

Title	3D-tulostus ja lämpökäsittely - prosessiparametrit, muodostuvat mikrorakenteet ja lämpökäsittelyt
Author(s)	Sirén, Mika
Citation	Lämpökäsittely- ja takomopäivät 2017, 10 - 11.10.2017, Holiday Club Tampereen Kylpylä, Tampere. Teknologiateollisuus ry., 28 s.
Date	2017
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-tulostus ja lämpökäsittely - prosessiparametrit, muodostuvat mikrorakenteet ja lämpökäsittelyt

**Lämpökäsittely- ja takomopäivät
Tampere, 11.10.2017**

Mika Sirén, VTT Oy

Sisältö

1. Määritelmä
2. Menetelmät
3. Case 1: Työkaluteräs H13 (1.2344) ominaisuudet
4. Case 2: Jauheen vaikutus AM-tulosteen ominaisuuksiin
5. Case 3: Tulostusparametrien ja tulosteen ominaisuuksien optimointi tilastollisella koesuunnittelulla
6. Case 4: Magneettimateriaalien AM-tulostus ja lämpökäsittely
7. Lopuksi



Määritelmä

Määritelmät

§ SFS-ISO/ASTM 52900:2016 Materiaalia lisäävä valmistus.
Yleiset periaatteet. Terminologia

§ ”Materiaalia lisäävä valmistus on yhteinen nimitys menetelmille, joilla fyysinen kappale valmistetaan geometriakuvauksen perusteella ainetta lisäävillä tekniikoilla.”

§ ”Materiaalia lisäävä valmistus, AM (additive manufacturing): menetelmä tuottaa kappaleita 3D-mallitiedon pohjalta materiaaleja yhteen liittämällä, tyypillisesti kerros kerrokselta -periaatteella, vastakohtana materiaalia poistaviin ja materiaalia muovaaviin menetelmiin”

§ Aiempia englanninkielisiä termejä: additive fabrication, additive processes, additive techniques, additive layer manufacturing, layer manufacturing, solid freeform fabrication ja freeform fabrication.

Määritelmät (SFS-ISO/ASTM 52900:2016)

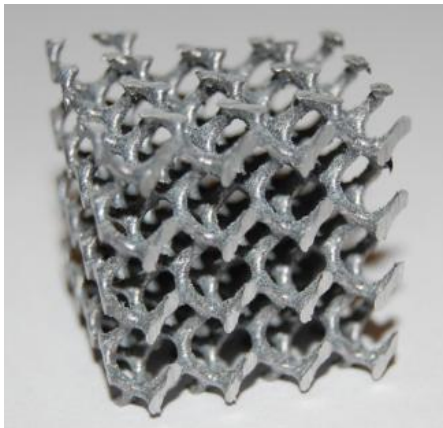
suomi	englanti	kuvaus
sideaineen suihkutus	binder jetting	nestemäinen sideaine kohdistetaan valittuihin kohtiin jauheen liittämiseksi
suorakerrostus	directed energy deposition	kohdennettua lämpöenergiaa käytetään sulattamaan ja liittämään materiaali kohdennetusti
pursotus	material extrusion	materiaali annostellaan kohdennetusti suuttimen tai reiän läpi
materiaalin suihkutus	material jetting	raaka-ainepisarat kovetetaan kohdennetusti
jauhepetisulatus	powder bed fusion	lämpöenergia sulattaa jauhepedin kohdennettuja alueita
kerroslaminointi	sheet lamination	materiaalileikkeitä liitetään siten, että muodostuu <i>kappale</i>
valokovetus altaassa	vat photopolymerization	nestemäinen muovi kovetetaan kohdennetusti käyttäen valoaktiivista polymerointia



