

Title	3D-tulostuksella lisäarvoa tuotteisiin
Author(s)	Kujanpää, Veli
Citation	3D-iltapäivä, 26.5.2015, Tampere Tampereen Aikuiskoulutuskeskus (2015)
Date	2015
Rights	This presentation may be downloaded for personal use only.

VTT  
<http://www.vtt.fi>  
P.O. box 1000  
FI-02044 VTT  
Finland

By using VTT Digital Open Access Repository you are bound by the following Terms & Conditions.

I have read and I understand the following statement:

This document is protected by copyright and other intellectual property rights, and duplication or sale of all or part of any of this document is not permitted, except duplication for research use or educational purposes in electronic or print form. You must obtain permission for any other use. Electronic or print copies may not be offered for sale.



# 3D-tulostuksella lisäarvoa tuotteisiin

**3D-iltapäivä**  
**Tampereen Aikuiskoulutuskeskus**  
**26.5.2015 Tampere**

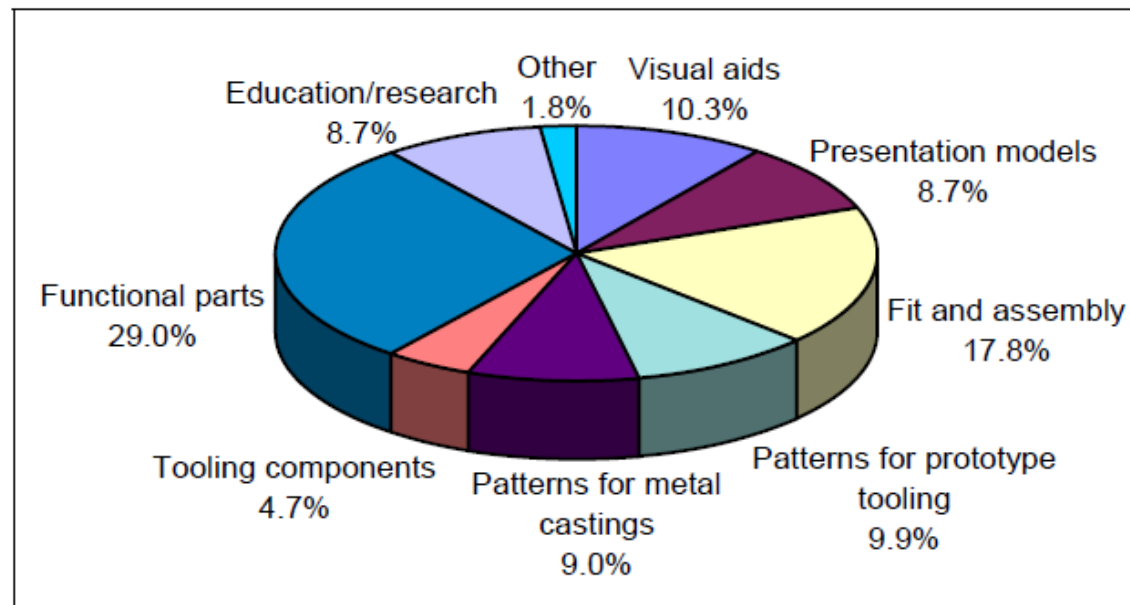
**Prof. Veli Kujanpää**  
**VTT**

# Mitä on 3D-tulostus

- Oikeampi nimitys olisi esim. lisäävä valmistus (Additive Manufacturing, AM)
  - “The process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies”
- 3D-tulostus (3D printing)
  - Fabrication of objects through the deposition of a material using a print head, nozzle, or another printer technology
    - Note: Term often used in a non-technical context synonymously with additive manufacturing (2.1.2); until present times this term has in particular been associated with machines that are low end in price and/or overall capability.

# Käyttökohteet

- Prototyyppien teko (Rapid Prototyping)
  - Kehityksen lähtökohta
    - Ensimmäinen kaupallinen laite 1987
    - Tuotekehityksen nopeuttajana ja tukena
- Työvälineiden teko (Rapid Tooling)
  - Kiinnittimet
  - Muotit
  - Pistimet, tyynyt
- Lopputuotteiden valmistaminen (Rapid Manufacturing)
  - Nopeimmin kasvava sektori

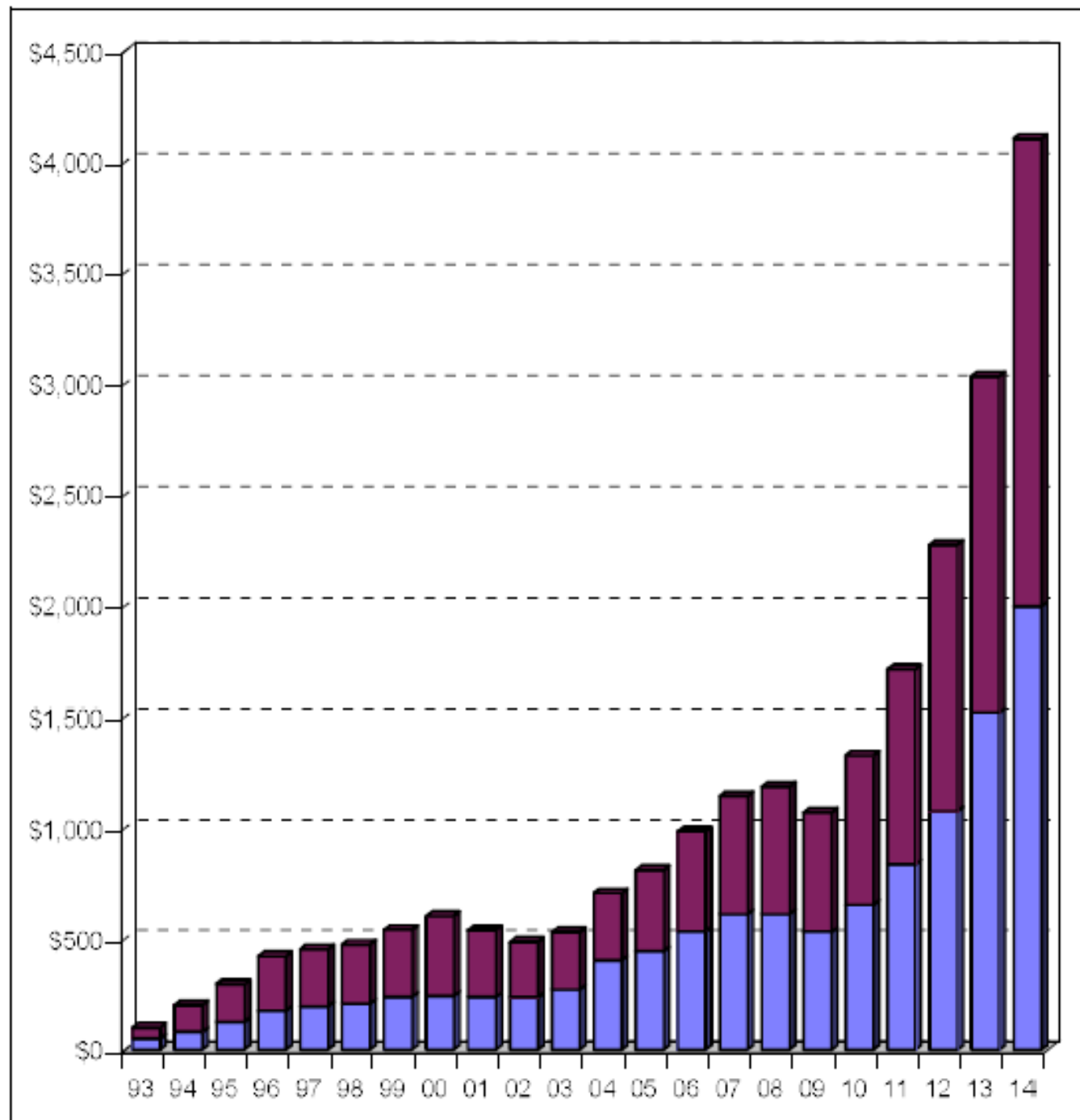


Wohlers Report 2015

# Markkinoista

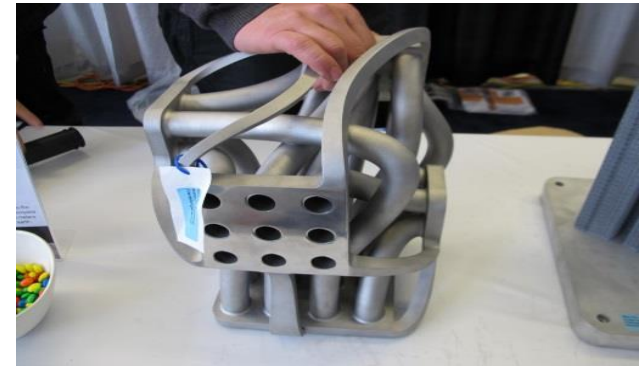
- AM-liiketoiminnan arvo globaalisti oli 4,1 miljardia dollaria vuonna 2014
  - Kasvua edellisestä vuodesta 34,9 %
- Lopputuotteiden osuus AM-markkinoista oli 1,9 miljardia dollaria vuonna 2014
  - Kasvua edellisestä vuodesta 56,5 %
- Metallitulostimia myytiin 543 kpl vuonna 2014
  - Kasvua edellisestä vuodesta 54,3 %
- AM:stä hyötyvät teolliset toimialat (Wohlers 2014)
  - Teollisuuden ja liike-elämän koneet 18,5 %
  - Kuluttajatuotteet / elektroniikka 18,0 %
  - Moottoriajoneuvot 17,3 %
  - Lääketiede / hammaslääketiede 13,7 %

