



LUT

Lappeenranta

University of Technology



Metallin 3D-tulostuksen teolliset sovellutukset

Dosentti Heidi Piili

Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Lasertyöstön tutkimusryhmä

3D-metallintulostus-iltapäiväseminaari, Vaasa
30.10.2018

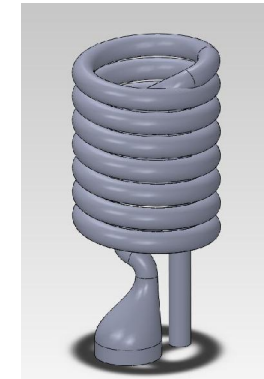
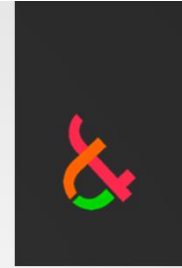
Lasertyöstön tutkimusryhmän taustaa



- Lasertyöstötutkimusta vuodesta 1985
- Ensimmäinen oma laser 1986
- Alussa laserhitausta, pinnoitusta ym.
- Monella Suomen lasertyöstäjällä on juuret LUT lasertyöstö -tutkimuksessa
- Tällä hetkellä 5 tutkijaa, laboratorioteknikko, 3 tutkimusapulaista, 4 diplomityöntekijää
- Liikevaihto n. 1 M€/vuosi
- Diplomi-insinöörejä n. 6 kpl/vuosi
- Väitöskirjoja n. 1 kpl/vuosi
- Julkaisuja n. 15 kpl/vuosi
- Viittauksia > 300/vuosi

Lisäävä valmistus LUT:ssa

- Lisäävän valmistuksen monitoroinnin tutkimusta vuodesta 2009 lähtien.
- Metallien lisäävän valmistuksen jauhepetisulatuslaitteisto 5/2011 lähtien.
- Lisäävän valmistuksen koulutusta:
 - Diplomi-insinööriopiskelijoille 2013 lähtien
 - Tohtoriopiskelijoille 2017 lähtien
 - Räätelöityä teollista koulutusta 2014 lähtien
- LUTissa on tehty vuosien 2009-2018 aikana:
 - 48 akateemista julkaisua
 - 28 opinnäytetyötä (kandintyö ja diplomityö)
- LUTissa on ollut käynnissä 8 suurta projektia lisäävän valmistuksen teollisesta tutkimuksesta. Näiden projektien yhteisarvo on ~3,4 M€.



Manufacturing 4.0, Future of Manufacturing



- MFG 4.0 on Strategisen tutkimuksen neuvoston (STN) rahoittama kolmivuotinen transdisiplinäärinen tutkimushanke, jossa tutkitaan valmistavan teollisuuden tulevaisuutta eri näkökulmista.
- Projektin painopiste on 3D-tulostuksessa ja teollisessa automaatiassa, ja niiden tuoman valmistavan teollisuuden murroksen vaikutuksen ymmärtämisessä ja siihen varautumisessa koko yhteiskunnassa.
- Mukana ovat seuraavien professoreiden tutkimusryhmät:
 - Kari Ullakko, Mikael Collan, Antti Salminen, Heikki Handroos, LUT
 - Heikki Hiilamo, HY
 - Jouni Välijärvi, JYU
 - Jari Kaivo-oja, TY



Metallien 3D-tulostuksen osaamiskeskittymä Etelä-Karjalaan



- Teollisuuden 3D-tulostus-hankkeessa (eng. Metal 3D Innovations, Me3DI) on tavoitteena muodostaa Etelä-Karjalan teollisuuden metallien 3D-tulostuskeskittymä, joka tehostaa metallien lisäävän valmistuksen (3D-tulostus) käyttöä.
- Hanke on saanut rahoituksen Euroopan aluekehitysrahastosta (EAKR).
- Mukana LUTista on lasertyöstön ja teräsrakenteiden tutkimusryhmä.
- Hanke alkoi 1.9.2018 ja loppuu 31.12.2020.



