksen tarpeisiin. Soveltuvuutta tutkittiin mm. kuvaamalla suurnopeuskameralla arburgin -laitteen suutinta eri lämpötiloissa.

Tutkimuksen tuloksella havaittiin että parametrien säätämisellä voidaan vaikuttaa kappaleen vetolujuuteen jopa 30 %. Materiaalin pursotukseen perustuvassa menetelmässä on otettava huomioon kutistuma. Ongelmana on vielä toistaiseksi tukimateriaalien puute osalle materiaaleista ja lisäksi 3D-tulostettavan mallin siivutusohjelmissa olisi vielä kehitettävää.

Yrityksessä on rakennettu "Makerspace" –harjoitteluhuone yrityksen työntekijöitä varten valmistusmenetelmän koulutusta ja oppimista varten. Huoneessa on 3D-skanneri sekä 10 kpl 3D-tulostimia joiden avulla tekniikkaa tehdään työntekijöille tutuksi. Tällä hetkellä yrityksessä panostetaan mm. topologian optimointiin.



Kuva 13: Yhtenä esimerkkinä personoiduista tuotteista: kuluttajille esiteltiin vuonna 2016 järjestettyä Gillette RZR MKR –projektia, jossa asiakkaat saivat tehdä omat kahvat partaterilleen.

4.3. Kokemuksia lisäävästä valmistuksesta konsortioprojekteissa

Myron Graw, KEX Knowledge Exchange, "Additive Manufacturing - Major outcomes of the consortium projects"

Esitys aloitettiin painottamalla lisäävän valmistuksen markkinoiden erittäin pientä kokoa melkein mihin tahansa valmistusmenetelmään verrattuna. **Lisäävän valmistuksen markkinoiden koko (tuotteet ja palvelut) oli vuonna 2015 samaa kokoa pöytälamppujen kanssa, eli n.5.165 miljardia dollaria!**

Vuoden 2015 projektien perusteella voidaan todeta, että lisäävää valmistus voidaan harkita vain mikäli voidaan luodaan riittävästi lisäarvoa tuotteen elinkaaren aikana kattamaan korkeampi materiaali- ja valmistuskustannus.

Metallin osalta jauhepetitekniikkaan pohjautuvat laitteet kattavat 85 % markkinoiden koosta ja oli tutkimuksessa mukana olleiden projektien merkittävin lisäävä valmistusmenetelmä. Jauhepetitekniikkaan perustuvien laitteita käyttäessä on pidettävä mielessä kolme kustannukset määrittävää

tekijää: valmistusnopeus, koneen hinta sekä materiaalin (jauheen) hinta.

- Tämänhetkisellä kehitysvauhdilla jauhepetitekniikkaan perustuvien laitteiden **valmistusnopeus tulee kasvamaan lähivuosina jopa 300%**. Lupaavimmat kehityskohteet ovat lasersäteen tehon kasvaminen sekä skannaus-strategioiden kehitys niin, että kappaleen ulkopinnat valmistetaan eri parametreilla kuin sisäpinnat.
- **Järjestelmien hinta tulee laskemaan merkittävästi (50 %)**, sillä tällä hetkellä koneiden hinnoista komponenttikustannukset ovat ainoastaan kolmanneksen laitteen hinnasta. Hinnanlaskuun tulee vaikuttamaan patenttien raukeaminen ja laitteiden valmistusmäärien kasvaminen.
- **Jauhekustannukset tulevat laskemaan 50 %**. Tällä hetkellä suurin osa jauhekustannuksista (n. 60 %) muodostuu argonista. Hinnanlasku johtuu tuotantomäärien kasvamisesta sekä vaihtoehtoisten valmistusprosessien kehityksestä.

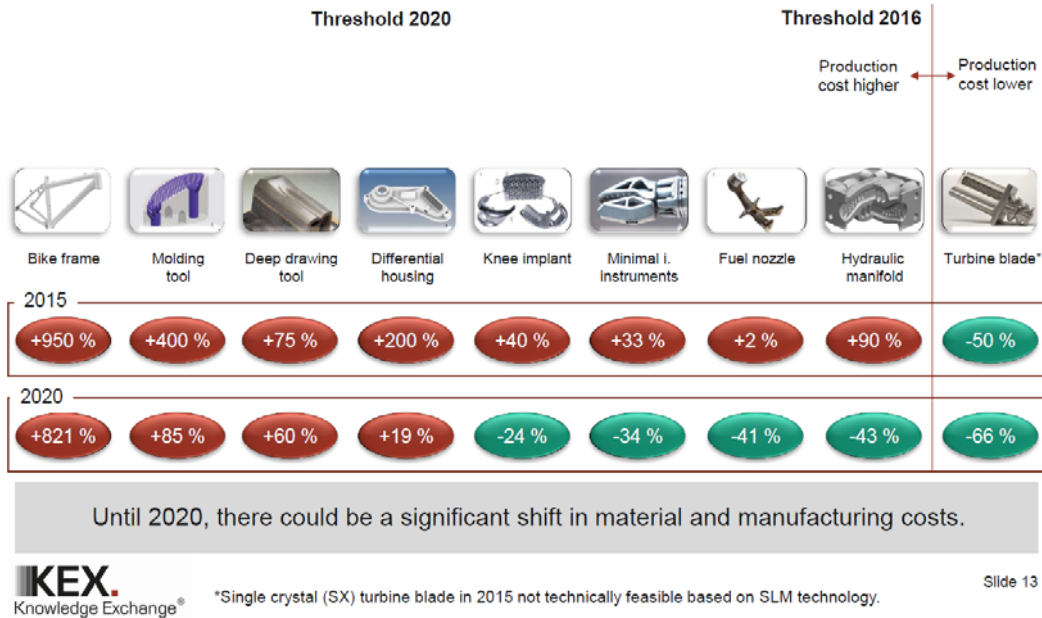
Tällä hetkellä valmistuskustannukset rajaavat potentiaalisia käyttökohteita merkittävästi. Nykyisistä laitteistojen rajoituksista johtuen lisäävä valmistus on huomattavasti helpommin kannattava valmistusmenetelmä mikäli tuotteen osakoko on pieni.

Edellä mainittujen kehitysten jälkeen taloudellisesti järkevien käyttökohteiden määrä nousee merkittävästi. Niinpä valmistuksen kannalta vuonna 2020 tuleekin ottaa huomioon, että:

1. Lisäävää valmistusta **tulee** harkita, mikäli riittävästi lisäarvoa voidaan luoda tuotteen elinkaaren kattamaan korkeampi materiaali- ja valmistuskustannus.
2. Monimutkaisten osien valmistuksessa tulee harkita lisäävää valmistusta koska materiaali- ja valmistuskustannukset voivat olla alempia kuin perinteisillä valmistusmenetelmillä.