# Markkinoista



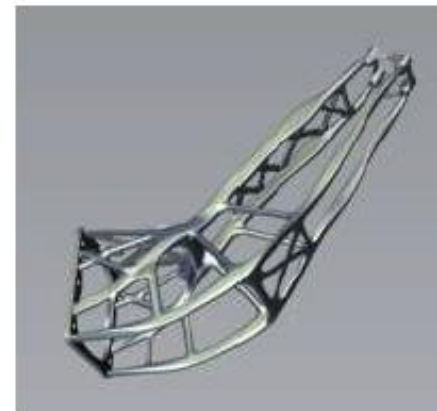
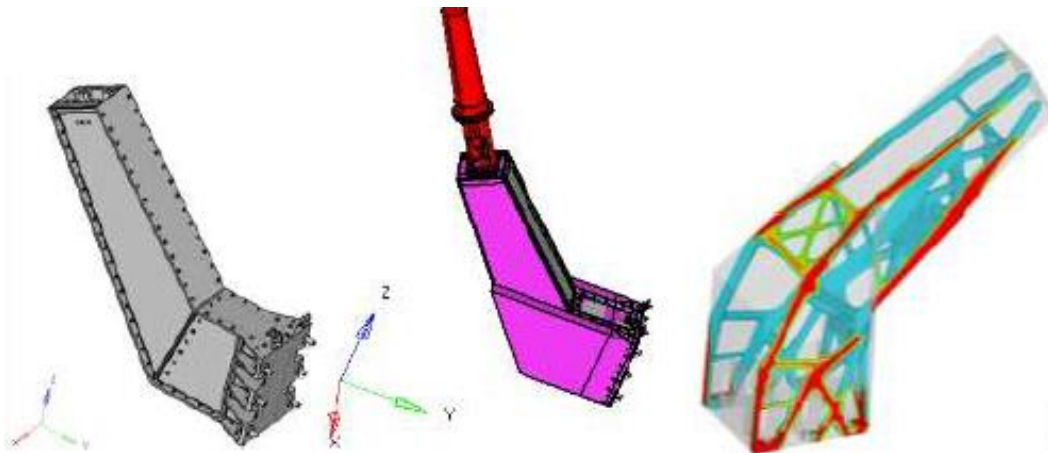
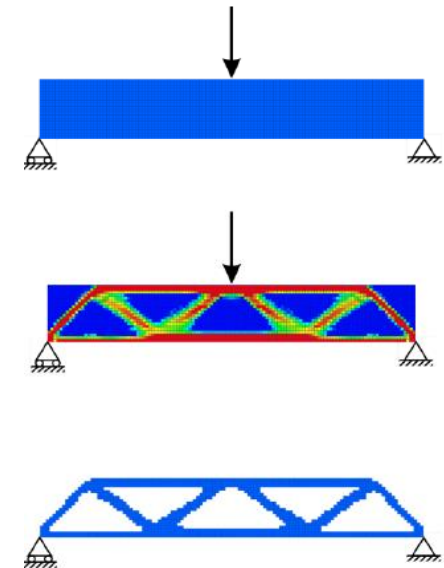
# AM:n ominaispiirteitä

- Ei ”Design for Manufacturing” vaan ”Manufacturing for Design”
  - Kevyemmät rakenteet
  - Parempi suorituskyky
- Paikallinen valmistus
- Kustomoidut tuotteet ja lyhyet sarjat
- Monimutkaiset rakenteet mahdollisia
- Helpompi markkinoille tulo
- Vähemmän jätettä
- Yksinkertaisempi arvoverkko
  - Varaosat

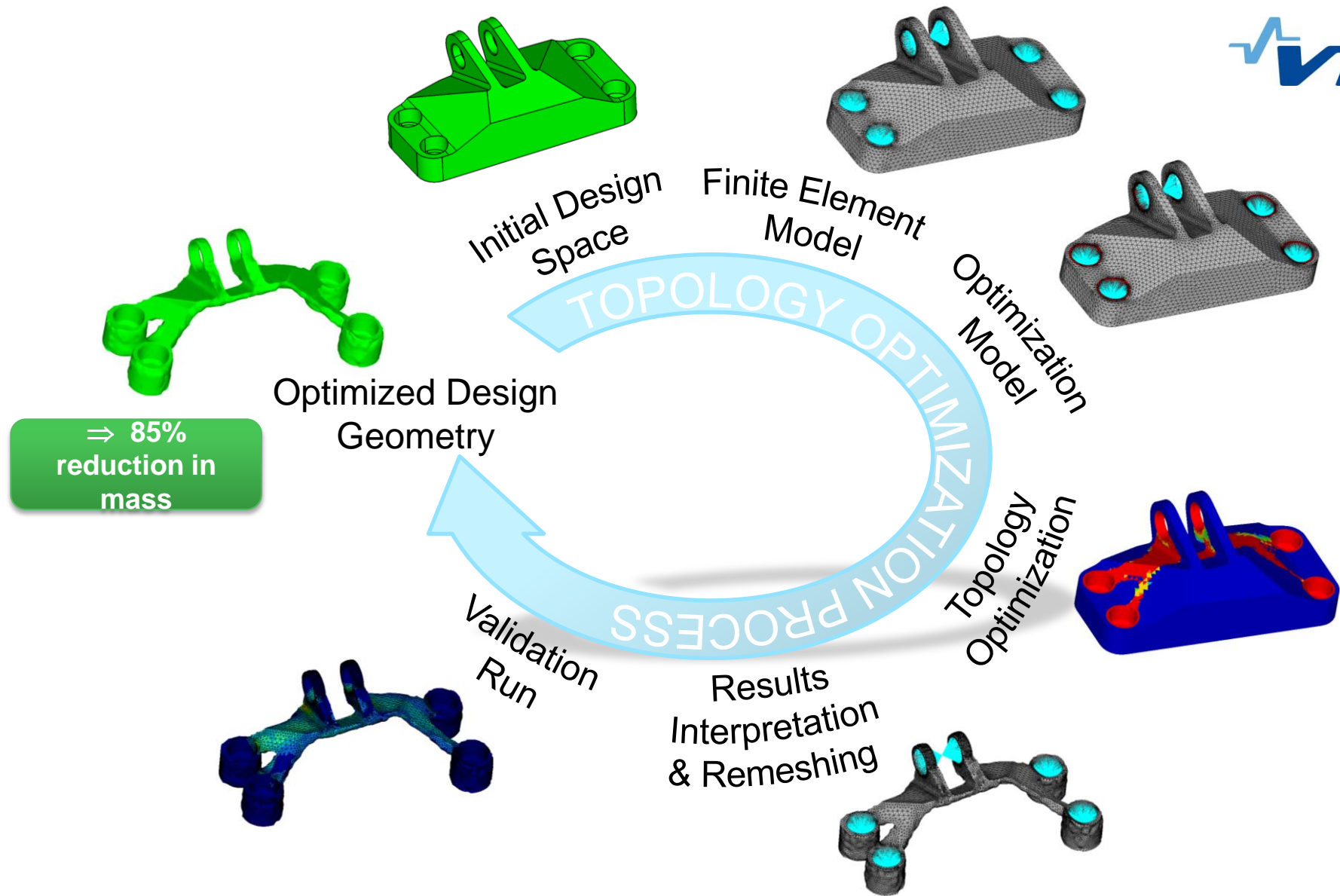


# Topologinen optimointi

- Mallinnusavusteinen topologinen optimointi on prosessi materiaalin optimaalisen jakauman löytämiseksi annettujen reunaehto-  
jen puitteissa



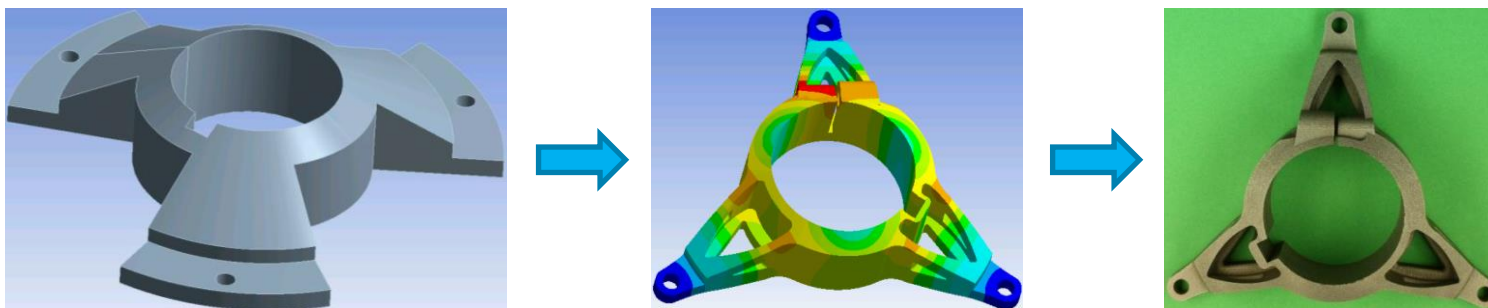




# Topologinen optimointi soveltuu erityisesti ainetta lisäävään valmistukseen

Ainetta lisäävä valmistus mahdollistaa monimutkaisten rakenteiden valmistuksen ilman valmistusteknisiä kompromissejä

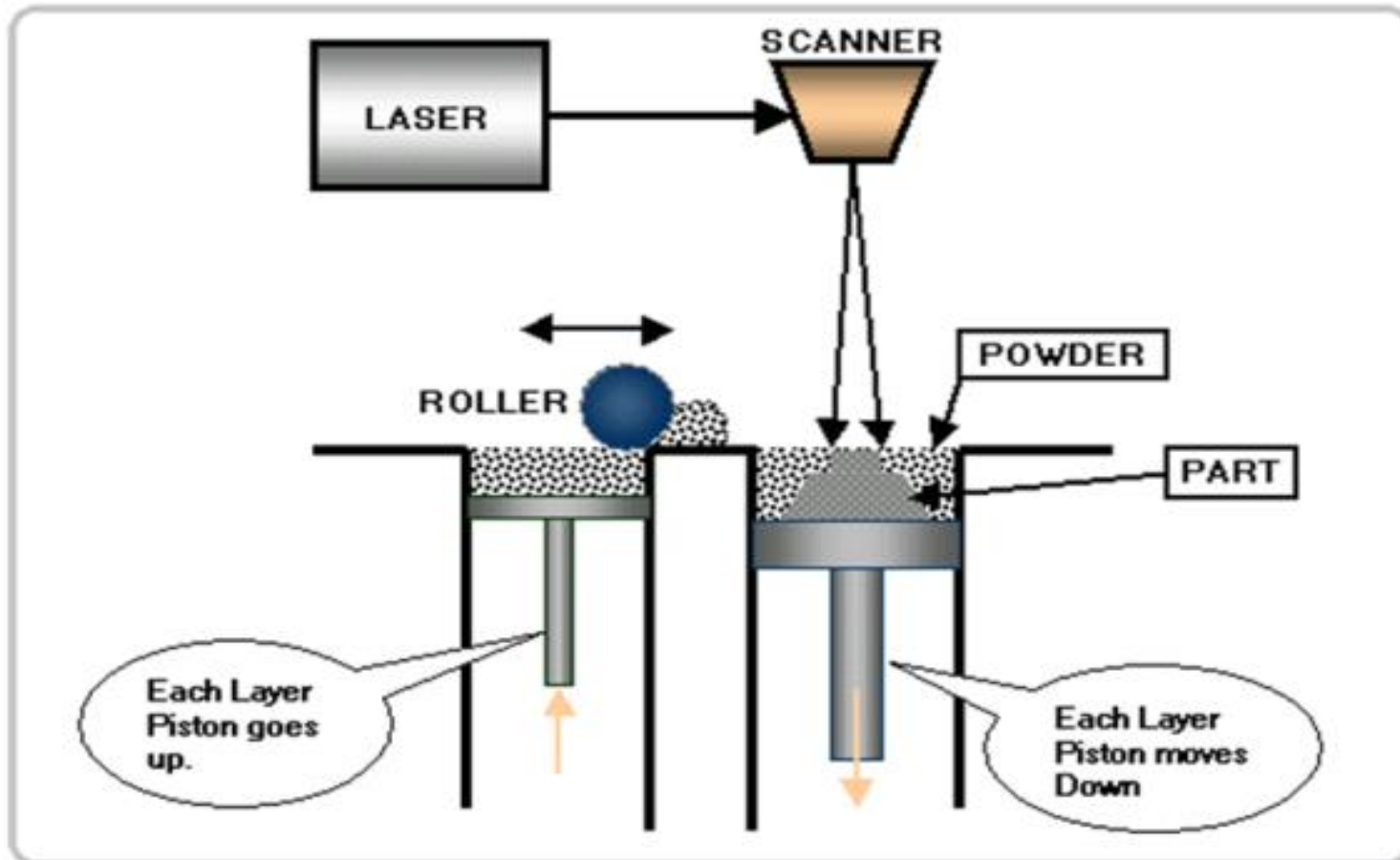
Ainetta lisäävän valmistuksen yhteydessä topologisesta optimoinnista saavutetaan täysi hyöty