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020



Metallien 3D-tulostus Suomessa



**tekniikka
& talous**

3D-TULOSTAMINEN

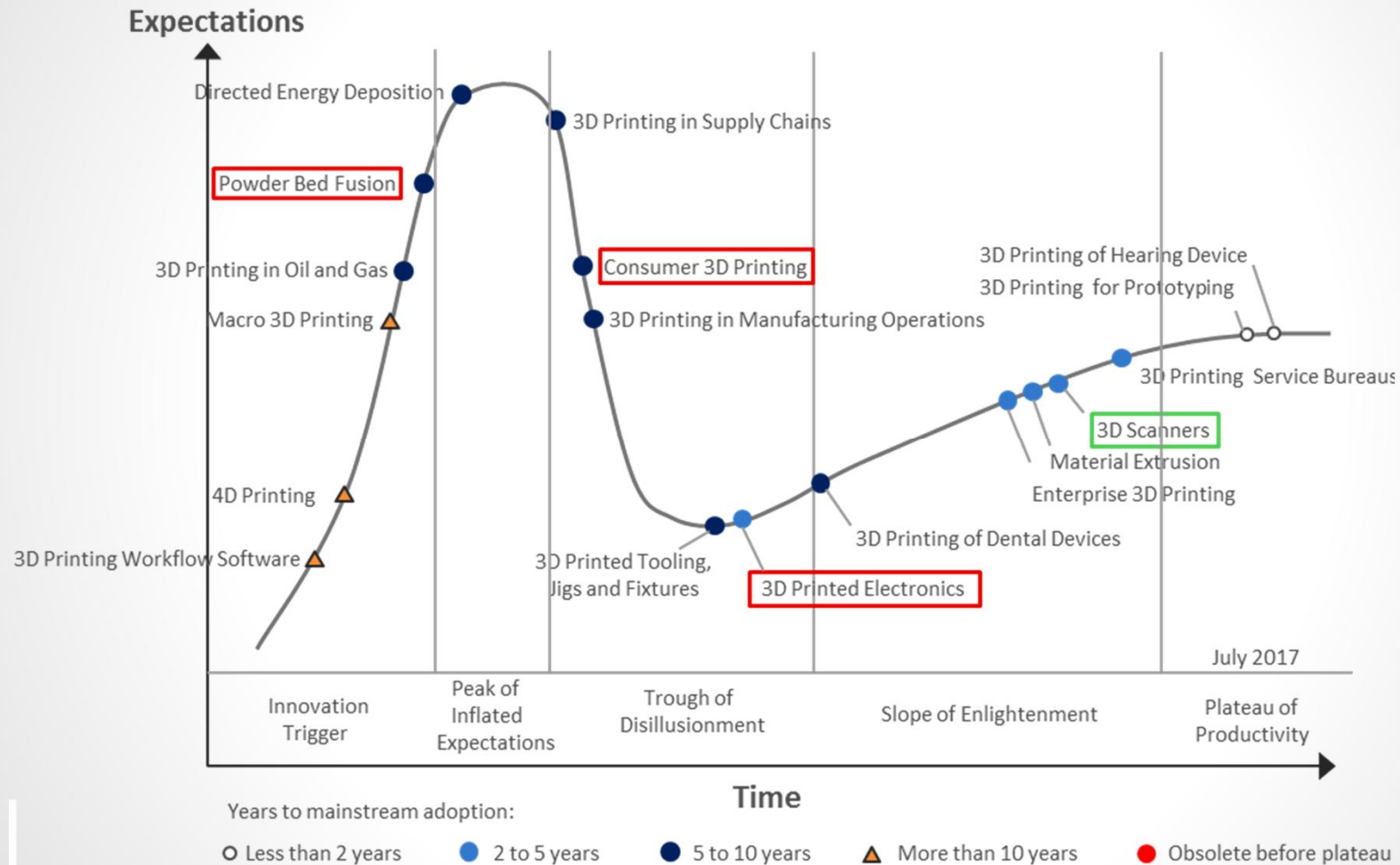
Mikael Sjöström

🕒 12.10. klo 18:00

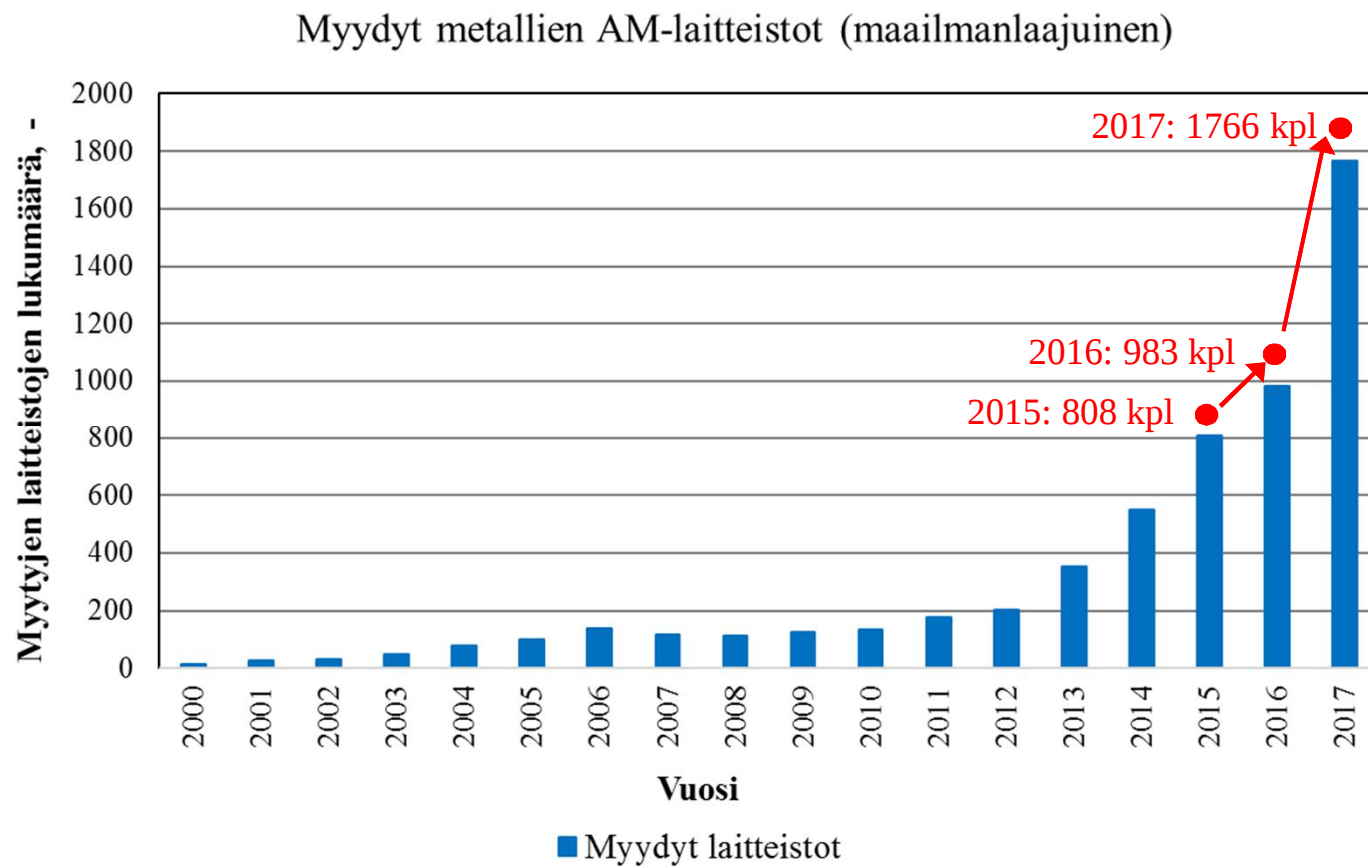
**”Meillä ei ole vielä menestystarinoita” -
LUT haluaa tehdä 3d-tulostamisesta
yritysten menestystekijän**

- <https://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/metalli/meilla-ei-ole-viela-menestystarinoita-lut-haluaa-tehda-3d-tulostamisesta-yritysten-menestystekijan-6744801>

Gartnerin hypekäyrä: 3D-tulostus



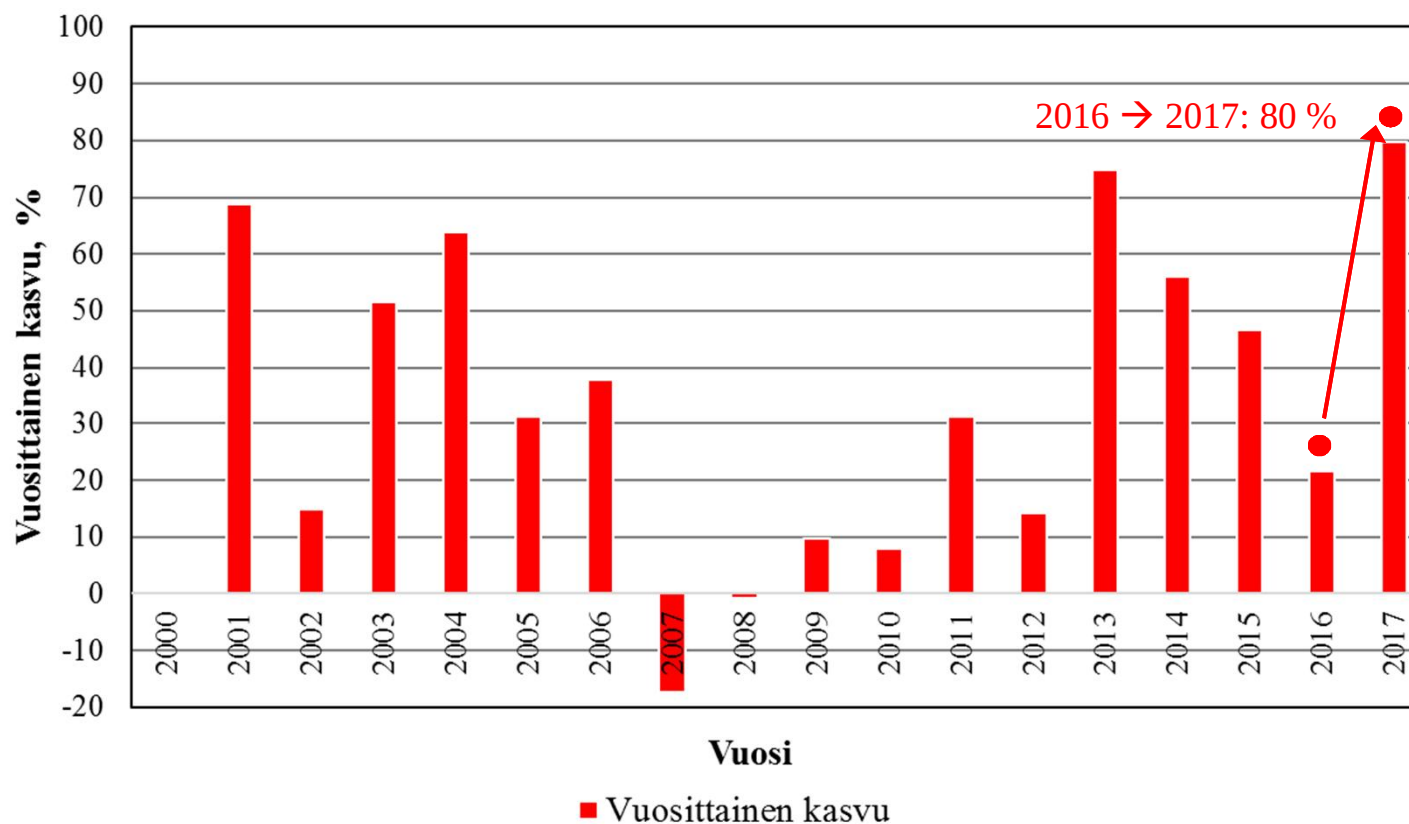
Metallien AM-laitteistojen globaali myynti