Shift of threshold in cost

Optimistic, but still realistic scenario for 2020



Kuva 14: taloudellisesti järkevien käyttökohteiden lukumäärä kasvaa merkittävästi 2020 mennessä. Lähde: Myron Graw/KEX, Formnext 17.11.2016

Esityksessä listattiin neljä tyyppiä, jolloin lisäävä valmistus voi olla kannattava:

1. Monimutkaiset osat: esimerkkinä GE:n Leap -moottorin polttoainesuutin

- käyttökohteina esimerkiksi autoteollisuuden pienet osat joissa saavutetaan tuottavuus tai painosäästöjä, esimerkiksi. Moottorit, hydraulikkajärjestelmän tai voimansiirron komponentit (suuttimet, pyörteittimet, turbot, kelat)

2. Asiakasräätälöidyt osat. Esimerkkinä hammasosaproteesit ja kuulolaitteet.

- käyttökohteina esimerkiksi autoteollisuuden komponentit jotka räätälöidään asiakasta varten (sisä- ja ulkopuolen osat (runkon osat, kotelot, ilmasuuttimet yms.)

3. Piensarjat, esimerkkinä autoteollisuuden prototyyppiosat

- Prototyytit ja erikoisosat (F1, rattaat, kotelot, jne.)

4. Tuotteiden kysyntä syrjäisiin paikkoihin. Esimerkkinä autoteollisuuden osat joissa korkeampi tuotantokustannus voidaan kompensoida pienemmillä kuljetus- ja logistiikkakustannuksilla.

- varaosavalmistus vain tarpeeseen (rattaat, kotelot, rungon osat, jne.)

Lopuksi käytiin läpi eri markkina-alueiden potentiaalia ja kiinnostavuutta lisäävän valmistuksen kannalta:

- Ilmailuteollisuus, terveydenhuolto ja teolliset käyttökohteet jatkavat edelleen kiinnostavina markkina-alueina lisäävälle valmistukselle. Taloudellisesti kannattavia käyttökohteita löytyy erikoistuotteista joissa lisäävän valmistuksen edut pääsevät oikeuksiinsa (keveys, tehokuus, bioyhteensopivuus, jne.)
- Energia- ja kuluttajamarkkinoilta löytyy mielenkiintoisia kohteita erikoistarpeiden tai asiakasräätälöinnin kautta.
- Autoteollisuus ei ole toistaiseksi erityisen kiinnostava markkina-alue, sillä korkeasta potentiaalista huolimatta siellä on tarve suurille tuotantomäärille, matalat marginaalit ja korkea standardisoinnin taso.

Yritysten kannalta merkittäviä päätöksiä tulee olemaan se, kannattaako laitteisiin investoida vai hankkia palvelu ulkopuolelta. Omia laitteistoinvestointeja vastaan puhuvat mm.

- Lisäävä valmistus soveltuu vain pieneen osaan tuotteista, joten yrityksen koneilla on todennäköisesti pieni käyttöaste
- Lisäävä valmistus erikoistuu valutuotteiden tapaan erikoisosaajille
- Laitteistokanta uudistuu nopealla syklillä, jopa muutaman vuoden välein. Kalliit laitteet vanhenevat helposti kannattamattomiksi.

4.4. Torstain muita esityksiä

4.4.1. Komposiittien valmistaminen 3D-tulostamalla

John Hartner, EnvisionTEC, "The Next Big Thing - 3D Printing with Composites"

Komposiittien valmistaminen on luontainen käyttökohde AM:lle sillä kyseessä on jo luonteeltaan lisäävä valmistusprosessi joka on tähän saakka tehty pääosin käsityönä, ilman automaatiota joitakin prosessin vaiheita lukuun ottamatta.

Kasvupotentiaalia on runsaasti, esimerkiksi Airbus A380 ja Boeing 787 lentokoneissa on yli 45 tonnia komposiittia per kone. Myös autoteollisuudessa käytetään runsaasti komposiitteja sillä niissä on erittäin paljon hyviä puolia, mm. keveys, lujuus, kemikaalikestävyys, koneistettavuus, yms.

Markkinoille on tullut useita lisäävää valmistusta hyödyntäviä palveluntarjoajia komposiitin valmistukseen:

- Electroimpact (Mukilteo, WA)
- Arevo Labs (Santa Clara, CA) valmistaa asiakasräätälöityjä komponentteja hiilikuituvahvistetusta, 3D-tulostetuista osista.
- Impossible Objects on kehittänyt CBAM (Composite-Based Additive Manufacturing) prosessin, jossa voidaan käyttää mm. Hiilikuitua, kevlaria, lasikuitua yms.
- Markforged, 3D-tulostimessa syötetään jatkuvaa hiilikuitua 3D-tulostettavan kappaleen sekaan omalla suuttimella.
- EnvisionTEC SLCOM, Envisiontec:n oma prosessi jolla voidaan valmistaa täysin automaattisesti monimutkaisia osia eri komposiittimatriiseista

Hiilikuitumateriaalin hinta tulee laskemaan n. 10 dollariin paunalta uuden valmistusprosessin ansiosta mikä puolestaan lisää potentiaalisten käyttökohteiden määrää.

4.4.2. Kuntoutus- ja proteesisovellukset lisäävällä valmistuksella

Manuel Opitz & Jannis Breuninger, Mecuris, "Enabling the Additive Manufacturing for Orthotics & Prosthesis"

Lisäävää valmistusta hyödynnetään terveydenhuollon ja lääketieteen sovelluksissa jo monilta osin. Yleisimmät käyttökohteet ovat kuulolaitteet ja hammaspuolen sovellukset sekä kirurgiset mallit. Yleistymässä ovat myös kehon tuotteet kuten lonkka- ja polvi -implantit.