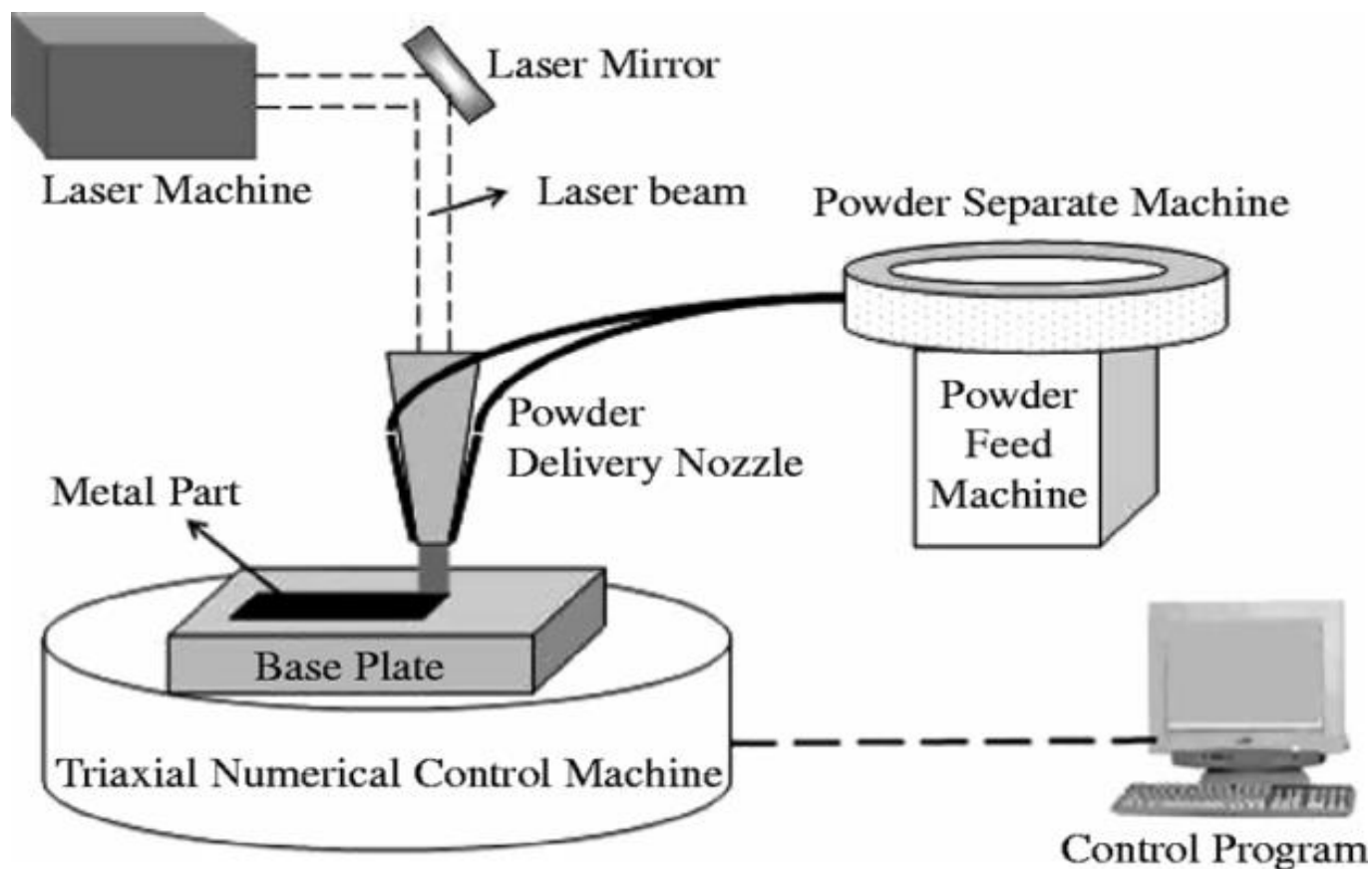
# AM-menetelmät

- **Powder Bed Fusion/(jauhepetimenetelmä)**
- **Directed Energy Deposition/(suorakerrostus)**
- Material Jetting/(materiaaliruiskutus)
- Binder Jetting/(sideaineruiskutus)
- Material Extrusion/(materiaalin pursotus)
- Vat Polymerisation/(nesteen polymerisointi)
- Sheet lamination/(laminointi)

# Powder Bed Fusion



# Directed Energy Deposition



# Tutkimus voimakkaassa nousussa

“USA aikoo panostaa 30 miljoonaa dollaria yksistään uuden 3D-tulostustutkimuskeskuksen perustamiseen Youngstowniin Ohioon...”  
smartplanet.com

“Iso-Britanniana hallitus investoi 15 miljoonaa puntaa 3D-tulostusteollisuuteen ja alan tutkimukseen...”  
The Telegraph

“...Kiina on ilmoittanut perustavansa 3D-tulostustutkimuskeskuksen kymmeneen Kiinan suurimpaan kaupunkiin...”  
3D Printing Industry Today

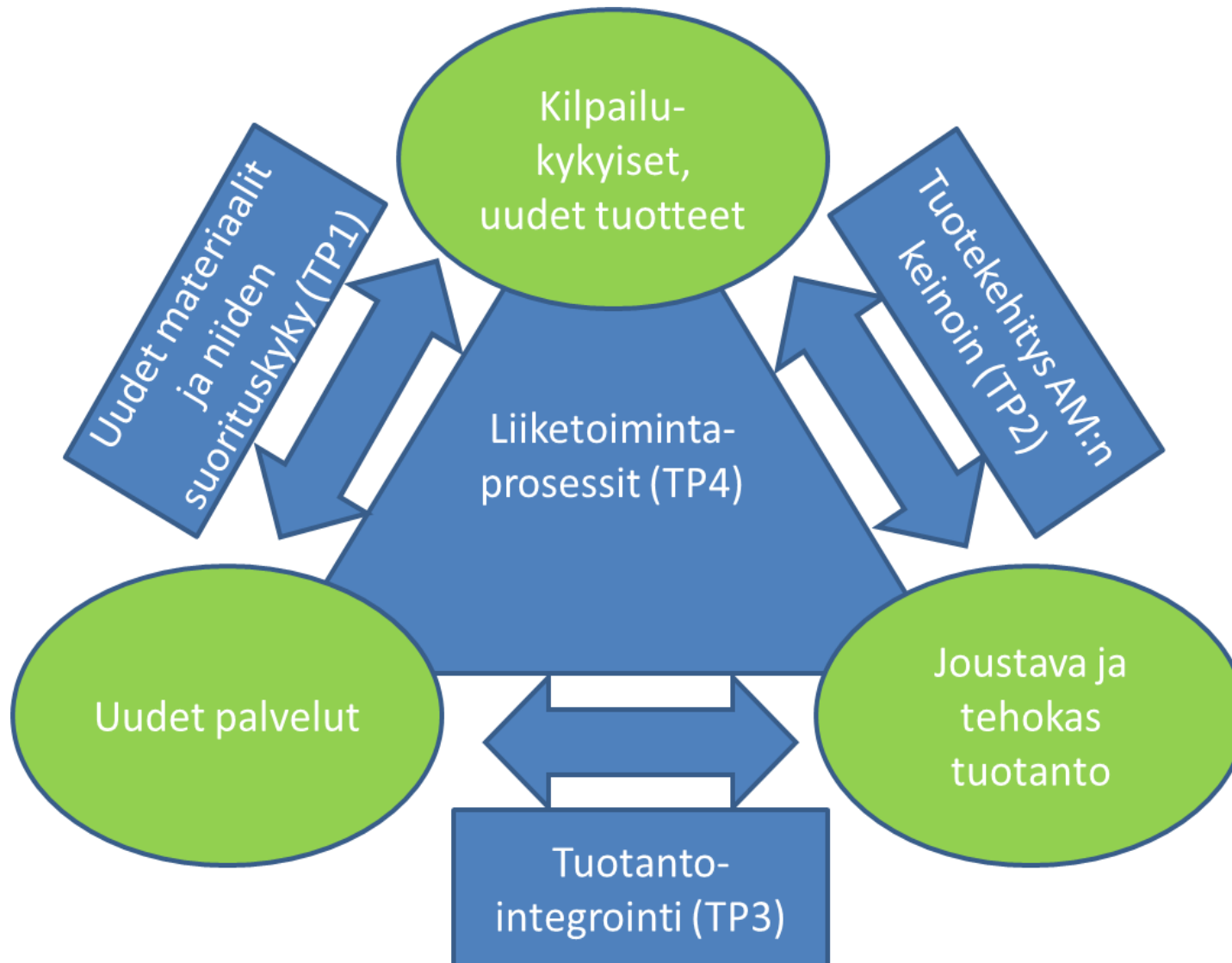
“Singaporen hallitus on ilmoittanut investoivansa seuraavan viiden vuoden aikana yli 500 miljoonaa dollaria tulevaisuuden valmistustekniikoiden, kuten 3D-tulostuksen, tutkimukseen säilyttääkseen kilpailukykynsä Koillis-Aasiassa...”  
engineering.com

# Esimerkkihanke Suomesta

## ”AM-teknologiasta uutta liiketoimintaa”

- Mukana VTT ja seitsemän suomalaista yritystä
- Kestää kaksi vuotta
- Alkoi marraskuussa 2014
- Yli kolmen miljoonan euron hankekokonaisuus
  - Tekes osarahoittajana
  - VTT tutkimushanke yli 1 M€
  - Yrityshankkeet yli 2 M€
    - Sisältää noin 300 k€ luottamuksellista VTT:n alihankintaa

# Yleiskuvaus ja osien liitännät





# Ei-metallitulostimet Suomessa

- Muovitulostimia paljon
  - Erilaiset oppilaitokset
  - Loppukäyttäjäyritykset
  - Alihankkijat
  - Myös kotimaista tulostinvalmistusta
- Hiekkamuottien tulostus
  - Hetitec Oy
- <http://www.firpa.fi/html/am-tietoa.html>

# Metallitulostimet Suomessa

- EOS Finland Oy
  - 10+ konetta
  - Käytetään sisäiseen tuotekehitykseen
- Oulu PMC ja LUT
  - Kappalekoko 250x250x215 mm
  - Vain ruostumattomia teräksiä ja maraging-terästä
- AM Finland Oy
  - Kappalekoko 90x90x80 mm
  - Materiaalit: ruostumaton 316L, CoCrW-seos, pronssi, hopea 925, kulta 18 K, valkokulta
- VTT
  - Kammion koko 125x125x125 mm
  - Ruostumattomat teräkset, työkaluteräkset, CoCr, Inconel, titaaniseokset, alumiiniseokset, yms

## Metallitulostin SLM 125 HL

- Laite: 1200x1800(2300)x800 mm  
pit x kork x lev.), 400 kg
- Kammion koko: 125x125x125 mm
- Laserlähde: 400W IR kuitulaser
- Suojakaasu: Typpi/Argon
- Valmistusparametrit: Säädettävissä
- Soveltuvuus: Ruostumattomat teräkset, työkaluteräkset, CoCr, Inconel, titaaniseokset, alumiiniseokset, yms.