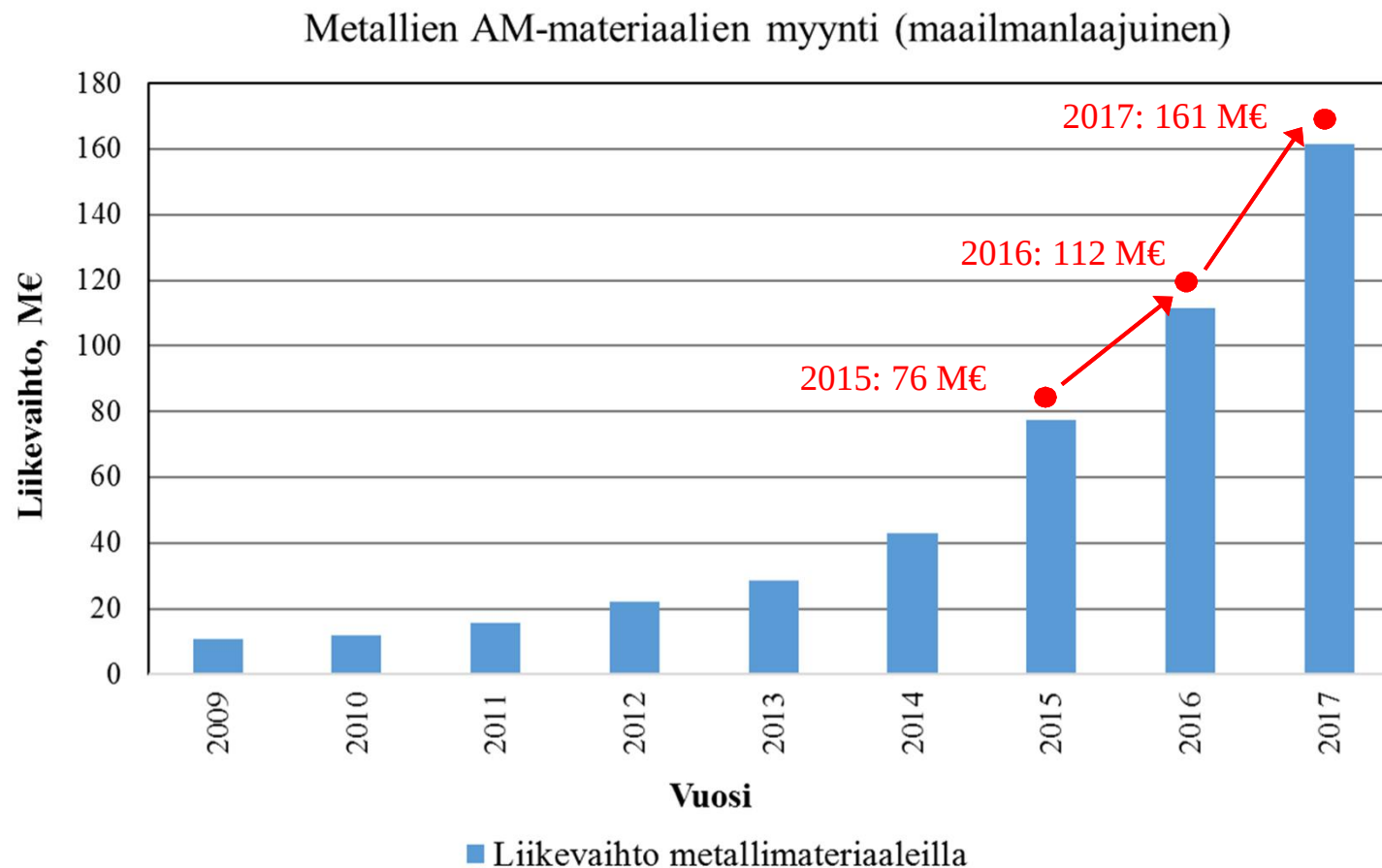
Metallien AM-laitteistojen globaali myynti



Metallien AM-laitteistojen myynnin kasvu (maailmanlaajuinen)



Metallien AM-materiaalien globaali myynti



Milloin kannattaa 3D-tulostaa metallista?



- Kokoonpanojen valmistus:
 - Valmistettavien osien määrä vähenee, kun koko tuote tai osia siitä voidaan tulostaa yhdellä kerralla.
- Tuotteen lämpötila- tai virtausprofiilin optimointi:
 - Tuotteen lämpötila- tai virtausprofiilia voidaan optimoida ja räätälöidä halutun toiminallisuuden aikaansaamiseksi.
- Kevennetyt rakenteet ja painonvähennys:
 - ”Tulostetaan materiaalia vain sinne, missä sitä tarvitaan”.
- Räätälöidyt tuoteominaisuudet:
 - Suunnittelun vapaus mahdollistaa monimutkaisten rakenteiden valmistuksen tuotteen loppusovelluksen mukaan.

Milloin kannattaa 3D-tulostaa metallista?



- Tehostunut logistiikka:
 - Ideasta tuotteeksi -aika lyhenee, valmistus lähellä asiakasta, varaosatulostus jne.
- Kannattava piensarjatuotanto:
 - Piensarjojen valmistus kannattavaa, koska mm. työkalujen tarve vähäisempi, asetusajat lyhyemmät ja materiaalin saanti suoraviivaisempaa.