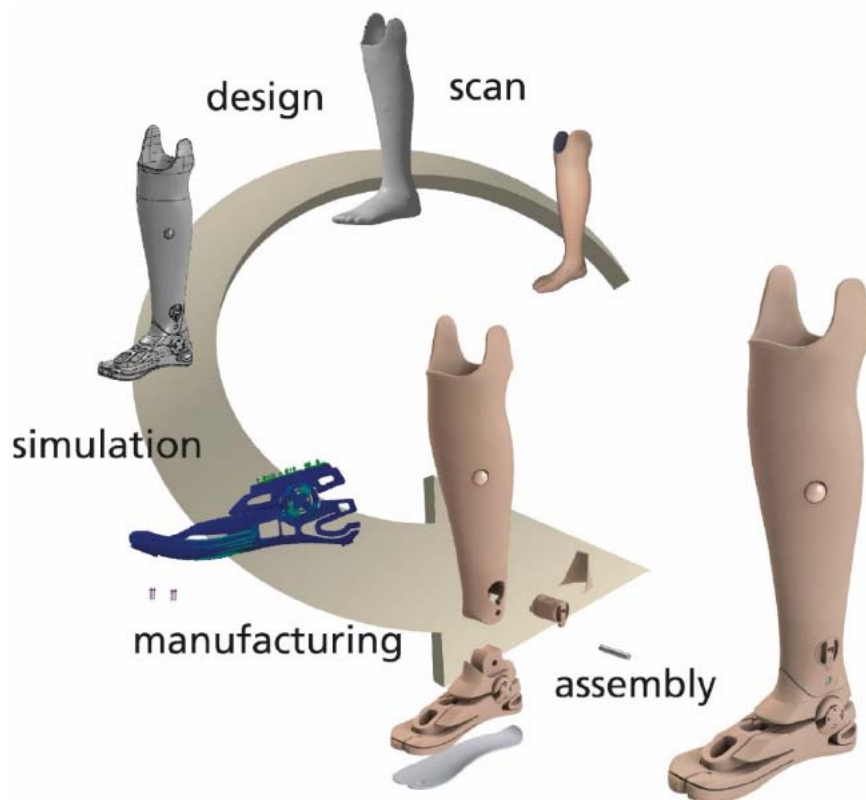
Apuvälinetekniikka on kuitenkin markkinoiden kokoon nähden vielä alkutekijöissään. Globaali tarve apuvälineille (proteesit) on 37 miljoonaa ihmistä, eli noin 0.5% väestöstä. Vain yksi kymmenestä potilaasta saa sairaanhoitoa ja apuvälineistä aiheutuvat kulut pelkästään saksassa olivat vuonna 2015 yli 2 miljardia euroa.

Lisäävän valmistuksen keinoin voidaan valmistaa erinomaisia proteeseja huomattavasti nopeammin, helpommin ja halvemmin kuin perinteisellä tavalla. Proteesit ovat mm. Kestävämpiä ja tehokkaampia kuin perinteiset proteesit. Lisäksi niillä on parempi korroosiokesto, niiden visuaalinen

ulkonäkö on helppo räätälöidä halutuksi ja niiden muokkaus/päivitys on vaivatonta. Lisäksi proteesien kokoa on helppo skaalata tarvittaessa, esimerkiksi lapsen kasvaessa ja tarvitessa suurempaa proteesia.

Yhtenä ongelmana lisäävän valmistuksen leviämiselle apuvälinetekniikkaan on se, että terveydenhuollon toimijoita ei yleensä ole koulutettu suunnittelemaan apuvälineitä digitaalisesti, tai käsittelemään/yhdistämään potilasdataa ja 3D-mallia. Myös huomattavasti teollisuutta tiukemmat tietosuojakäytännöt tulee ottaa huomioon.

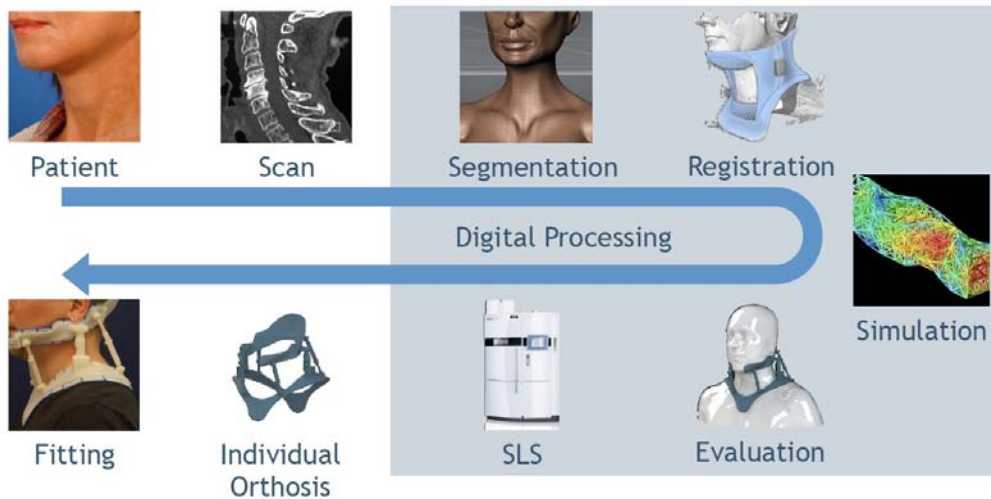
Yritys on luonut sovellusympäristön, johon syötetään potilaan data (CT/MRI/3D-scan/tms.) lähtötiedoksi. Tämän jälkeen suunnittelijat ja lääkärit pääsevät käsittelemään dataa digitaalisen prosessiketjun mukaisesti.



Kuva 15: Digitaalinen prosessiketju proteesien valmistamiseen AM-menetelmillä.



Digital Process Chain: Orthotics



Kuva 16: Digitaalinen prosessiketju ortoosien valmistamiseen AM -menetelmillä

Esityksen aikana yleisössä kiersi useita yrityksen valmistamia esimerkkikappaleita, joista lapsen jalkaterän proteesi (Firststep) osallistui myös Formnext tapahtuman yhteydessä järjestettyyn Purmundus -kilpailuun jonka mihin tahansa tarvittavaan kokoon skaalautuva proteesi voitti.



Kuva 17: lapsen jalkaterän proteesi, Lähde: Mecuris.



Kuva 18: Jalkaproteesi

4.4.3. Lisäävän valmistuksen osajien puute

Nick Pearse & Juan Miguel Ramirez, Alexander Daniels Global, "Skills for AM"

Alexander Daniels Global -yrityksen edustajat pitivät esityksen lisäävän valmistuksen osajien puutteesta.

AM -osajien puutteeseen löytyy valmistusmenetelmän uutuuden lisäksi neljä selvää syytä:

1. Milleniaalien kiinnostuksen puute valmistukseen
2. Työntekijät kouluttautuvat entistä pitemmälle
3. AM kilpailee muiden, "seksikkäämpien" alojen kanssa työntekijöistä
4. Osaavista työntekijöistä kilpaillaan verisesti

Yritys teki kyselyn yli 400 lisäävän valmistuksen parissa toimivaan yritykseen. Kyselyn perusteella **87 % haastatelluista yrityksistä aikoo varmasti palkata** työntekijöitä, ja **lopun 13 % aikoo todennäköisesti palkata työntekijöitä**. Lisäksi yrityksistä valtaosa uskoo että AM-osajien palkat tulevat nousemaan.

Pääasiallisimmat osaamispuutteet koskivat seuraavia osaamisaloja: tekniikka, ohjelmisto, kaupallinen osaaminen, materiaali, lakiosaaminen, laitteiden käyttö ja käyttökohteet/konsultointi.