**AM-valmistuksen
ominaisuuksia ja
mahdollisuuksia**

AM characteristics

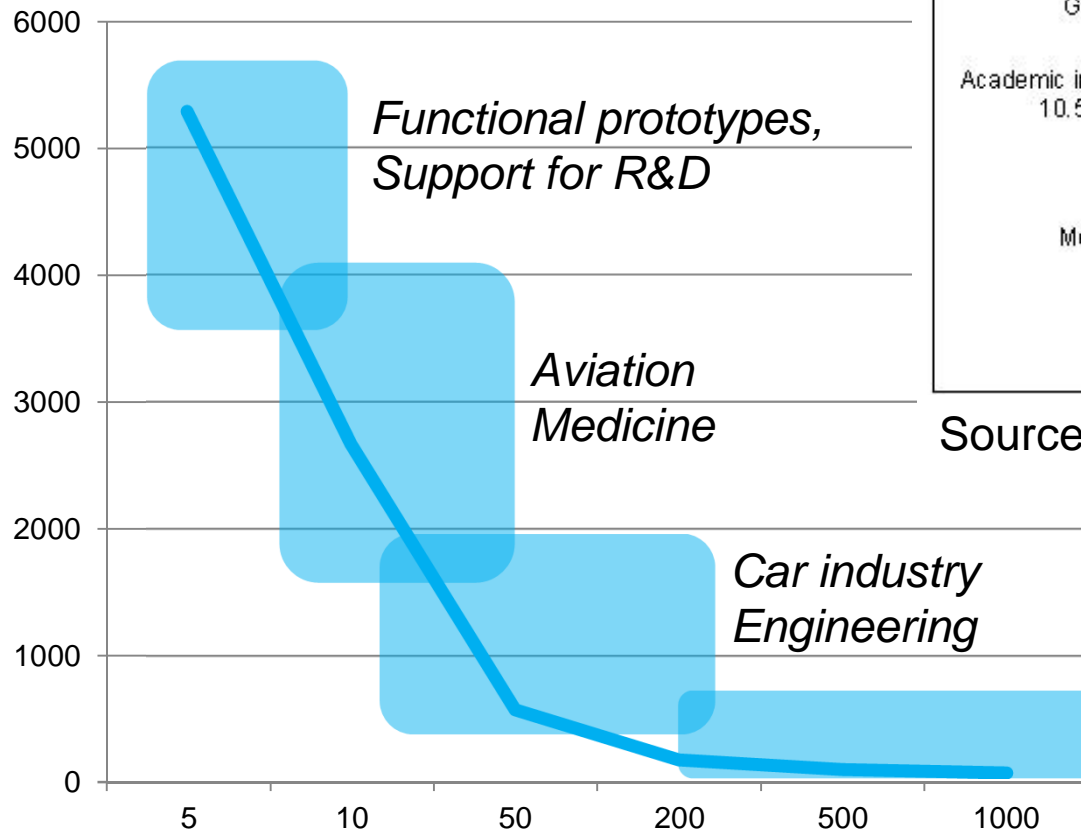
- § Not Design for Manufacturing but Manufacturing for Design
 - § Lighter structures
 - § Better performance
- § Customized products and short series
- § Part consolidation
- § Complexity without costs
- § Localized / distributed digital manufacturing
- § Easy entrance to market
- § Less waste



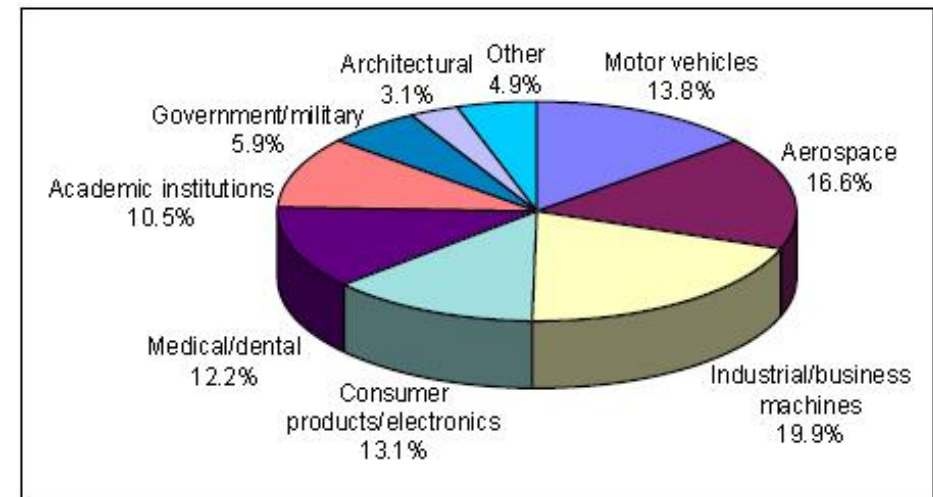
- § Equipment and materials (especially metallic!) still quite expensive
- § Low building speed
 - § Not economical manufacturing technology for components which can be manufactured easily with e.g. machining
- Utilization of AM must bring added value
 - § Time, improved performance, customization etc.

Increasing printing speed brings new business opportunities

Cost of metal component (€/kg)



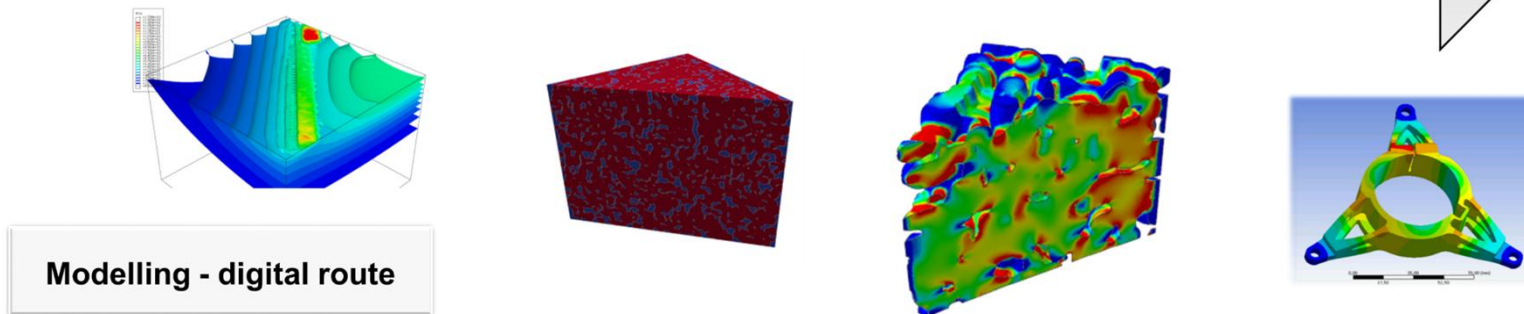
Source: Magnus Simons, VTT



Source: Wohlers report 2016

3D printing speed (cm³/h)