Kokoonpanojen valmistus

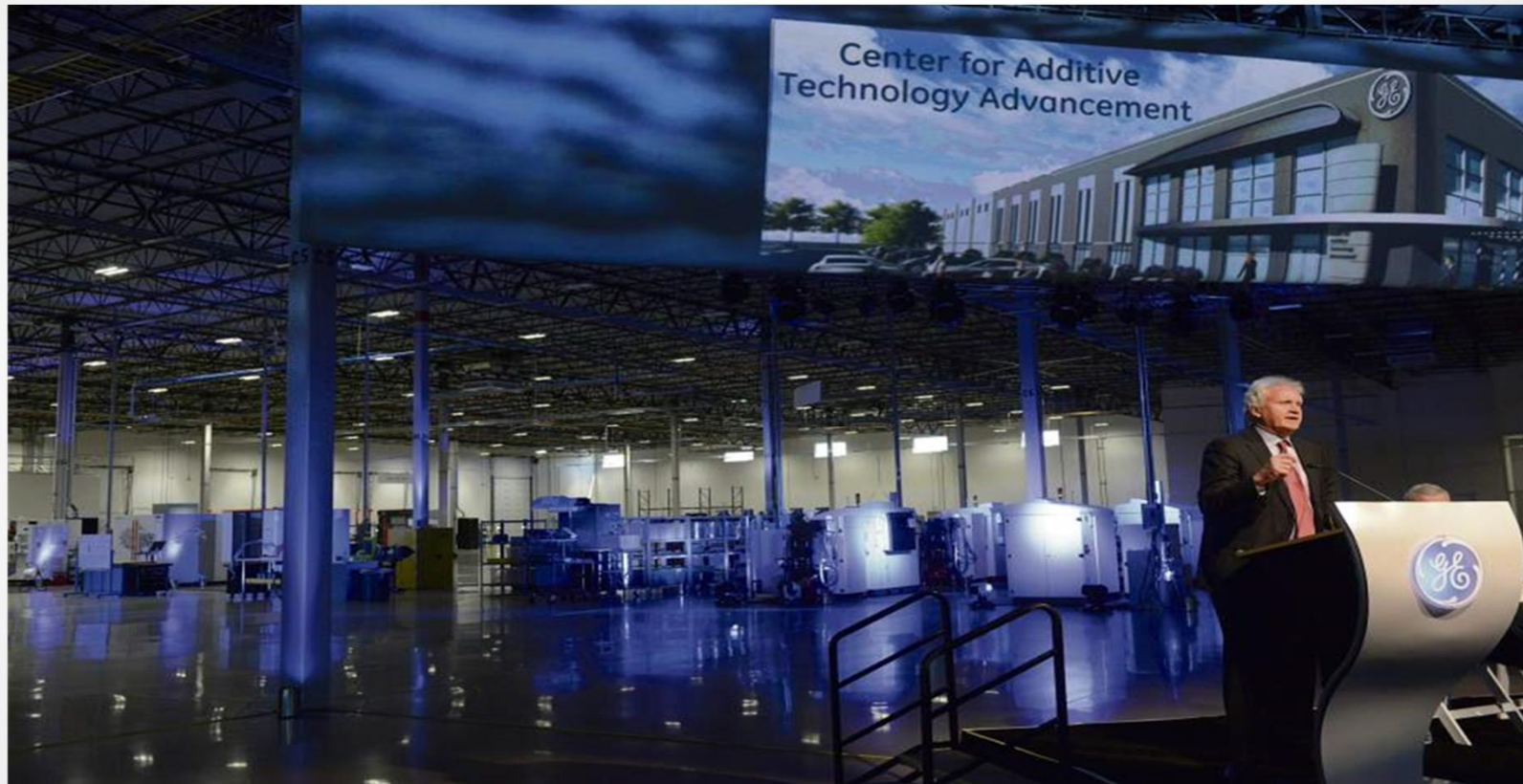


- Kokoonpanojen valmistus:
 - Valmistettavien osien määrä vähenee, kun koko tuote tai osia siitä voidaan tulostaa yhdellä kerralla.
 - Jälkityöstön määrä vähenee
 - Kokoonpanovaihe suoraviivaistuu
 - Tuotteen toimintavarmuus paranee

Kokoonpanojen valmistus: Polttoainesuutin



GE Aviation on perustanut 28000 m² AM-tehtaan

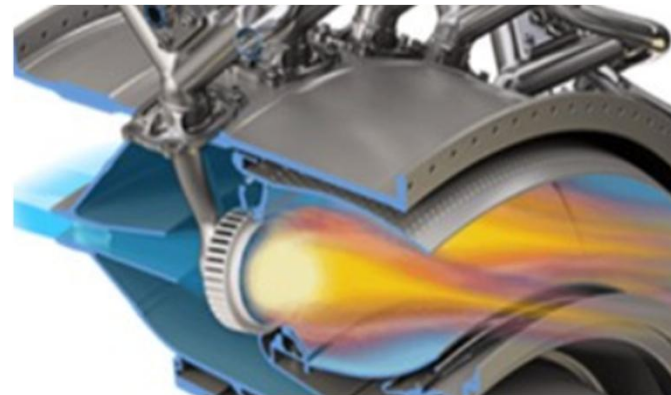


Lähde: <http://triblive.com/business/headlines/10235278-74/manufacturing-center-additive>

Kokoonpanojen valmistus: Polttoainesuutin



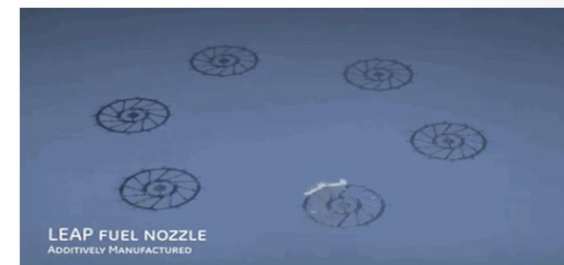
- GE Aviation Auburnissa, Alabamassa on n. 50 laitetta valmistamassa polttoainesuuttimia. Suutinta käytetään LEAP-suihkumotorissa, joka on GE Aviationin myydyin suihkumoottori.
- Vuosittainen tuotantomäärä 15 000 kpl, tavoite tulevaisuudessa huomattavasti suurempi.



Kokoonpanojen valmistus: Polttoainesuutin



- Tällä hetkellä valmistuksessa työskentelee 140 henkilöä.
- Polttoainesuutin valmistetaan perinteisellä tekniikalla 20 eri osasta juottamalla ja hitsaamalla.
- Lisäävällä valmistuksella tehty suutin on viisi kertaa kestävämpi kuin perinteisellä tehty.



Kokoonpanojen valmistus: Polttoainesuutin



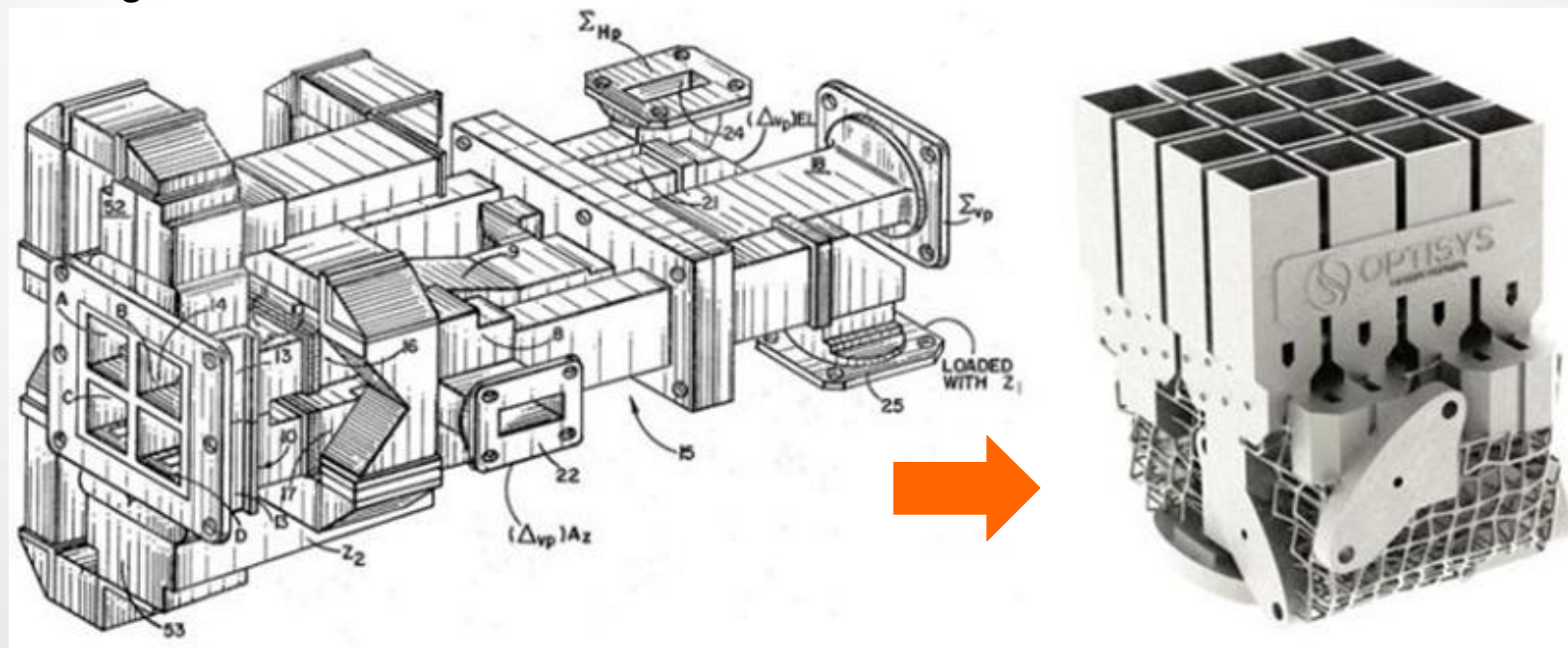
- Lisäävällä valmistuksella tehty suutin on myös 25 % kevyempi kuin perinteisesti valmistettu.
- Suuttimen polttoaineen kulutus on 15 % alhaisempi kuin nykyisissä suihkukoneissa.
- Yhdessä LEAP suihkumoottorissa on 19 suutinta, joiden tulee kestää 1600 asteen kuumuutta.