# Haasteita ja trendejä 1/3

- Materiaalivalikoima ja materiaalien hinta
  - Tilanne paranemassa, kun uusia tarjoajia tulee markkinoille
  - Materiaalin kulutus pienempää kuin normaalimenetelmiä käytettäessä
- Laitteiden hinta
  - Teollisuuskoneissa hinta ei ole vielä varsinkaan metallipuolella laskussa
    - Kysyntä on kova
    - Kehityspanokset edelleen suuret
    - Ominaisuudet paranevat
  - Isot toimijat tulossa markkinoille
    - HP
- Laadunvalvonta ja toistettavuus
  - Standardit
  - Sensorit
  - Simulointi

## Haasteita ja trendejä 2/3

- Tuotteiden suunnittelu ja optimointi
  - CAD-ohjelmat hyödyntämään AM:n mahdollisuuksia
  - Suunnittelijoiden koulutus
- Tarkkuus ja pinnanlaatu
  - Nyt metallikappaleissa jälkityöstö useimmiten tarpeen ainakin osittain
  - Voidaan vaikuttaa valmistusparametreillä
  - Tilanne paranee jatkuvasti
- Nopeus
  - Muovipuolella uusia tekniikoita kehitteillä
  - Tehokkaammat laserit
  - Usean laserin käyttö
- Kappalekoot
  - Toisaalta pienempää ja tarkempaa, toisaalta isompaa



## Haasteita ja trendejä 3/3

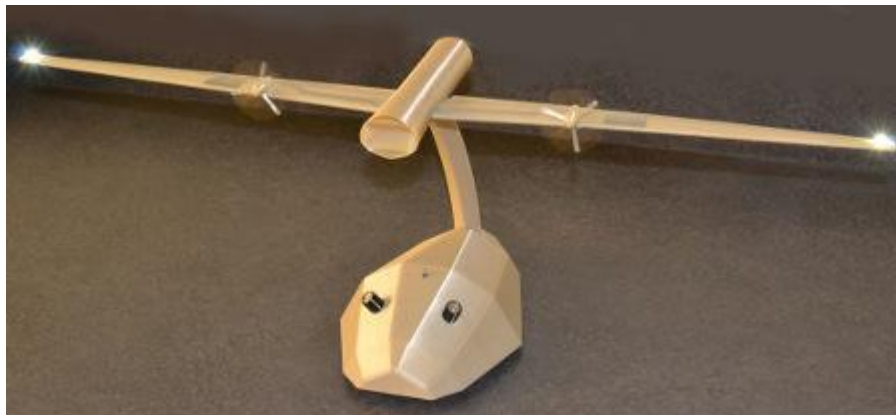
- Yksittäiskappaletuotannosta massatuotantoon?
  - 3D Systems
    - Moduloitu älykännykkä "Google's Project Ara"
    - "Race track architecture"
  - GE:n uusi 50 miljoonan dollarin tehdas
    - Suuttimia uuteen suihkumoottoriin
    - Tuotantotavoite 40.000 suutinta vuodessa
- Tuotannon automatisointi
  - Jälkikäsittelyt
  - Tuotantolinjat
- Hybridikoneet
- Älyä tuotteisiin



Source of picture: Aalto

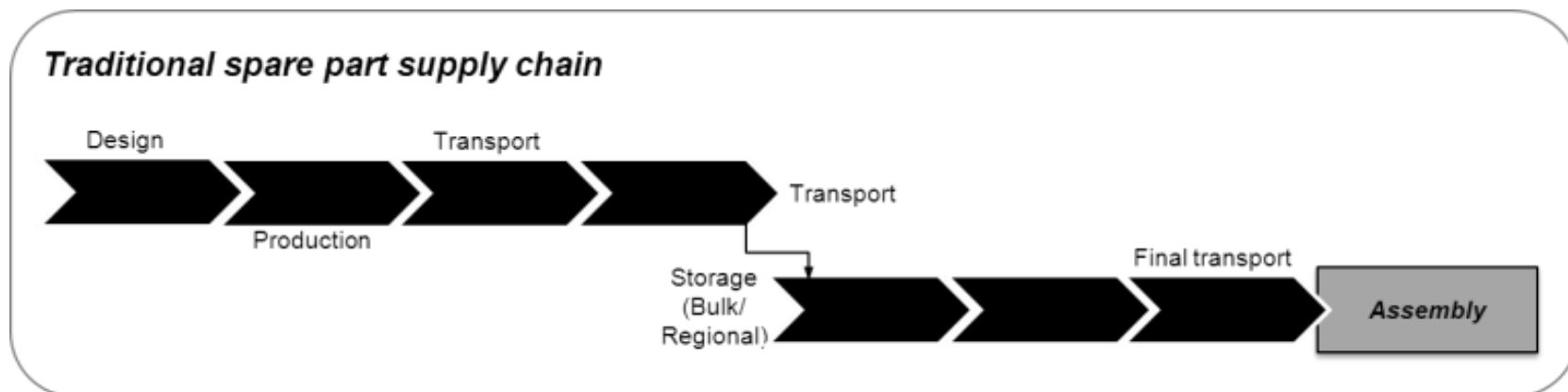
## Toiminnallisuuden lisääminen AM-tuotteisiin

- Älykkäät siivet miehittämättömälle ilma-alukselle (UAV)
  - Siivet valmistettu AM:llä
  - Painettua elektroniikkaa
    - Venymäliuska
    - RF antenni
    - Johdotus potkurille ja LED:lle



Source: Optomec

# Varaosien valmistusketju





# Teollisen tuotannon näköaloja

## ”Bitti kulkee halvemmalla kuin fyysinen tuote”

- Osa tuotannosta jatkunee kuten ennenkin, mutta osa tulee muuttumaan radikaalisti lähivuosien aikana
- Suunnittelun osuus ja merkitys kasvaa
- Itse valmistus maksaa kaikkialla yhtä paljon
- Jokainen kappale maksaa yhtä paljon: ei suuruuden ekonomiaa
- Jättimäisten maailman tehtaiden merkitys vähenee
- Hajautettu paikallinen tuotanto markkinoiden lähellä
  - Suurimmat tehtaat edelleen Kiinassa, mutta esim. Suomen markkinoille tuotetaan Suomessa
  - Kuinka paikallista tuotanto tulee olemaan?
  - Raaka-aineiden valmistus ja kuljetus?
- Paikallisten logistiikkapalvelujen merkitys tulee kasvamaan
- Muuttuuko osa varastoista 3D-tulostustehtaiksi?

# Sovellusesimerkki

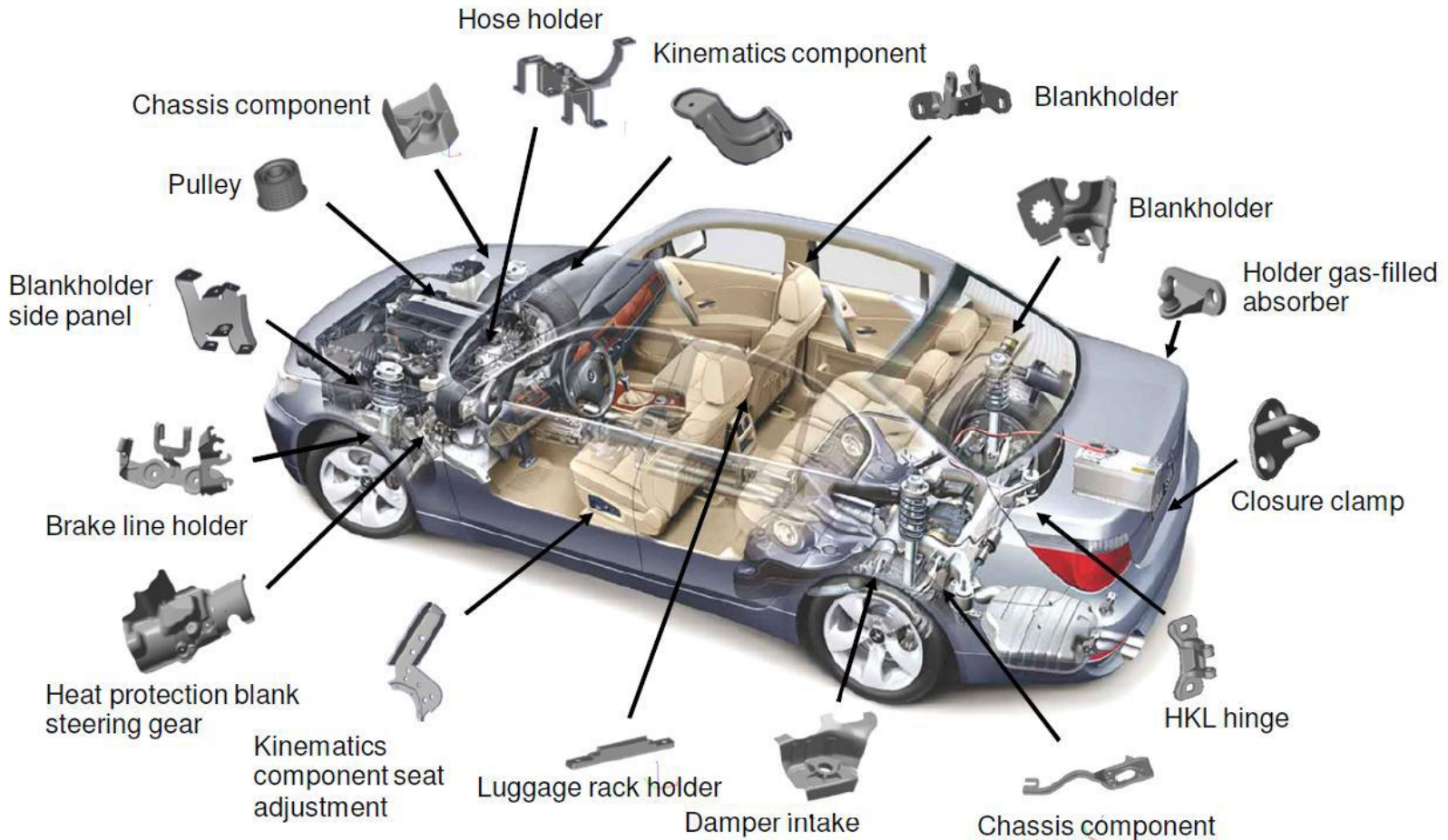
## Polttoainejärjestelmän ruiskutussuutin - Swirler