4.4.4. Suunnitteluprosessin uusi työnkulku

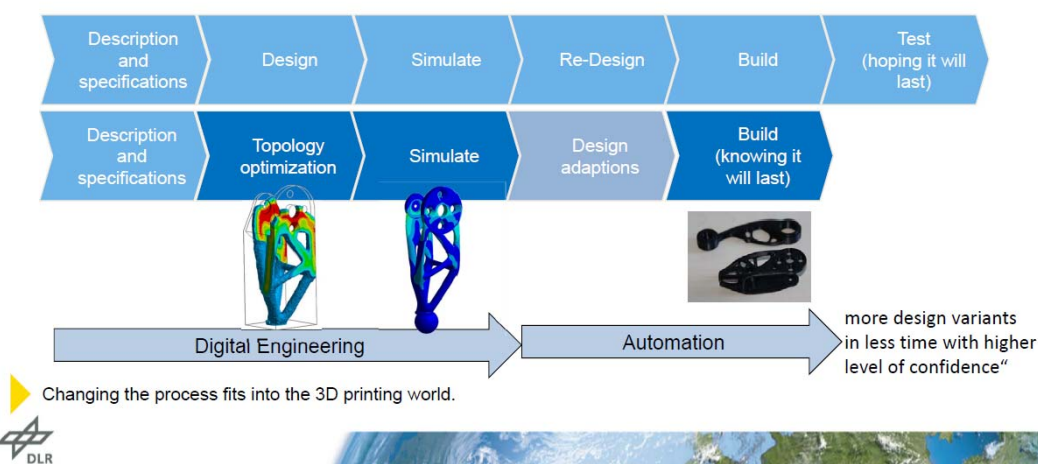
Kaj Führer, DLR e.V, "Performance increase for FDM parts by topology optimization"

Suunnittelun kannalta mielenkiintoinen ajattelumallin muutos suunnitteluprosessiin nousi esille topologian optimointiin ja sen hyödyntämiseen painottuneessa esityksessä, jossa käytiin läpi esimerkkejä siitä, miten lisäävä valmistus on tuonut täysin uusia mahdollisuuksia mm. Ilmailuteollisuuden komponentteihin. Erityisesti esille nousivat rakenteiden keveys, uudet jäähdytysratkaisut ja tukirakenteet.

Jotta topologian optimoinnista saataisiin suurin mahdollinen hyöty, suunnittelun työnkulkua tulisi muuttaa siten, että suunnittelu seuraa topologian optimointia jolloin työnkulussa säästetään turhien suunnittelu-iteraatioiden määrässä. Suunnitteluvaiheen aluksi määriteltäisiin topologian optimoinnin rajat ja työalueet, ja lähdettäisiin varsinaisesti suunnittelemaan vasta topologian optimoinnin jälkeen.

Rethinking the construction workflow

„Form follows topology optimization“



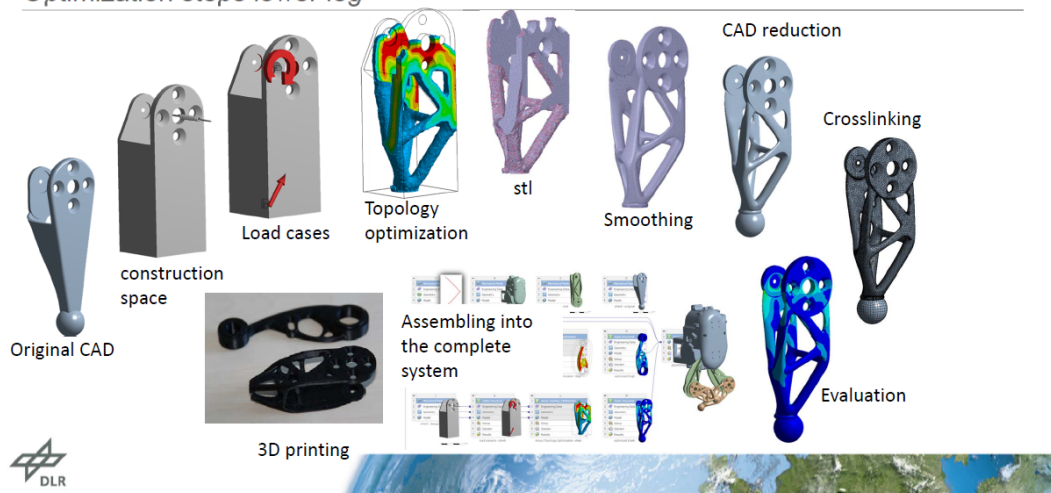
Kuva 19. Topologian optimoinnin hyödyntäminen osien suunnittelussa

DLR.de • Folie 18

Methodology

Optimization steps lower leg

CADFEM ANSYS
stratasys Competence Center FEM



Kuva 20. Tuotteen suunnittelun vaiheet topologian optimointia hyödyntäen.

5. PERJANTAI

5.1. GE ja lisäävä valmistus

Mohammad Ehteshami, GE, "Accelerating the additive revolution"

Perjantain keynote -puheenvuoron piti Mohammad Ehteshami, GE:n varatoimitusjohtaja ja lisäävän valmistuksen yksikön vetäjä. Mohammad kertoi esityksessään GE:n historian lisäävän valmistuksen osalta, esitteli konkreettisia käyttökohteita johon tällä hetkellä GE valmistusmenetelmää hyödyntää, sekä kertoi myös yrityksen tulevaisuudensuunnitelmista. GE:n viimeisimpään yrityskauppaan, Concept Laserin ostamiseen, hän kieltäytyi ottamasta kantaa sillä kauppa ei ole kuu-lemma vielä vahvistettu vaikka ostotarjous onkin jo hyväksytty.

Concept Laserin myötä GE:stä tulee markkinoiden suurin toimija metallin AM-laitteissa, sillä se osti vastikään myös ruotsalaisen ARCAMin. GE suunnittelee valmistavansa seuraavan 10 vuoden aikana 10 000 metallin AM-konetta myyntiin sekä tuhat konetta itselleen. Yrityksen omat tarpeet metallin lisäävälle valmistukselle ovat suuret, sillä jo muutama vuosi sitten yritys kehitti Leap -moottorin polttoainesuuttimen 3D-tulostettavaksi ja sen valmistusmäärät tulevat olemaan 35000 - 40000 kappaletta vuodessa.

GE on todennäköisesti tällä hetkellä maailman merkittävin lisäävää valmistusta hyödyntävä yritys erityisesti metallin 3D-tulostukseen liittyen. GE aloitti metallin 3D-tulostukseen investoimisen vuonna 2012 hankkimalla metallin lisäävään valmistukseen erikoistuneen Morris Technologiesin. Vaikka GE hyödyntääkin jo valmistusmenetelmää tuotannossaan, jatkaa se aktiivisesti lisäävän valmistuksen käyttöönottoa eri osien valmistukseen. Hyvänä esimerkkinä tästä on GE:n ATP (Advanced Turboprop) moottori, josta 35 % valmistetaan 3D-tulostamalla. Moottori suunniteltiin vanhan CT7 -moottorityypin pohjalta. Uudelleensuunniteltu osa on kevyempi, halvempi valmistaa ja kuluttaa vähemmän polttoainetta. Suorastaan käsittämättömänä saavutuksena on osien määrän vähentäminen - aiemman moottorin 855 osaa saatiin valmistusmenetelmän ansiosta vähennettyä 16 osaan.