Kokoonpanojen valmistus: Mikroantenni



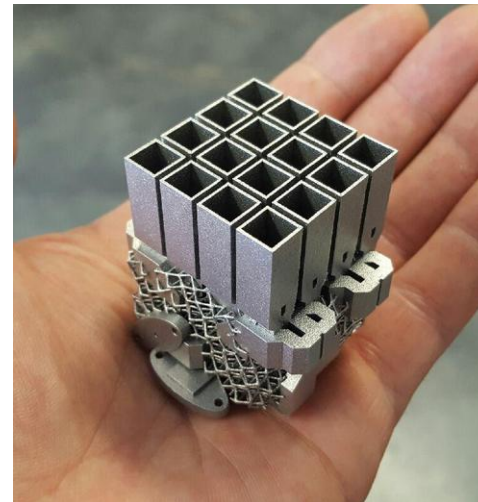
- Optisys LLC valmistaa mikroantenneja lentokone- ja puolustusteollisuudelle.
- Osien määrä putosi 100 tarkasta osasta yhteen osaan, johon oli integroitu kaikki funktiot.



Kokoonpanojen valmistus: Mikroantenni



- Koko pieneni suuresta kämmenenkokoiseen
- Painonsäästö 95 %
- Läpäisyaika putosi 11 kk $\Rightarrow$ 2 kk
- Tuotantokustannukset putosivat 20-25 %
- Kiinteät kulut putosivat 75 %

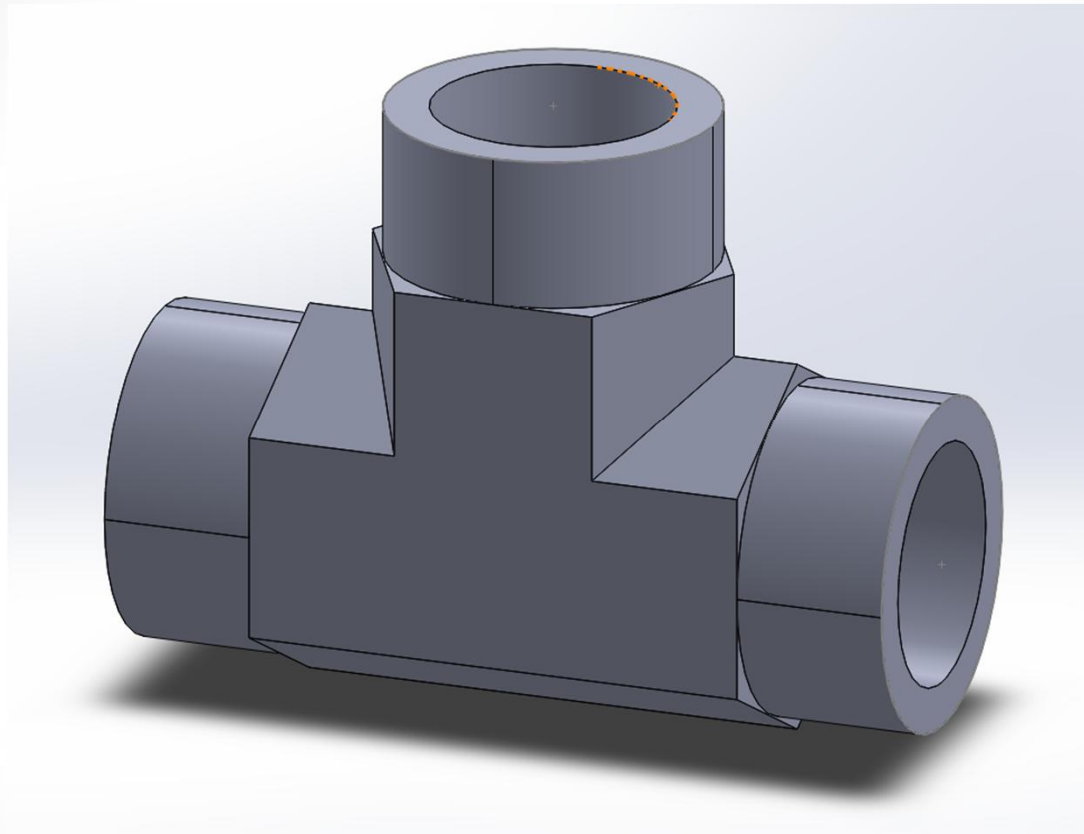


Lämpötila- ja virtausprofiilin optimointi



- Tuotteen lämpötila- tai virtausprofiilin optimointi:
 - Tuotteen lämpötila- tai virtausprofiilia voidaan optimoida ja räätälöidä halutun toiminallisuuden aikaansaamiseksi.
 - Sisäisiä jäähdytyskanavia voidaan valmistaa siten, että ne seuraavat tuotteen ulkopinnan geometriaa.
 - Virtauskanavien muotoa voidaan optimoida simuloitujen mallien mukaisiksi.
 - Tuotteen lämmitys- tai jäähdytysominaisuuksia voidaan muokata simuloitujen lämpötilaprofiilien mukaisiksi.

Lämpötila- ja virtausprofiilin optimointi: T-liitin

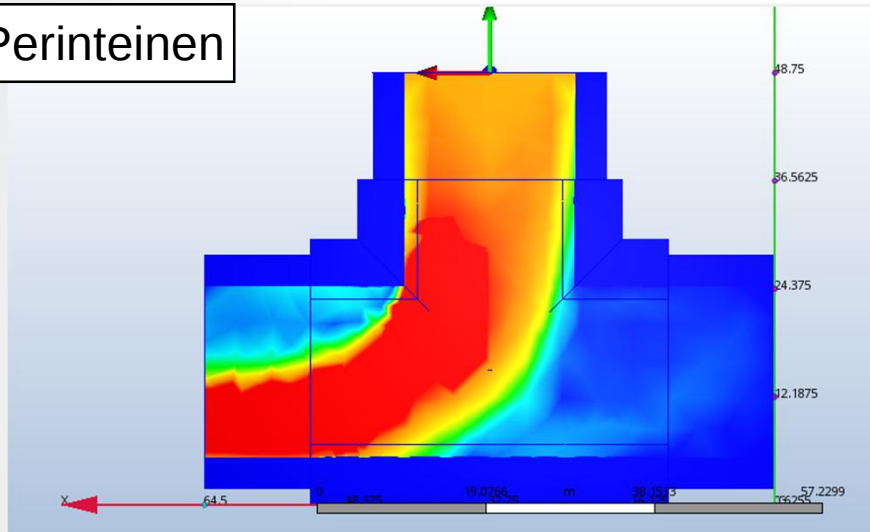


- Hydrauliliöljyn virtaus ei ole optimoitu
- Valmistustekniikan vuoksi teräviä kulmia