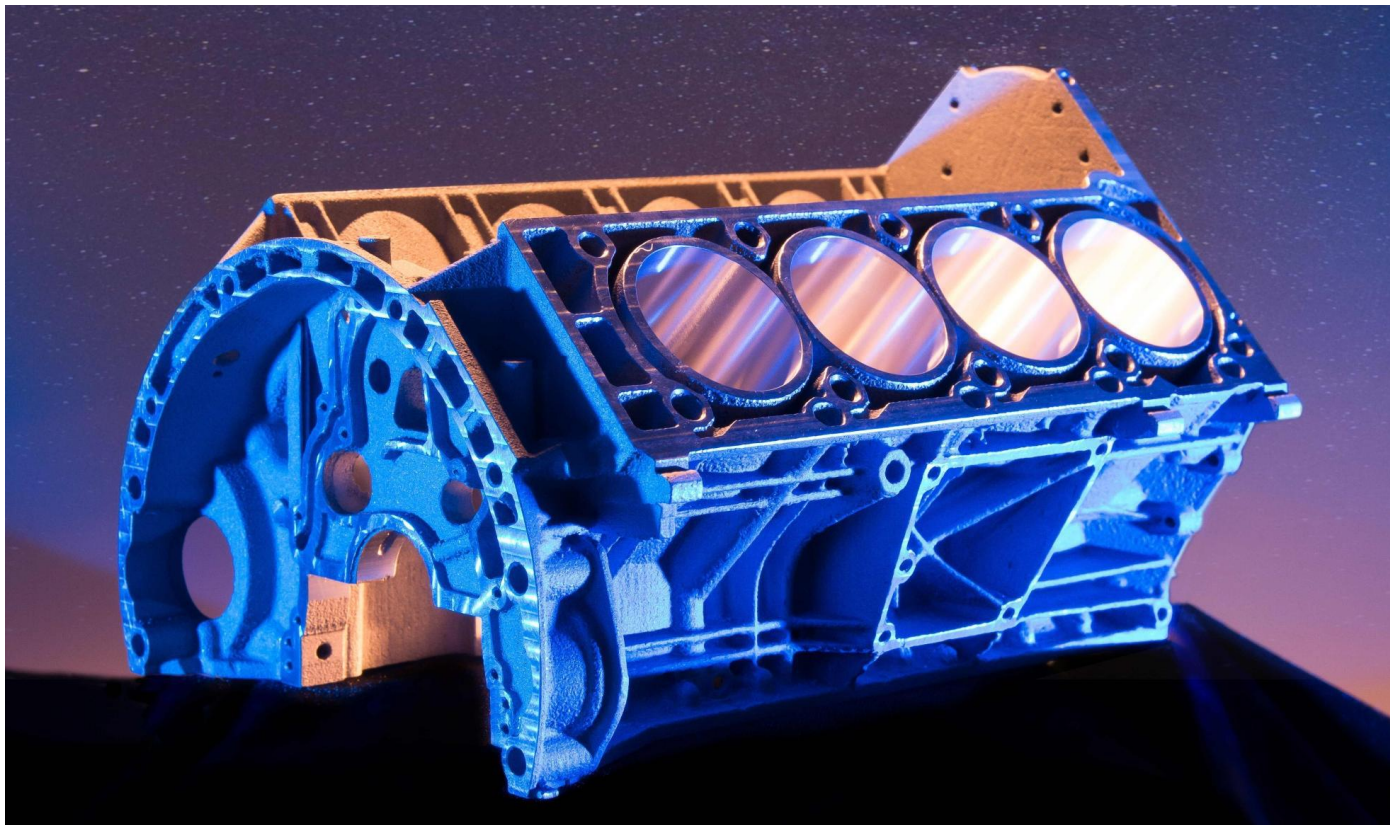
- Erittäin monimutkainen rakenne tehty “kertatulostuksella”
- Suuri ero suunnittelu- ja valmistusvaiheessa verrattuna perinteisiin valmistustekniikoihin (2 viikkoa vs. 6 viikkoa) → Merkittävä kustannussäästö
- Perinteisellä tekniikalla valmistetussa kappaleessa 24 osaa, jotka juotetaan kiinni
- Ei juotoksia, valmistus yhdessä työvaiheessa
- Enemmän funktioita kuin alkuperäisessä rakenteessa

(Materiaali: EOS CobaltChrome MP1)

# AM – Auton osia vuonna 2010



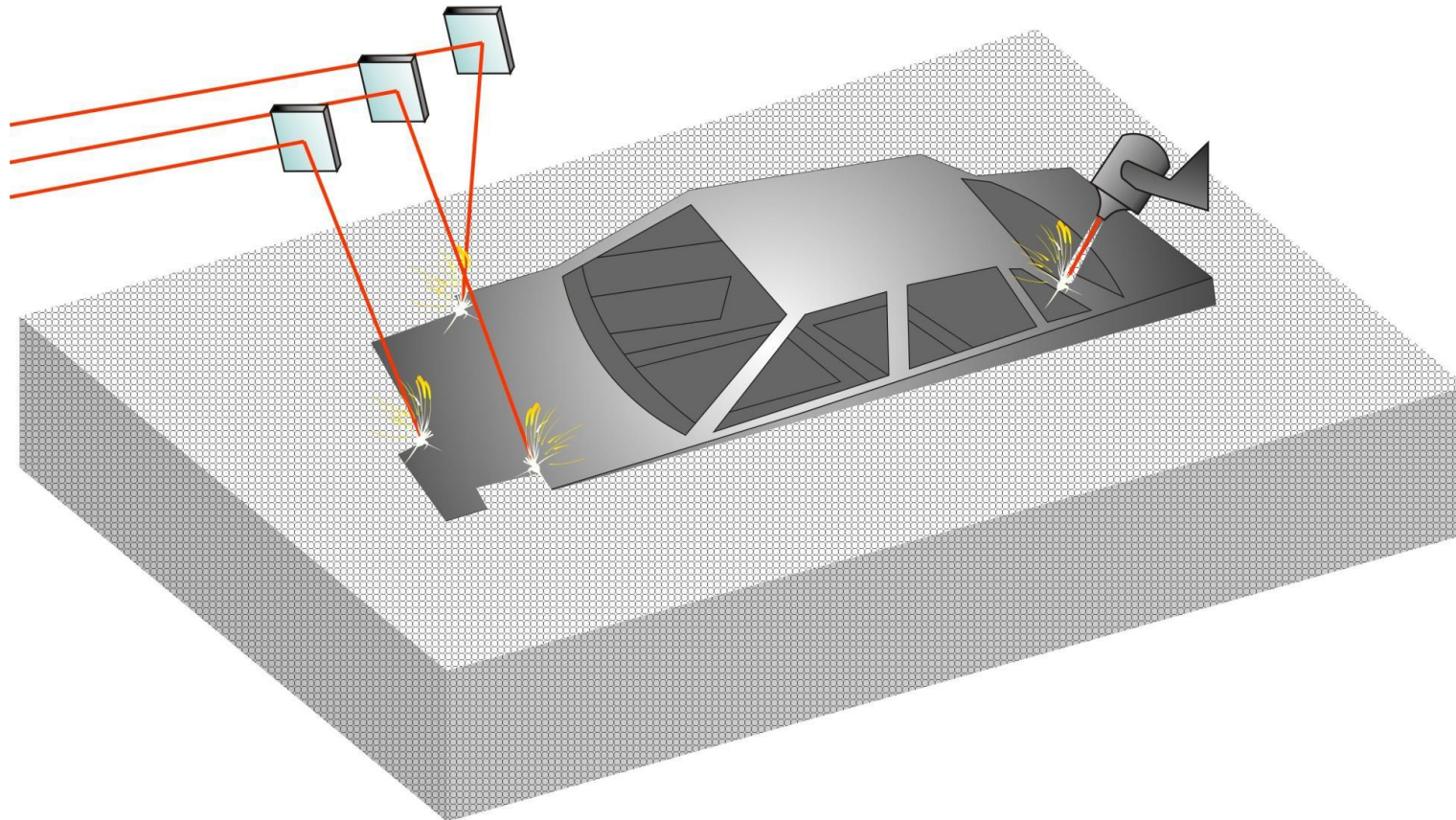
# Moottorilohko vuonna 2012



Source: Fraunhofer ILT and CONCEPT Laser



# Final Vision?



# Kuluttajatuotteet

- Yksi isoimmista 3D-tulostusta hyödyntävistä sektoreista (~17%)
- vaatteet, kengät, lelut, sisustus, valaistus, etc.
- Kustomoidut ja personoidut tuotteet, lisätty toiminnallisuus, estetiikka



**Intricate 3D-Printed Lingerie**  
This New Victoria's Secret Lingerie is Made to Resemble a Snowflake



**3D Printed Sneakers**  
The Nike Football 3D Printed Shoes are Unbelievable



**Shapely 3D-Printed Speakers**  
Disney Research Turns Any Object into a 3D-Printed Speaker Design



**Bulbous Textured Seating**  
The Gradient Chair by Joris Laarman Lab is 3D Printed



**3D-Printed Pumps**  
The Instant Shoe Concept Proposes Perfectly Tailored Footwear  
27.5.2015



**Digitalized 3D Dresses**  
The Dita Von Teese 3D Dress was Created Specially for the Model



**Organically Perforated Dishwares**  
The Dunes Bowl by Alessandro Isola is a 3D Printed Design



**Dramatic Deer Head Necklaces**  
Ashley Morgan's Deer Necklace is Made from 3D Printed Plastic

# Ajoneuvot ja ilmailu

- Yhteenlaskettuna suurin hyödyntävä sektori (~30%)
- Lentokoneet, satelliitit, autoteollisuus
- Kevyet rakenteet, suunnittelun vapaus, materiaalien suorituskyky, nopeampi tuotekehitys