Kuva 21: Esimerkkejä lisäävän valmistuksen käytön hyödyistä GE:n tuotannossa. Lähde: Mohammad Ehteshami, GE, “Accelerating the additive revolution”, Formnext 2016

Muina onnistuneina esimerkkikappaleina mainittiin moottoripyörän öljypumppu jonka paino väheni puoleen sekä lämmönvaihtimet jotka ovat kevyempiä, tehokkaampia ja pienempiä kuin perinteisellä tavalla valmistetut. Tilaisuudessa myös esiteltiin joitakin 3D-tulostettuja osia jotka on huomattavasti perinteisiä osia kevyempiä.

Haasteina mainittiin materiaalikehitys sekä erityisesti jälkiprosessointien vähentäminen. Myös osaavan työvoiman tarve nousi taas kerran esille, ja auttaakseen kehityksessä GE lahjoittaa peruskouluille 10 miljoonaa dollaria 3D-tulostinten hankintaan sekä 50 yliopistolle laitteita.



Kuva 22: GE:n varatoimitusjohtaja Mohammad Ehteshami esittelemässä yrityksen saavutuksia lisäävässä valmistuksessa

5.2. Lisäävän valmistuksen käyttökokemuksia

Steven Catt, Thales, "How Thales exploits the Power of Additive Manufacturing"

Thalesilla on 61000 työntekijää ja se toimii 56 maassa. Liikevaihto vuonna 2014 oli 13 miljardia euroa, josta omaan tuotekehitykseen käytetään vuositasolla noin 675 miljoonaa euroa. Yritys työskentelee ilmailu-, avaruus-, kuljetus-, puolustus-, ja turvallisuusaloilla.

Thales hyödyntää lisäävää valmistusta toiminnassaan monella tavoin. Esityksessä käytiin esimerkkejä mm.

- avaruus- ja ilmailualan kappaleista, joissa pääpainona on topologian optimointi, painon minimointi tai parempi toiminnallisuus. Avaruudessa on ollut Thalesin satelliitteja jo 11/2015 lähtien joissa on titaanista valmistettuja, 3D-tulostettuja antennimoduulien kiinnikkeitä. Kiinnittimien suunnittelussa on hyödynnetty topologian optimointia, ja niitä valmistetaan 8 kappaletta per moduuli. Jokainen kiinnike on geometrialtaan hieman erilainen (kiinnityspisteiden orientaatio muuttuu), joten ne soveltuvat lisäävän valmistuksen kappaleiksi erinomaisesti.
- Työkalujen ja jigien valmistus kokoonpanotyötä varten. Materiaalina sekä muovit että metallit
- Kotelarakenteet, materiaalina sekä muovit että metallit
- Valukappaleiden prototyypit
- Sähköjohdotuksen jigit

Tiukoista laatuvaatimuksista johtuen Thales tekee huomattavan paljon materiaalitestausta (mm. vetolujuuskokeet, väsytykokeet) eri lisäävän valmistuksen menetelmille (FDM, SLA, SLM, EBM). Esityksessä käytiin eri virheluokkia, joita SLM-prosessien testauksessa tyypillisimmin ilmenee. Yleisimmät virheet olivat huokokset, pintavirheet sekä sulamattomat alueet. Vertailua tehtiin suoraan tulostetulla pinnalla, kiillotetulla pinnalla sekä hippauksen ja kiillotuksen jälkeen. Havaittujen virheiden kriittisyys määritettiin virhetyypin, virheen koon ja virheen sijainnin perusteella. Kokemuksen perusteella kiillotuksella ja hippauksella saavutetaan AM-osille samanlaiset isotooppiset ominaisuudet kuin takokappaleille.

Yritykselle valmistuu vuonna 2018 Marokkoon lisäävän valmistuksen tutkimuskeskus, jossa on

kaikki metallin 3D-tulostuksen valmistukseen liittyvät toiminnallisuudet. Investoinnin avulla yritys pyrkii pysymään merkittävänä osajana mekaanisten AM -osien suunnittelussa ja valmistuksessa.

Jatkossa AM-osien koko tulee kasvamaan vähintään 800 mm kokoluokkaan, käytettävissä olevien materiaalien määrä kasvaa ja suunnittelijoiden paremman osaamistason myötä tullaan näkemään entistä monimutkaisempia muotoja ja uusia toiminnallisuuksia.

Haasteena yritys näkee SLM-osien kokoluokan kasvattamisen, tarkkuuden parantamisen sekä valmistettavien osien laadun toistettavuuden parantamisen. Myös osien testaus- ja hyväksyntäprosesseja tulee kehittää nopeammaksi.

5.3. Piirilevyjen valmistus 3D-tulostamalla

Simon Friend, Nanodimension, "A New Kind of 3D-Printing"

Yksi perjantain mielenkiintoisista puheenvuoroista oli piirilevyjen 3D-tulostuslaitteen valmistajan, Nanodimensionin toimitusjohtajan Simon Friedin esitys. Piirilevyjen 3D-tulostinlaite (Dragonfly 2020) oli myös esillä yrityksen messuosastolla.

Markkinanäkymät piirilevyjen 3D-tulostamiselle ovat lupaavat, sillä yrityksen tekemien kartoitusten mukaan alalla toimivat yritykset käyttävät piirilevyjen prototyyppeihin keskimäärin 5000-100.000 euroa vuodessa. Niinpä laitteen hinta (tarkka hinta ei vielä tiedossa, tulee olemaan ilmeisesti noin 200.000 euroa) ei välttämättä ole este hankinnalle. Yritykset käyttävät yleensä ulkopuolisia toimijoita, joilla on viikkojen toimitusaika. Nanodimension -laitteen avulla valmistusaika on vain tunteja, eikä yrityksillä ole riskiä siitä että prototyyppisuunnitelmat pääsisivät väärin käsiin.