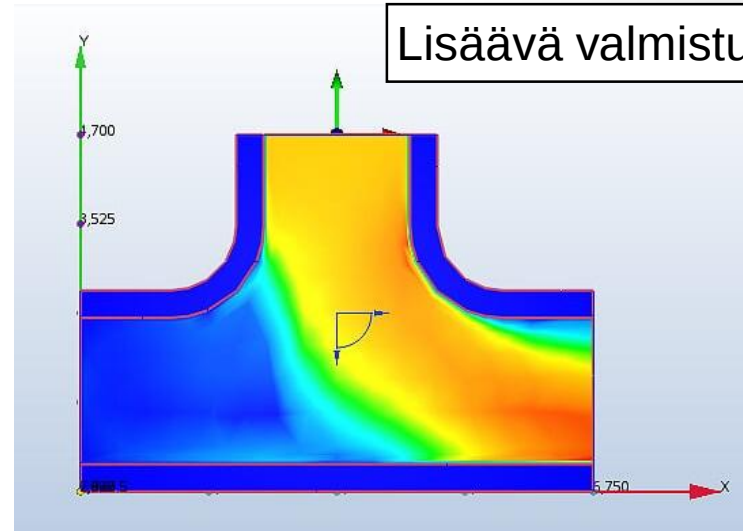
Lämpötila- ja virtausprofiilin optimointi: T-liitin



Perinteinen



Lisäävä valmistus

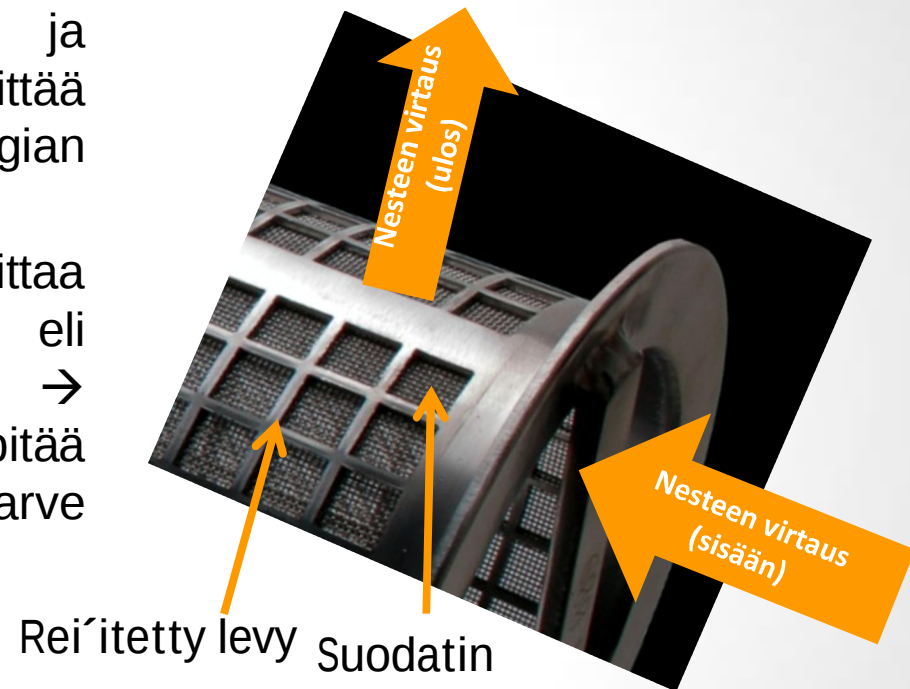


- Tasaisempi nopeus T-haaran läpi
- 20 % alempi maksiminopeus
- Turbulenssivirtauksen alue lähes pois
- 60 % alempi painehäviö

Lämpötila- ja virtausprofiilin optimointi: Suodattimet



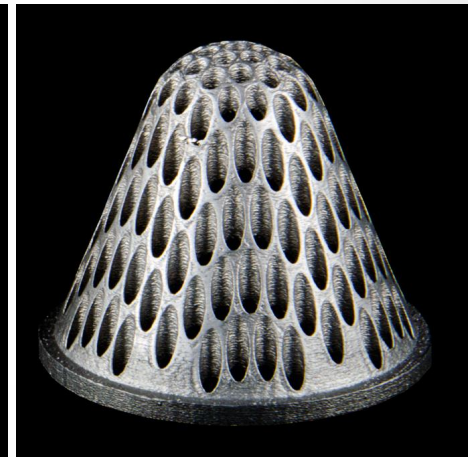
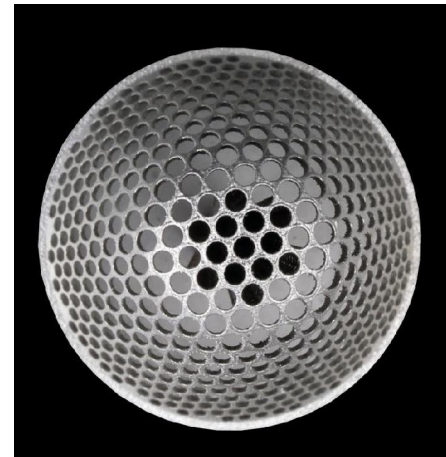
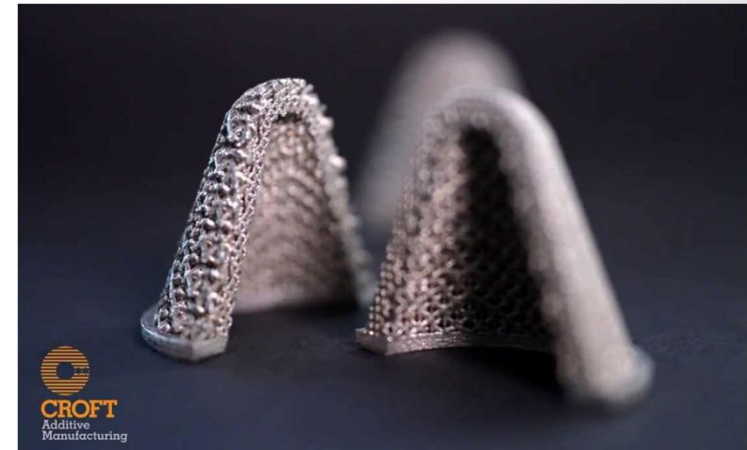
- Painehäviö sisäänmeno- ja ulostulovirtauksen välillä määrittää pumppauksessa käytetyn energian tarpeen.
- Turbulenssivirtaus tarkoittaa suodatusvastuksen kasvamista eli suodatustehokkuus laskee → Sisäänmenovirtauksen määrää pitää kasvattaa eli pumppaustehon tarve kasvaa.



Lämpötila- ja virtausprofiilin optimointi: Suodattimet



- 3D-tulostuksen mahdollisuus:
 - Jos suodattimien kanavia ja reikiä voitaisiin suunnata virtauksen mukaisiksi, turbulenssivirtauksen määrää voidaan vähentää → suodattimen painehäviö laskee → pumppauksen tehon tarve vähenee.
 - Materiaali: SS316L