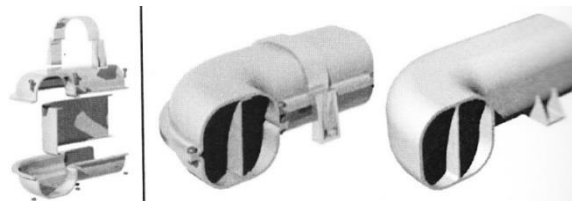
**Internal structures of solid object**  
To achieve desired strength properties with less weight



**Fuel injector for jet engine**  
Complex design printed as one piece, cost - 40%, weight -50% (EOS & Morris technologies)



**3D printed concept car**  
Concept car by Jim Kor.



**Air duct of F18 fighter**  
Improved performance and reduction in assembly costs



**Airbus A380 bracket**

# Lääketiede, hammaslääketiede

- Sektori ~13 %
- Hammasimplantit, kirurgiset apuvälineet, proteesit, implantit, kuulolaitteet, tukirakenteet
- personointi, massakustomointi



**Printed Facial Prosthetics**  
Eric Moger's 3D Print Piece Was Applied in the Aftermath of Surgery



**Orthodontics accessories**  
More comfortable



**3D Printed Skulls**  
Dr. Bon Verweij Successfully Implanted a Tech-Made Cranium in the Netherlands



**Surgical guide**  
Prototype of a Plate Bender, used to contour plates for spinal surgery (DePuy Spine)



# Teolliset koneet ja laitteet

- Kasvava sektori 17,5 %
- Työkalut, jigrit, nesteen ja kaasun virtaukseen liittyvät komponentit
- Parempi suorituskyky, kompleksisuus vs. kustannukset, kustomointi



Hydraulic manifold



Tooling insert



Boat propeller

# AM laitetoimittaja

Laitetoimittaja A

Teollinen AM



# AM ohjelmistotoimittaja

Teollinen AM

Ohjelmistotoimittaja A



# AM materiaalitoimittajia

Teollinen AM

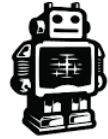
Materiaalitoimittaja A



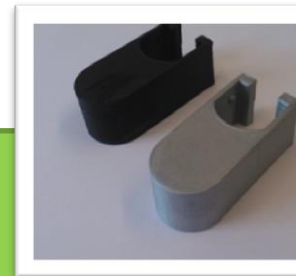
e-Manufacturing Solutions



# AM teknologiaan liittyvät liiketoimintamahdollisuudet – desktop 3D-tulostus



Ultimaker



Desktop 3D-tulostus

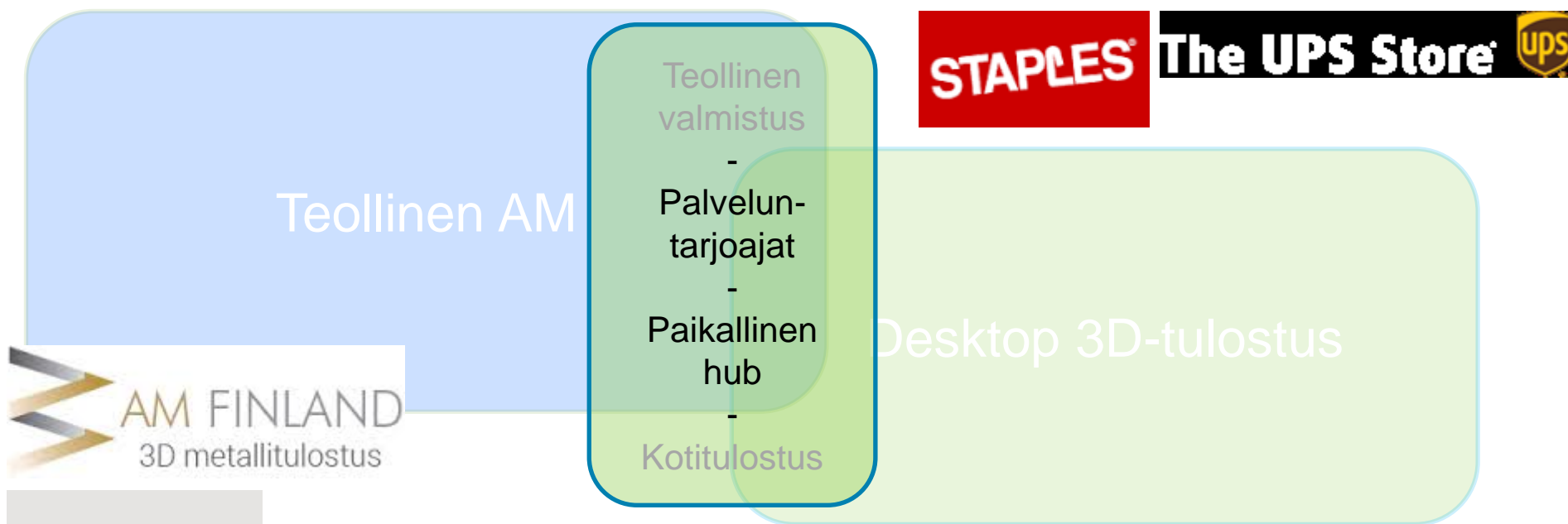
Laitetoimittaja B

Ohjelmistotoimittaja B

Materiaalitoimittaja B



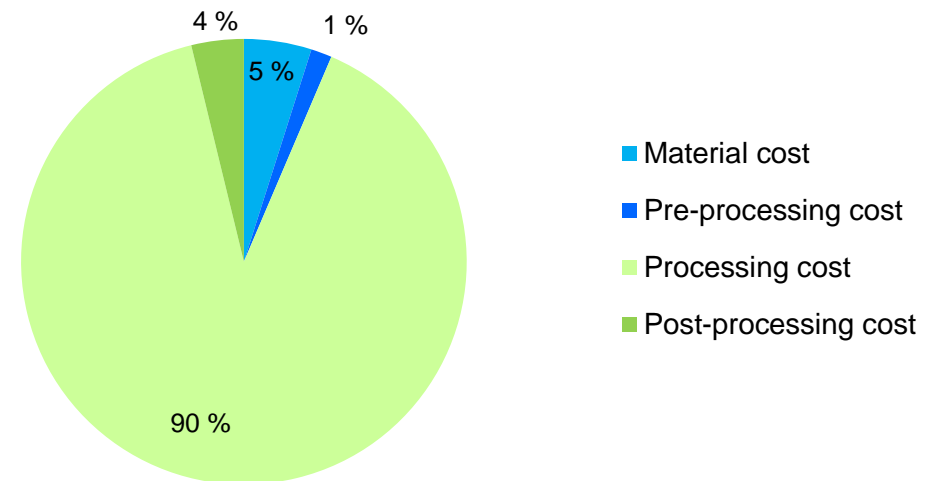
# AM teknologiaan liittyvät liiketoimintamahdollisuudet – 3D-tulostuspalvelut



# Tulostetun metalliosan kustannusrakenne

- AM:llä tulostetun metalliosan suurin kustannustekijä on tulostustyön kustannukset
- Tulostustyön kustannuksiin vaikuttavat ennen kaikkea:
  - tulostimen tulostusnopeus
  - tulostimen investointikustannus

**Cost structure for printed metal part:  
case landing gear**

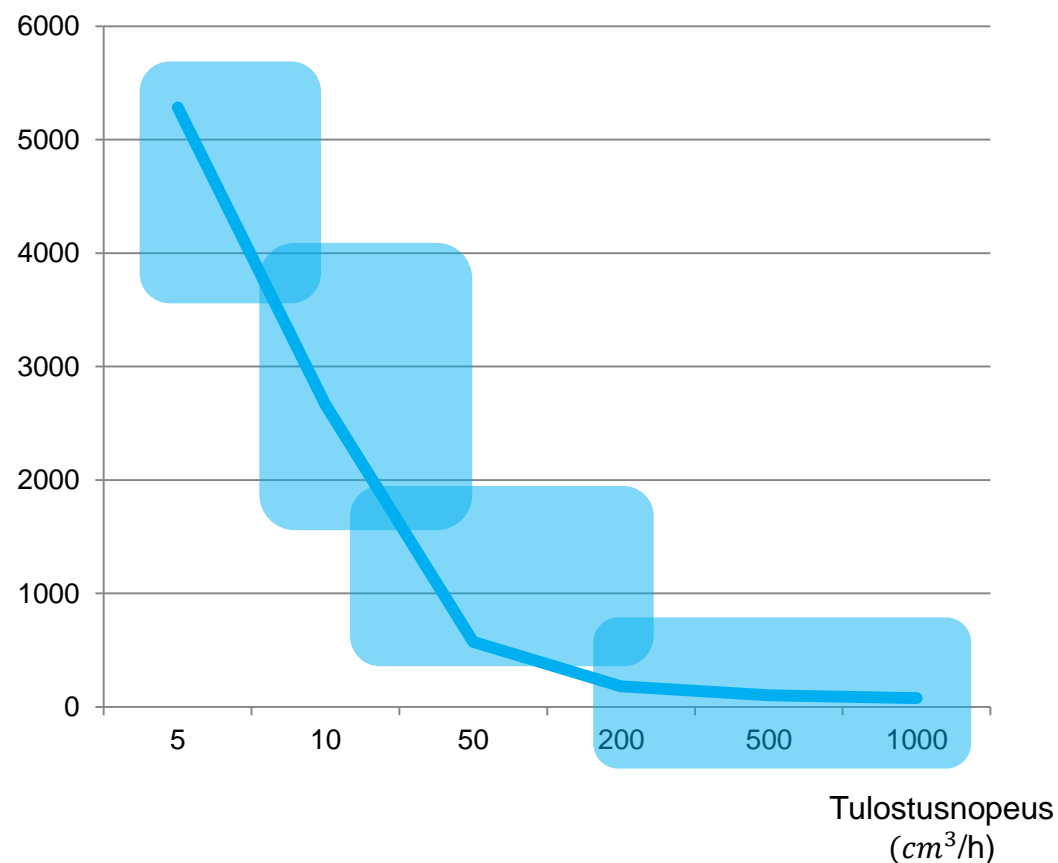


Source: Atzeni & Salmi 2012

# Kasvava tulostusnopeus tuo uusia liiketoimintamahdollisuuksia

- AM Liito projektissa pyrimme tunnistamaan miten kasvava tulostusnopeus avaa uusia liiketoimintamahdollisuuksia.
- Tulostusnopeus on tällä hetkellä 3D tulostuksen tärkein kustannustekijä
- Tulostusnopeuden hallittu nostaminen alentaa 3D tulostusten kustannustasoa ja avaa mahdollisuuksia siirtyä tuotekehityksen tukemisesta kohti yksittäis- ja piensarjatuotantoa.
- Tavoitteena on arvioida miten 3D tulostuksen markkinat kehittyvät