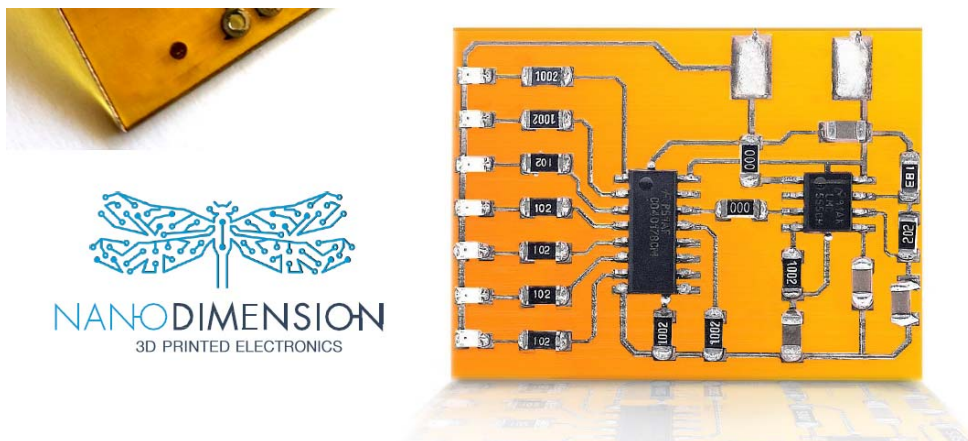
Yritys on kehittänyt muistesuihkupohjaisen ratkaisun piirilevyjen valmistukseen 3D-tulostamalla. Tekniikan pohjalla on sähköäjohtava AgCite -muste, jonka sähkönjohtavuus on lähes 75 % bulkki-kuparin sähkönjohtavuudesta. Sähköjohtavilla musteilla on toki muitakin käyttökohteita kuin 3D-tulostus, sillä niitä voidaan tulostaa esimerkiksi kankaalle.

3D-tulostuksen resoluutio on jopa 50 mikraa, ja 3D-tulostetun piirilevyn lämpötilankesto yli 360

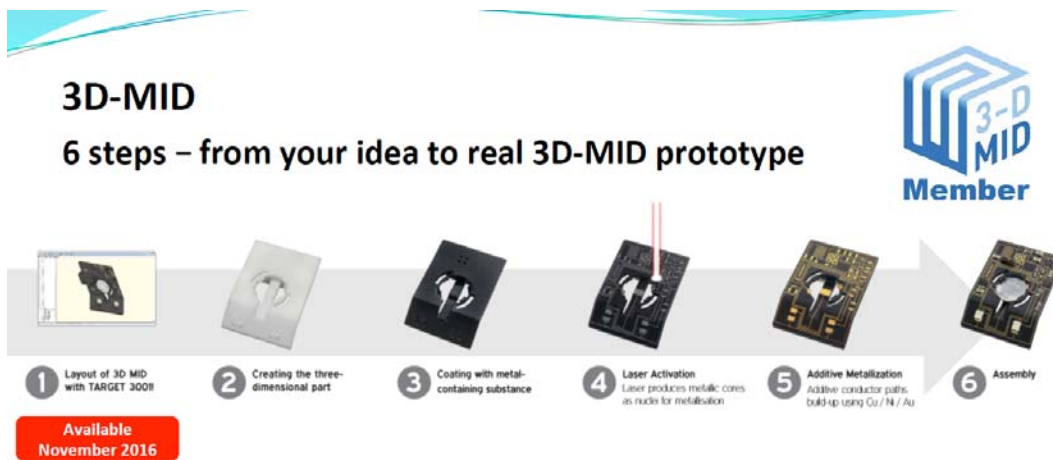
astetta. Luonnollisesti valmistusmenetelmä on suunniteltu monikerroksisten piirilevyjen valmistukseen. Tällä hetkellä 3D-tulostimen Z-akselin liikerata on rajoitettu normaaliin piirilevykorkeuteen, mutta laitteen seuraavissa versioissa liikerata tulee kasvamaan vähintään 2-3 cm korkeuteen.

3D-tulostuksen käyttäminen piirilevyn valmistuksessa tarjoaa piirilevyjen valmistajille uusia mahdollisuuksia, esimerkiksi antennin tulostamisen kappaleen sisään. MID (Molded Interconnect Device / Mechatronic Integrated device) -tyyppiset ratkaisut, joissa elektroniikka integroidaan kappaleeseen, ovat huomattavasti helpompia valmistaa 3D-tulostamalla kuin perinteisellä tavalla. MID -ratkaisuihin liittyen perjantaina pidettiin myös toinen esitys (Beta Layout GmbH/Manual Martin, "Production of 3D-MID Prototyps") jossa 3D-tulostusta hyödynnettiin vain kappaleen valmistuksessa, ja elektroniikka lisättiin kappaleen pintaan erillisillä prosesseilla.

Tulostettu piirilevy ei myöskään vaadi jälkikäsittelyä.



Kuva 23: Nanodimension on kehittänyt 3D-tulostimen piirilevyjen valmistamiseen



Kuva 24: Beta Layout -yrityksen prosessi MID-prototyypikappaleiden valmistukseen

5.4. Perjantain muita esityksiä

5.4.1. Tulevaisuuden tuotesuunnittelu - generatiivinen suunnittelu ja lisäävä valmistus

Sebastian Hess, DQBD, "The Future of Making Things: Generative Design & Additive Manufacturing"

DQBD:n Sebastian Hess esitteli kahden esimerkin avulla sitä, miten lisäävä valmistus muuttaa tuotesuunnittelua.

Ensimmäisenä esimerkkinä oli pyöräilyjalkineen suunnittelu, jonka yhteydessä yritys suunnitteli koko kengänvalmistusprosessin uusiksi. Lisäävä valmistus mahdollistaa jatkossa myös lopputuotteiden valmistuksen, joten parhaan hyödyn saamiseksi olisi syytä miettiä koko valmistusprosessi uudelleen eikä pitäytyä vanhassa tavassa valmistaa kenkiä.

Kengän suunnittelussa hyödynnettiin Autodeskin Netfabb -ohjelmaa. Testausta varten kenkiä tulostettiin SLS -laitteella, mutta lopputuotteessa jouduttiin toistaiseksi käyttämään ruiskuvalumenetelmiä materiaalin pinnanlaadusta johtuen.

Toisena esimerkkinä oli 3D-tulostuksen avulla valmistettava pyöräilykypärä, jonka valmistuksessa hyödynnettiin erityyppisiä sisäisiä ristikkorakenteita ja topologian optimointia. Lisäävä valmistus mahdollistaa monien erilaisten hila/ristikkorakenteiden valmistamisen.

Kypärän tapauksessa valmistettiin useita kerroksia joiden koostumus vaihteli käyttöalueen mu-

kaan: uloimpana kova kerros, seuraavaksi pehmeämpi "adaptiivinen" kerros vaimentamaan iskua, ja alimpana kevyt mutta jäykkä sisärakenne. Kypärän prototyypit valmistettiin SLS -laitteiden käyttäjille tutusta PA12 -materiaalista, ja rakenteen toimivuus kypäräkäytössä varmistettiin iskukokeilla.

5.4.2. AM -käyttömahdollisuudet teollisuustuotteiden komponenttivalmistuksessa

Philipp Wichert, Eisenmann, "Mögliche Wege additiv gefertigter Bauteile in industrielle Produkte - Erfahrungsbericht eines Maschinen-und Anlagenbauers"

Eisenmann on 26 maassa toimiva tehtaiden järjestelmätoimittaja jonka liikevaihto 907 miljoonaa euroa, työntekijöitä on n. 3600 (josta insinöörejä yli 1500). Yritys toimittaa mm. Automaatio ja kuljetinjärjestelmiä, kokoonpano- ja pintakäsittelylinjoja, lämmönhallintaratkaisuja, ympäristöteknologiaa ja huoltopalvelua.