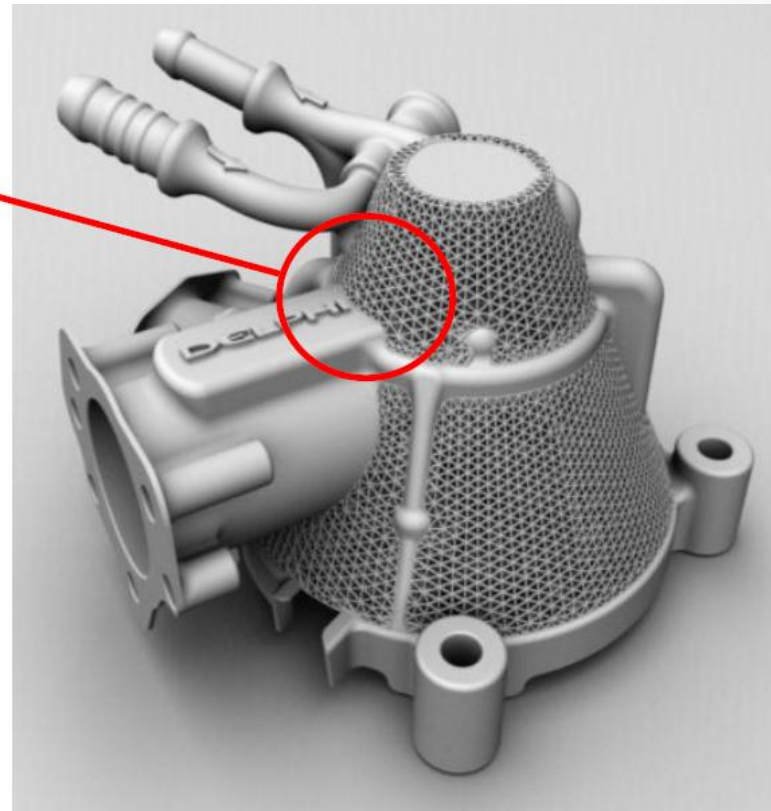
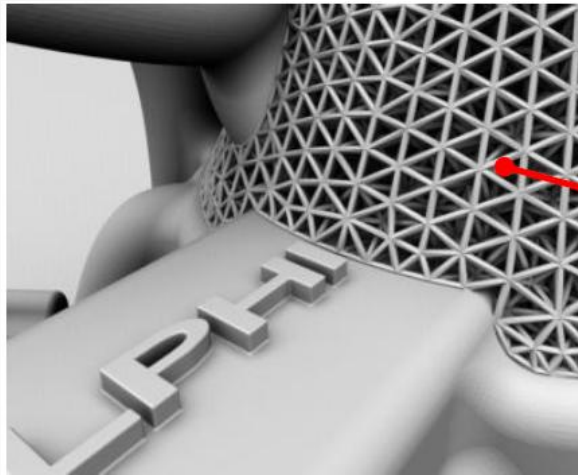


Lämpötila- ja virtausprofiilin optimointi: Suodattimet



- Esimerkiksi Iso-Britanniassa teollisuuden sähköntarpeesta 13 % kuluu pumppaukseen.
- Tämä tarkoittaa 728 miljoonaa puntaa eli 813 miljoonaa euroa.
- Tämä luku on myös Iso-Britannian 6 % hiilijalanjäljestä.

Lämpötila- ja virtausprofiilin optimointi: ”Lämmönjohtimet”



Kevennetyt rakenteet



- Kevennetyt rakenteet ja painonvähennys:
 - "Tulostetaan materiaalia vain sinne, missä sitä tarvitaan".
 - Rakenteita optimoimalla voidaan aikaansaada merkittäviä painonvähennyksiä.
 - Tehostetut tuoteominaisuudet
 - Painonvähennys tarkoittaa myös nopeampaa tulostusta, koska tulostettavaa on vähemmän.
 - Raaka-aineen vähentynyt tarve
 - Matalammat tulostuskustannukset

Kevennetyt rakenteet: Turvavyön solki



- Lentokoneen turvavyön solki perinteisesti valmistettuna teräksestä painaa 155 g.
- Soljelle suunniteltiin uusi rakenne FEM-analyysin avulla.
- Uusi rakenne tehtiin kertatulosteena.
- Uusi titaanista tehty solki painoi 68 g, joten se painoi 87 g (55 %) vähemmän kuin alkuperäinen.



Kevennetyt rakenteet: Turvavyön solki



- Airbus A380, 853 istuinta: painonvähennys yhteensä 72,5 kg.
- Lentokoneen eliniän aikana tämä tarkoittaa 3.3 miljoonan litran polttoaineen säästöä.



Räätälöidyt tuoteominaisuudet

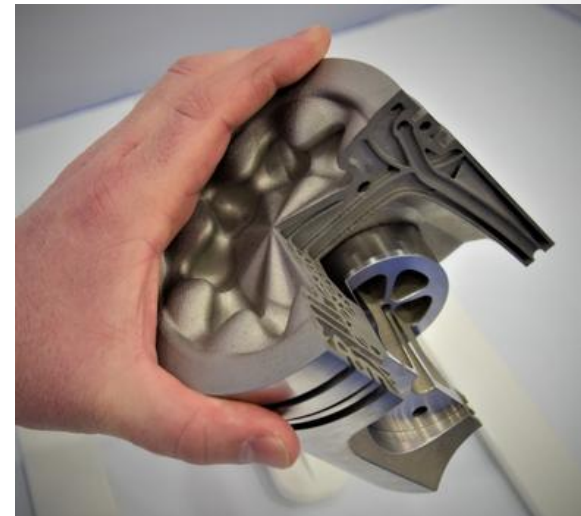


- Räätälöidyt tuoteominaisuudet:
 - Suunnittelun vapaus mahdollistaa monimutkaisten rakenteiden valmistuksen tuotteen loppusovelluksen mukaan.

Räätälöidyt tuoteominaisuudet: Auton moottorin mäntä



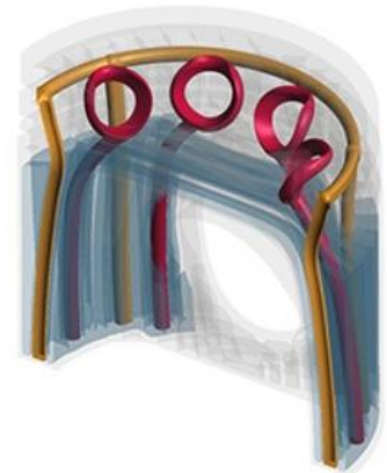
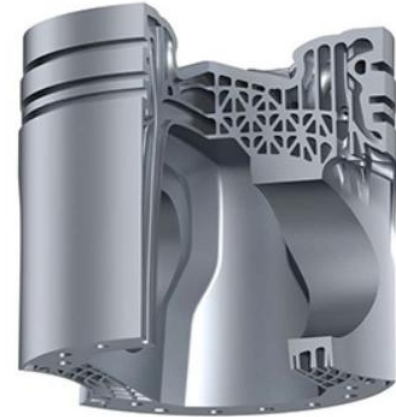
- Henkilöauton moottorin mäntä liikkuu 12 m/s korkeassa lämpötilassa ja paineessa.
- Männät valmistetaan perinteisesti alumiinista tai teräksestä.
- IAV Automotive Engine on tulostanut henkilöauton moottorin männän tehden siitä:
 - 25 % kevyemmän,
 - kestävämmän korkeissa lämpötiloissa, kun kriittisiin kohtiin on lisätty jäähdytys sisäisten kanavien avulla,
 - ja nopeamman valmistaa.



Räätälöidyt tuoteominaisuudet: Auton moottorin mäntä



- Henkilöauton moottorissa palotilassa paine voi olla 300 bar.
- 3D-tulostetussa männässä on suunniteltu verkkorakenne, joka kestää tätä painetta.
- Verkkorakenne tekee männästä vahvemman ja jäykemmän, mutta myös kevyemmän.
- Männän sisään on suunniteltu myös jäähdytyskanavisto, jossa kiertää jäähdytysnestettä.
 - Männän lämpökuorma pidetään lasketuissa rajoissa.



Räätälöidyt tuoteominaisuudet: Auton moottorin mäntä



- IAV Automotive Engine ennustaa, että 3D-tulostuksen kustannukset laskevat 2-3 vuoden kuluessa, ja tällöin myös mäntien 3D-tulostus sarjatuotantona tulee kannattavaksi.
- Männän perinteinen valmistus kestää 12 viikkoa tuotekehitysvaiheessa, ja jälkityöstö vie viikon.
- 3D-tulostuksen avulla mäntä voidaan valmistaa alle viikossa jälkityöstön kanssa.
- 3D-tulostimessa pystytään valmistamaan 40 mäntää kerralla.