Metalli kappaleen  
kustannustaso  
(€/kg)





# VTT:n julkisia tulostuscasejä

# VTT 3D-tulostuksen esimerkkejä eri alueilta

- Kokeellisista biokomposiiteista moniin metalliseoksiin



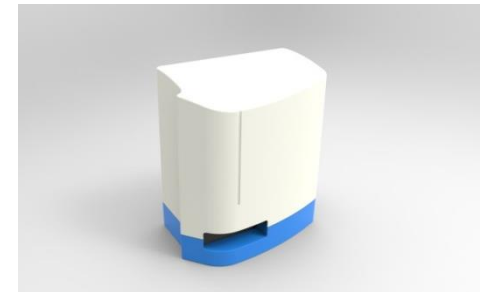
**Digital spare part**  
3D printed maringing steel critical spare part (SLM)



**Housing for fan**  
3D printed housing for fan, difficult to manufacture conventionally (FDM)



**Nanocellulose scaffolds**  
Demonstration of nanocellulose based scaffolds (DWP)



**Optical instrument housing**  
Production of series of one (PIJ UV)



**Chocolate**  
Customized chocolate (DWP)  
27.5.2015



**Customized wobblers**  
3D printed lures for fishing enthusiasts (FDM)



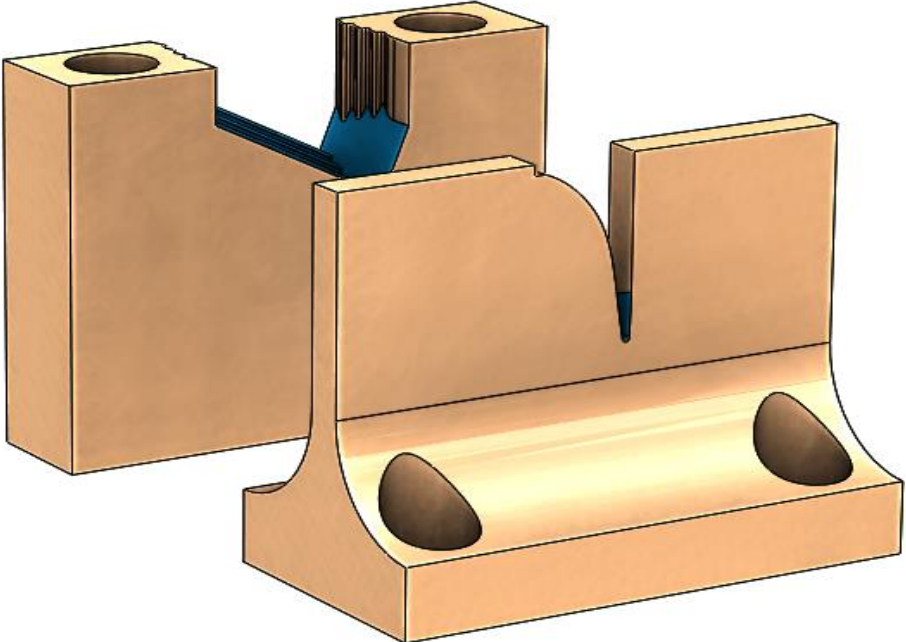
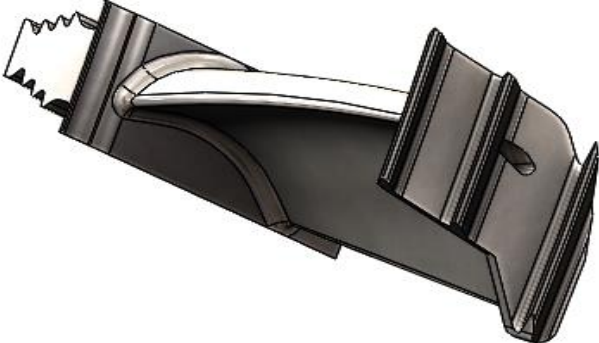
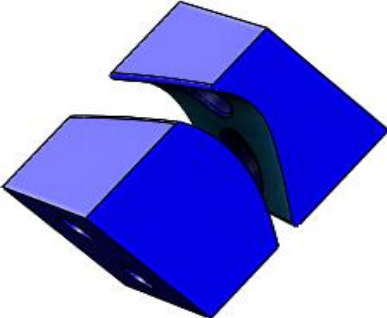
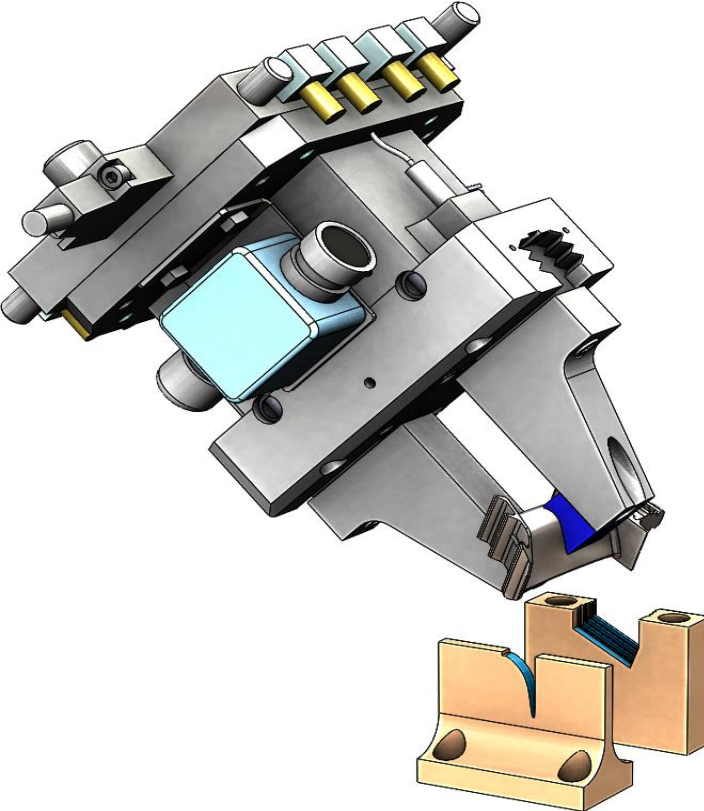
**Energy harvesting tree**  
Prototype of 3D printed artificial tree for energy harvesting (FDM)



**Biocomposite branch**  
Artificial branch 3D printed from experimental biocomposite (FDM)

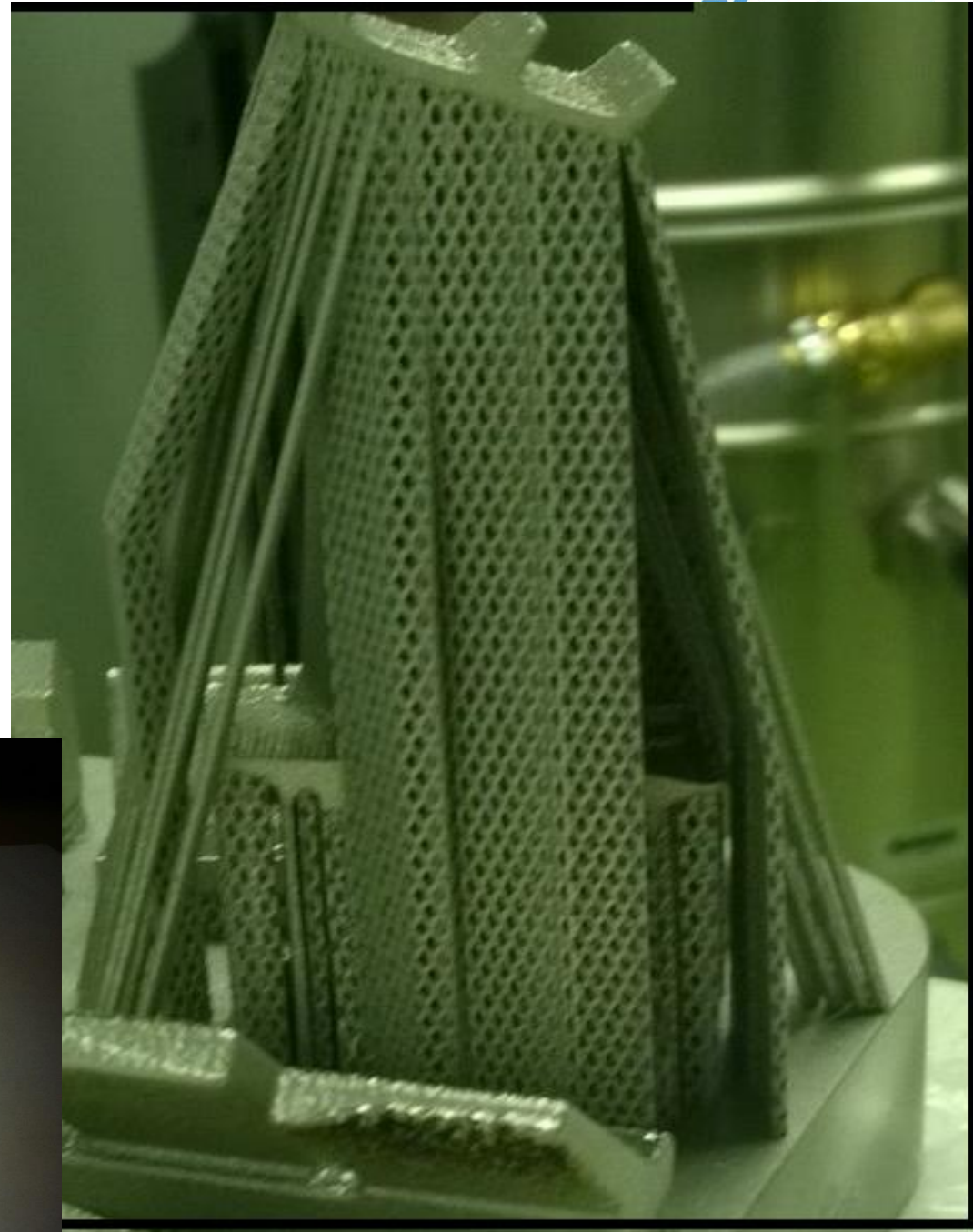
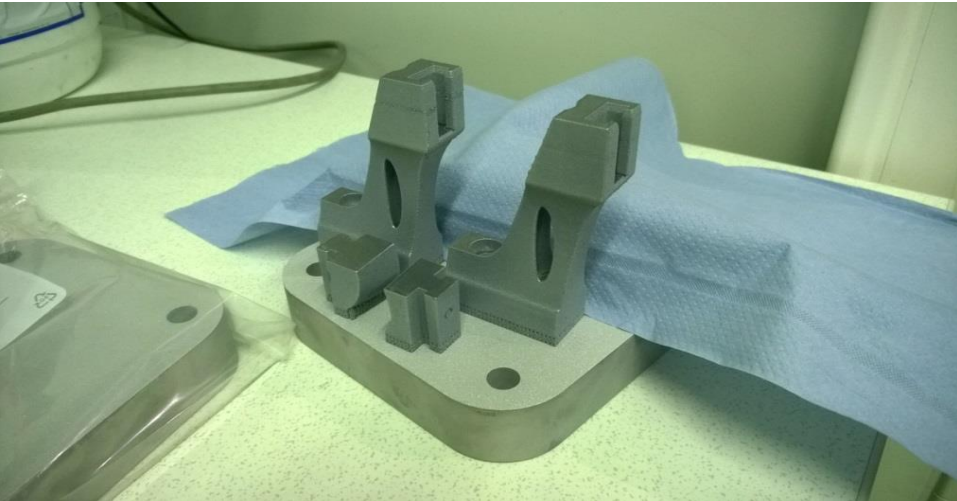
# MANU P6 Cases