Ongelmana lisäävän valmistuksen käytössä vielä tällä hetkellä on se, että toisin kuin perinteisten valmistusmenetelmien osalta, asiakkaat pitää aina vakuuttaa uuden valmistusmenetelmän hyödyistä. Asiakkaiden vakuuttamiseksi valmistusmenetelmän hyödyistä Eisenmannilla toimitan seuraavasti:

1. Valmistusmenetelmän mahdollisuudet/edut ja potentiaaliset käyttökohteet

- Käyttökohteina mm. Prototyypit, testi/näköismallit, markkinointi, säästöt ja innovointi

2. Eisenmannin asettamat rajoitukset lisäävän valmistuksen käytölle.

- Asiakkaalle kerrotaan jo alkuvaiheessa mitä rajoituksia lisäävän valmistuksen käyttöön yritys asettaa. Rajoituksia ovat mm:
 - o pinnanlaatu: pinnan laatu oltava riittävä hyvän
 - o materiaalina vain muovi: metalli tulee kuvioihin mukaan vasta kun valmistuskustannukset laskevat
 - o Tekniset ominaisuudet: esimerkiksi kierteitä ei valmisteta tulostamalla

Esimerkkejä onnistuneista asiakascaseista olivat mm. Robotin testityökalu käsivarsirobotille, robotin letku/johto-ohjuriin valmistaminen sekä aluvanteiden tulppaustyökalun valmistaminen 3D-tulostamalla. Tulppaustyökalu oli erittäin onnistunut ratkaisu, sillä siinä saatiin yhdistettyä 20 osaa

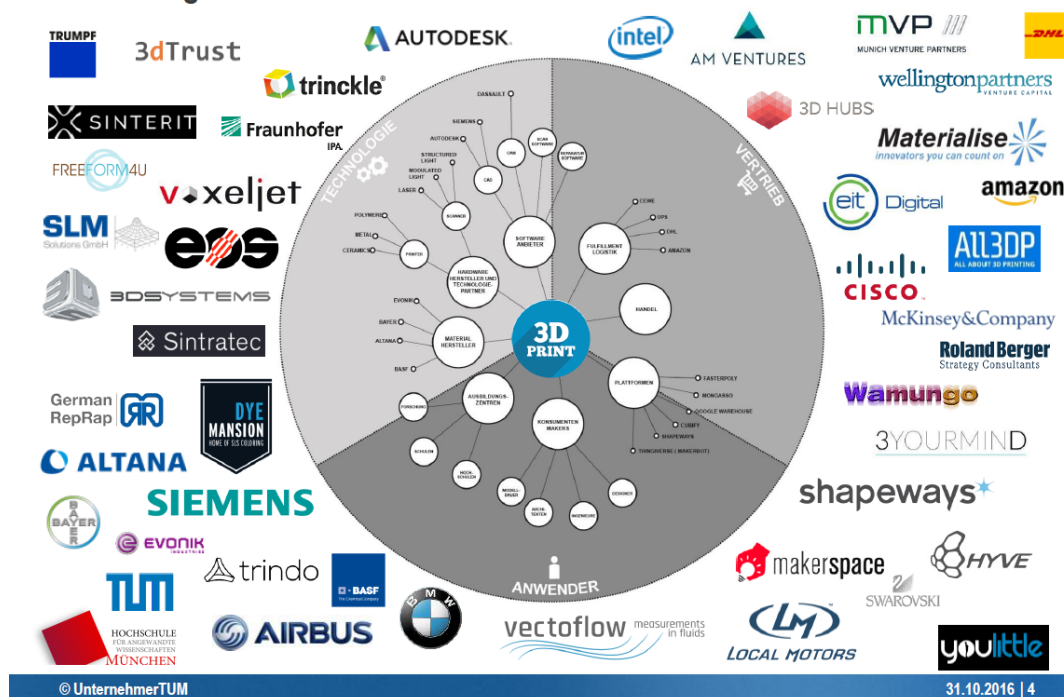
yhdeksi ainoaksi osaksi, joka puolestaan mahdollisti pienemmän ja kevyemmän robotin käytön.

5.4.3. Startup -trendejä lisäävässä valmistuksessa

Tobias Kuhl, UnternehmerTUM, "Startup-Trends im Bereich der Additiven Fertigung"

Saksalainen Unternehmer on Euroopan suurin startup- yritysten hautomo, joka käynnistää yhden startupin viikossa. Tavoitteena on käynnistää vähintään 10 lisäävän valmistukseen liittyvää yritystä vuodessa jota pyritään edesauttamaan tarjoamalla palvelua ja toimintaympäristön koko yrityksen perustamiskaaren ajan, ideavaiheesta testaukseen, liiketoimintamallien rakentamiseen ja kasvuun.

One of our biggest strengths is our ecosystem which covers all types 3D-Printing stakeholders



Kuva 25: Hautomolla on 3D-tulostuksen ekosysteemi ja 3D-tulostusklusteri, joka yhdistää lisäävän valmistuksen palveluntarjoajat, osaajat ja kysynnän.

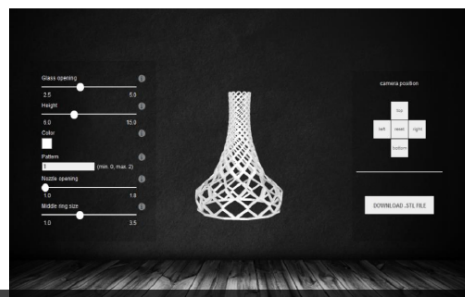
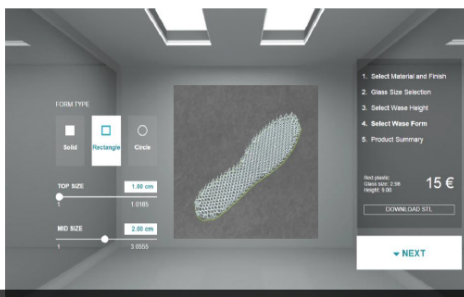
Hautomossa sijaitsee myös "Makerspace" - tila, joka on kaikkien vapaasti käytettävissä. Makerspace on 1500 neliön työskentelytila jossa on koneita ja laitteita metalli- puu- tekstiili- ja elektroniikka-alojen tarpeisiin. Lisäksi tilasta löytyy 3D-skannereita ja printtereitä, sekä laser- ja vesileikkureita.

ta. Ympäristö tarjoaa myös koulutus- ja konsultointipalveluita.