Tehostunut logistiikka

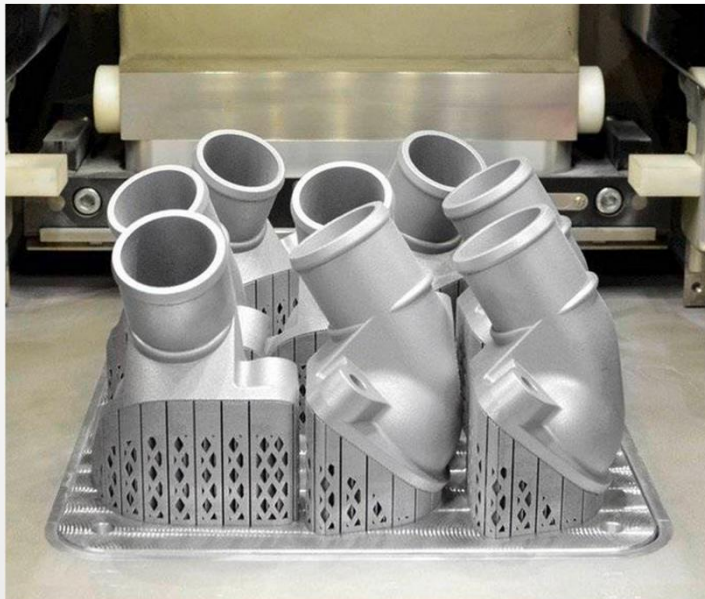


- Tehostunut logistiikka:
 - Ideasta tuotteeksi -aika lyhenee, valmistus lähellä asiakasta, varaosatuloistus jne.

Tehostunut logistiikka: Varaosien tulostus



- Daimler julkisti ensimmäisen teollisen 3D-tulostetun varaosan 2017.
- Osa on moottorin termostaatin kansi Mercedes-Benz-kuorma-autossa.
- Kuorma-autojen, joissa oli tällainen osa, valmistus lopetettiin 15 vuotta sitten.



Mercedes-Benz

DAIMLER

LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Tehostunut logistiikka: Varaosien tulostus



- Daimlerin mukaan etuja varaosien 3D-tulostuksessa on:
 - Monimutkaisten, lämmönkestävien metallirakenteiden, joilla hyvät mekaaniset ominaisuudet, tulostus.
 - Kustannustehokas, nopea ja joustava piensarjatuotanto.
 - Mahdollisuus tulostaa metallituotteita suoraan digitaalisista malleista vähentää kalliiden erikoistyökalujen tarvetta, työkalujen ja valmistettujen osien varastointitarvetta sekä kuljetuskustannuksia.



Mercedes-Benz

DAIMLER

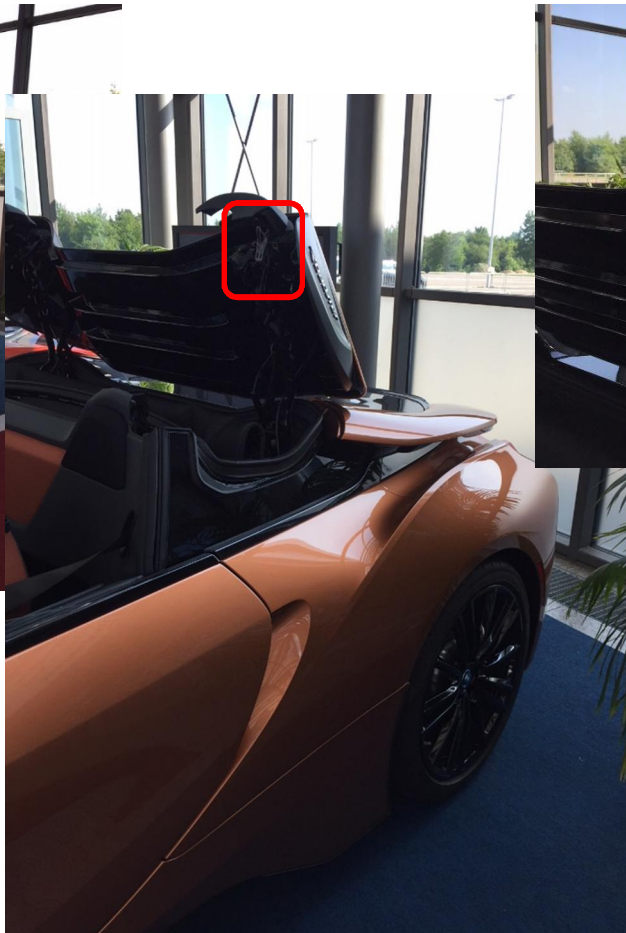
LAPPEENRANTA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Kannattava piensarjatuotanto



- Kannattava piensarjatuotanto:
 - Piensarjojen valmistus kannattavaa, koska mm. työkalujen tarve vähäisempi, asetusajat lyhyemmät ja materiaalin saanti suoraviivaisempaa.

Kannattava piensarjatuotanto: tulostettuja autonomisia



Kannattava piensarjatuotanto: tulostettuja autonomisia



BMW rakentaa 3D-tulostuskeskuksen



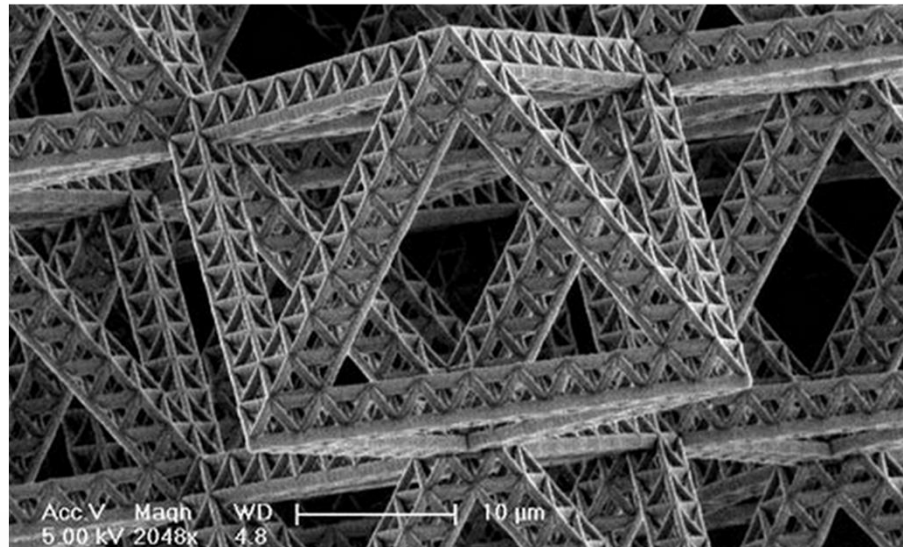
- BMW investoi 10 M€ 3D-tulostuskeskukseen.
- Tämä avataan vuoden 2019 aikana.
- BMW aikoo kouluttaa kaikki tuotesuunnittelijansa ymmärtämään 3D-tulostuksen mahdollisuudet ja rajoitteet.



Lopuksi...tulostettuja nanoparistoja...



- Jennifer Lewis tutkimustiimeineen on kehittänyt Harvardin yliopistossa nanokokoisen 3D-tulostetun litiumpariston.
- Paristo on tavallisen pariston näköinen, mutta se on kooltaan hiekanjyvän kokoinen.
- Tällaisia paristoja voidaan käyttää virtalähteenä pienissä lääkinällisissä laitteissa, pienessä elektroniikassa tai jopa pienissä roboteissa.



Forbes

Thank you for your attention!



Any questions?



Contact information



Lappeenranta University of Technology
Research Group of Laser Materials
Processing

Docent, Dr. Heidi Piili
heidi.piili@lut.fi
Tel. +358 40 5510 710





LUT

Lappeenranta

University of Technology