- Robot gripper (Fastems)



# MANU P6 T1 CASES

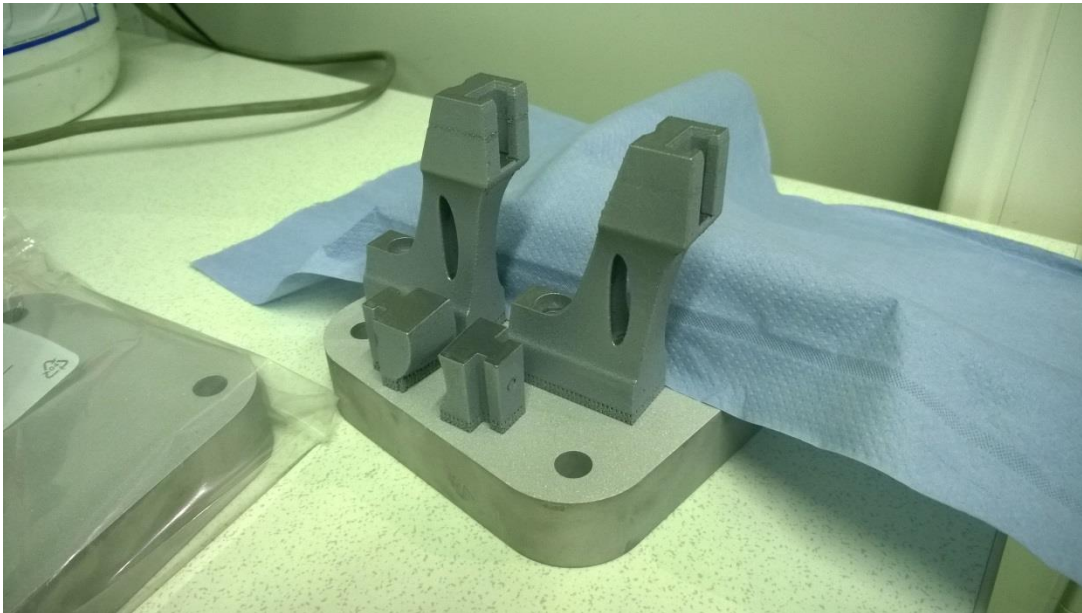
- Robot gripper (Fastems)





# MANU P6 T1 CASES

- Fastems Case



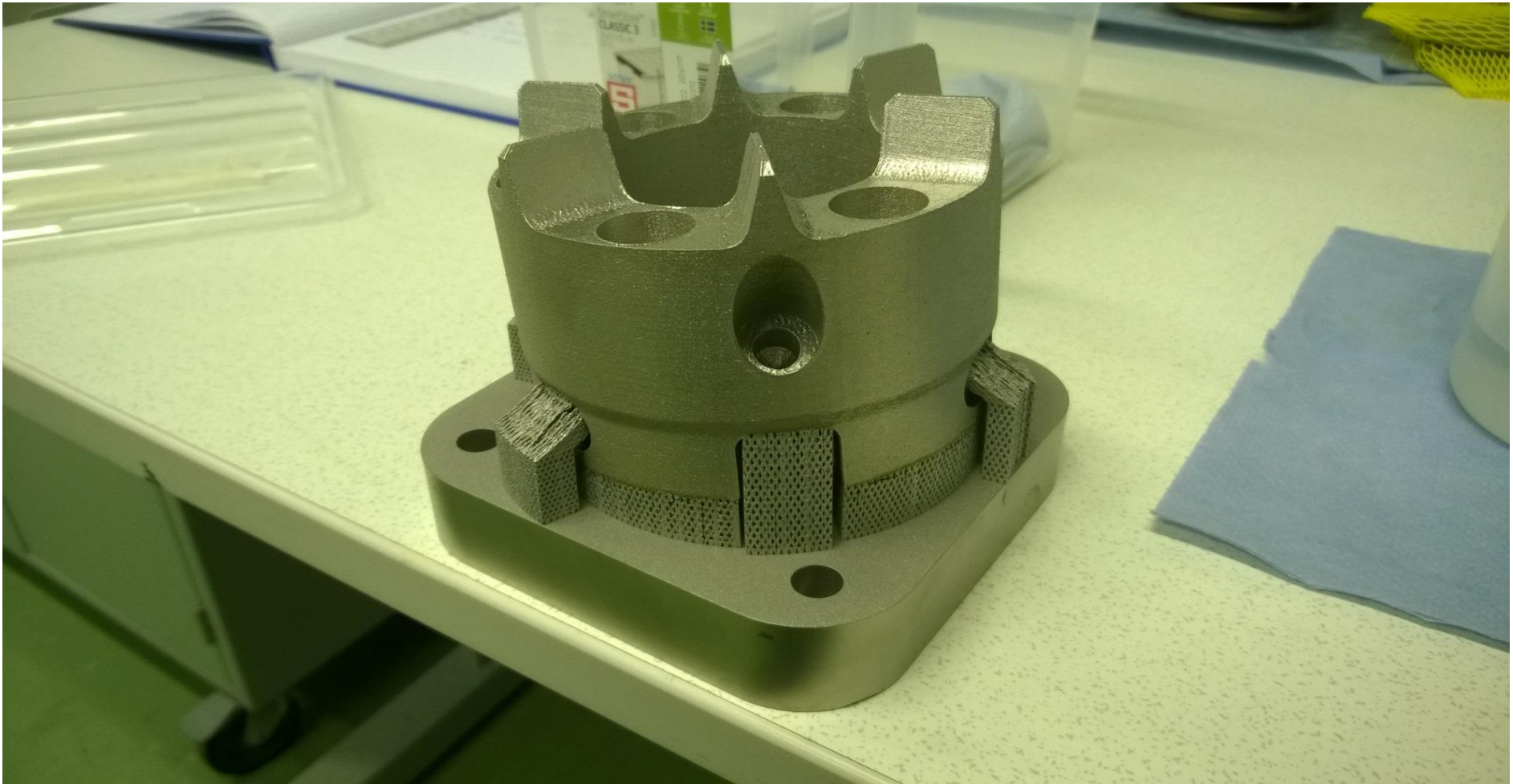
## Raute's Chuck manufactured with AM

- Printed part is important piece of Raute's Peeling technology – a Chuck with holds the rotating log in between the spindles while peeling
- Traditionally machined part all round, relatively complex geometries
- Aim was to see how close to actual finalized part can we get with AM technology and what would be the future benefits on part design if traditional manufacturing technologies are not limiting





- Raute Case Chuck (Viilusorvin ulkokoura)



- Raute Case



WP\_20150415\_001.mp4

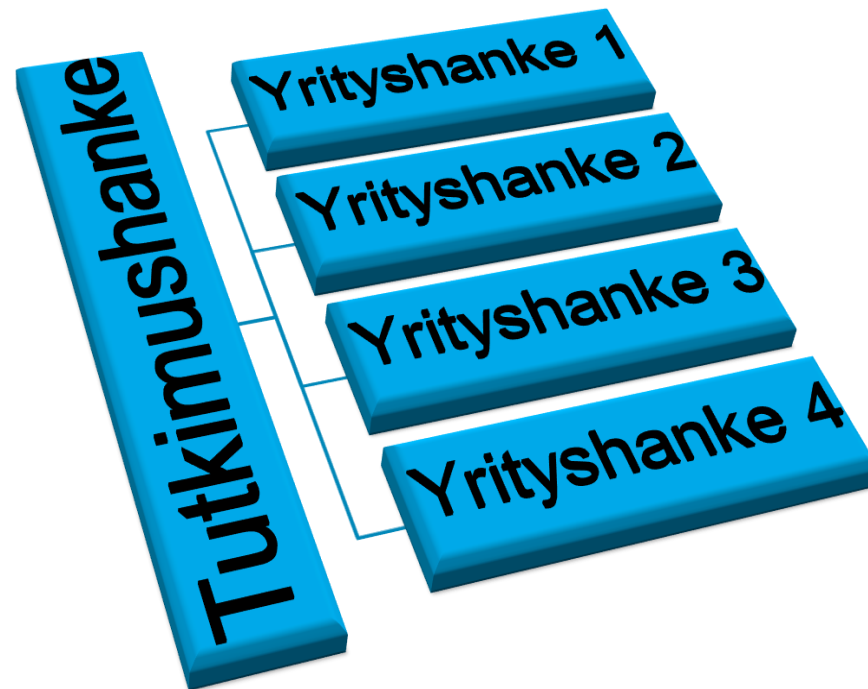


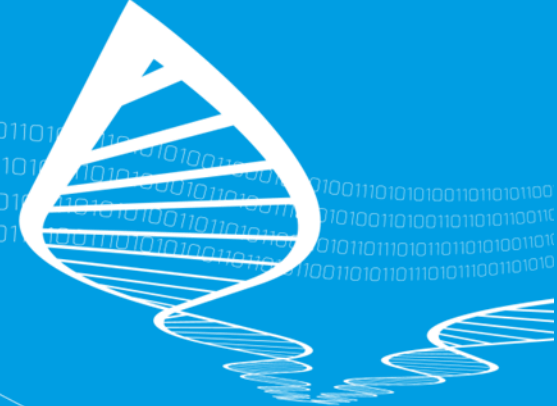
# Digitaaliset varaosat – rinnakkaishanke- kokonaisuus

- Koostuu yritysprojekteista ja niitä tukevasta tutkimushankkeesta
- Hankekokonaisuuden kesto kolme vuotta
- TEKES tuki yritysprojekteille 25-50% avustusta / 50-70% lainaa yrityksen koosta riippuen
- Tutkimushankkeen koko noin 30 % tai 50 % hankekokonaisuudesta riippuen osallistuvien yritysten koosta
- Yritykset maksavat 10 % tutkimushankkeen budjetista
- Hankekokonaisuuden tavoitebudjetti noin 3 M€



# Rinnakkaishankekokonaisuuden rakenne





# TEKNOLOGIASTA TULOSTA