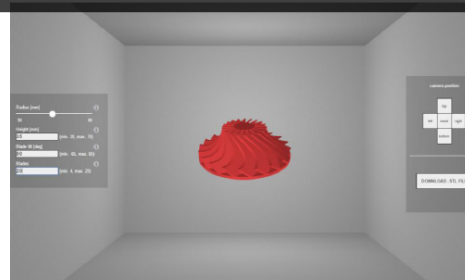
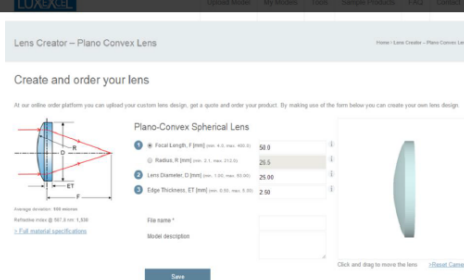
Esityksessä käytiin läpi joitakin viime aikojen mielenkiintoisimpia startup -yrityksiä lisäävän valmistuksen saralta:

- Botspot: 40 kameran 3D-skanneri joka mahdollistaa monimutkaisten kappaleiden skannauksen 0,1 sekunnin skannausajalla.
- Sintratec: edullisen luokan lasersintrauslaitteisto
- Dye-mansion: Värjäyslaitteisto SLS-laitteistolle tuoteominaisuuksia parantamaan
- FDX Oscijet: 3D-tulostettu, oskilloiva suutin
- Vectoflow: 3D-tulostettu paineentunnistin, jossa paine tunnistetaan 3D-tulostetun muodon avulla

Learning about the customers needs by letting them co-create their own products



Customized User-Interfaces



Kuva 26: Uusien AM-startup -yritysten joukossa esiteltiin myös Trinckle, joka tarjoaa ohjelmistopalustaa loppuasiakkaiden käyttäjäystävälliseen tuoteräätälöintiin 3d-tulosteille

6. YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

6.1. Hedelmällisimmät käyttökohteet / alueet

Käyttökohteita erityisesti lääketieteen alalta löytyy jatkuvasti, ja vielä käyttämätön potentiaali on huimaa. Yksi kehitystä merkittävästi hidastava tekijä on viranomaismääräykset – vaikka potentiaallisia sovelluskohteita on jo runsaasti, säädökset ja lupaprosessit eivät ole seuranneet samaa vauhtia perässä. Useissa maissa tähän on jo kiinnitetty huomiota, mutta lupiin liittyvät prosessit ovat hitaita.

Avaruus- ja ilmailuteollisuutta lukuun ottamatta vauhti on teollisuuden puolella hieman hitaampaa ja **prototyyppien valmistus** pitää edelleen pintansa yhtenä lisäävän valmistuksen pääkäyttöalueita. Pääsyy tähän on toistaiseksi kustannusrakenteissa - lisäävän valmistuksen kustannukset ovat monissa kiinnostavissa käyttökohteissa suurempia kuin perinteisessä valmistuksessa. Tilanne tulee muuttumaan jatkossa, kun laitteistojen ja materiaalien hinta laskee.

6.2. Varaosien valmistus

Varaosien valmistus kiinnostaa yrityksiä, sillä siinä nähdään merkittäviä etuja nykyisiin toimintamalleihin verrattuna. Huomionarvoiseksi asian tekee se, että aihepiiri kiinnostaa myös perinteistä teollisuutta. Esimerkiksi Deutsche Bahn on aloittanut noin vuosi sitten tutkimusprojektin jossa perehdytään varaosien valmistamiseen 3D-tulostamalla. Tällä hetkellä yrityksellä on 45 nimikettä 3D-tulostettuna (n. 400 erillistä osaa) testikäytössä junissa ympäri Saksaa. Testikäytössä olevat osat ovat ns. "perinteisempiä" osia eli suhteellisen yksinkertaisia muotoja, materiaalina muovit ja teräksiset.

Vastaavista kokeiluista kertoivat myös lentoyhtiöiden edustajat eri tuotteisiin liittyen. Esimerkiksi eräs lentokonevalmistaja on lähtenyt kokeilemaan varaosien 3D-tulostusta valmistamalla uuteen hävittäjään pienen määrän 3D-tulostettuja osia, joilla pyritään noin 1.2 miljoonan punnan säästöihin varaosakustannuksissa.

6.3. Automaatio ja työturvallisuus

Sekä messuilla että seminaariesityksissä näkyi se, että työturvallisuuteen ja modulaariseen valmis-

tukseen kiinnitetään entistä enemmän huomiota, erityisesti metallin lisäävään valmistukseen liittyen. Vaarallisten jauheiden käsin pyörittelystä halutaan päästä eroon ja useat valmistajat tarjoavatkin kasettimaisia ratkaisuja joilla pyritään pitämään jauheet koneiden sisällä. Tähän liittyy myös työvaiheiden automatisointi eli valmistettavat kappaleet viedään automaattisesti työvaiheesta toiseen, esimerkiksi valmistuskammiosta lämpö/jälkikäsittelyyn kuljetuslinjoja tai vihivaunuja käyttäen.

6.4. Komposiittien lisäävä valmistus sekä silikonimateriaalit

Metallitulostuksen lisäksi ja sitä korvaamaan ovat nousemassa monilla aloilla erilaiset komposiittirakenteet. Sekä alaa seuraavat konsultit kuten Terry Wohler, että alalla toimivat yritykset odottavat että komposiittirakenteiden valmistaminen lisäävän valmistuksen keinoin nousee alalla merkittävään rooliin. Markkinoille on jo tullut ensimmäisiä automaattisia, teollisen tason 3D-tulostuslaitteistoja, joilla erilaisia komposiittirakenteita (mm. hiilikuitu, kevlar, yms.) voidaan valmistaa.

Komposiittien lisäksi myös silikonimateriaalien tulostuslaitteita on tullut markkinoille, painopisteenä erityisesti ”medical grade” –tason silikonimateriaalit terveydenhuollon tarpeita varten. Messuilla esiteltiin silikonitulosteita muutamien eri valmistajien osastoilla – osa laitteista on jo täysin valmiita koneita, osa vielä prototyyppivaiheessa.

6.5. Laite- ja materiaalikustannukset laskevat

Markkinoita aktiivisesti seuraavien asiantuntijoiden mukaan metallin lisäävän valmistuksen laitteistojen hinnasta tällä hetkellä vain noin 1/3 muodostuu siihen käytetyistä komponenteista. Tämän vuoden aikana on rauennut ja raukeaa useita keskeisiä patenteja, jotka mahdollistavat uusien toimijoiden saapumisen markkinoille. Messuilla olikin esillä useita aasialaisia toimijoita, joiden hyvin samankaltaiset laitteistot kilpailevat alan perinteisesti suurempien toimijoiden kanssa lähinnä hinnalla.

Myös jauheiden valmistuksen osalta tulee tapahtumaan kehitystä. Toimijoiden määrä lisääntyy ja markkinoille on tulossa muutamia uusia innovaatioita jauheen valmistusprosessiin – nämä voivat laskea jauheiden hintaa merkittävästi ja vaikuttavat olennaisesti myös saatavuuteen.