VTT Approach – from raw materials to component performance, and vice versa



Development steps from powder to product

STEP 1: Material selection and Design

- § Selection of material composition meeting demands of component operation conditions
- § Evaluation of material suitability to SLM process (thermodynamics, phase structures)

STEP 2: powder processing & modification to SLM

- § Is there powder commercially available with needed properties?
 - § Modification of powder properties to meet demands of SLM
 - § Production of powder with desired specs
- § Processing and modification of powders to meet process demands

○ **GATE 1. Does powder fill SLM process demands?**

STEP 3: Processing parameters for SLM

- § Design of experiment (DoE) for process parameter mapping
- § DoE based processing parameter optimization

○ **GATE 2. Do processing parameters lead to desired properties?**

STEP 4: Processing of test components

- § Heat treatments, HIP, grinding, machining, polishing
- § Specimens for lab material testing e.g. tensile tests in different orientations

○ **GATE 3. Do material properties meet component demands?**

STEP 5: Design and manufacturing of real component

- § Design and optimization of component for SLM process & operation conditions
- § Manufacturing and post treating of component
- § Component performance testing (lab and/or field testing)

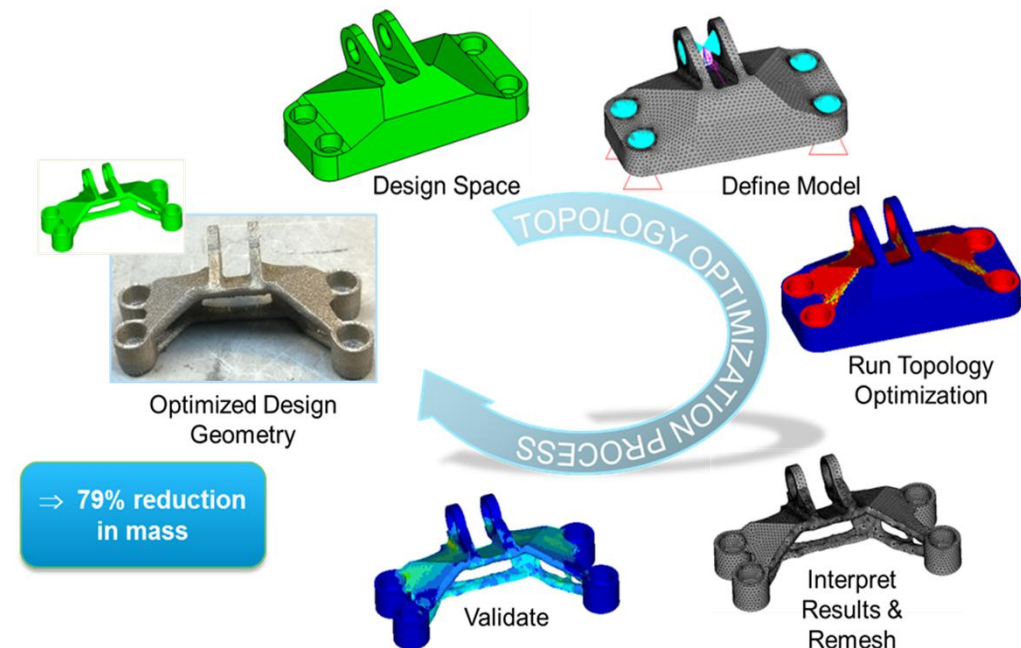
What is Topology Optimization?

§ Finite element based topology optimization is a process of finding the **optimal distribution of material** in a given design space subject to specified boundary conditions and loads

§ The density of each element is a design variable

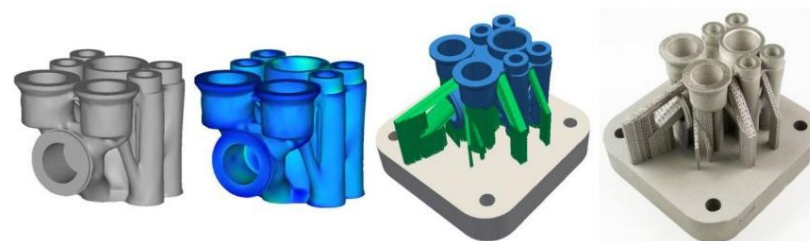
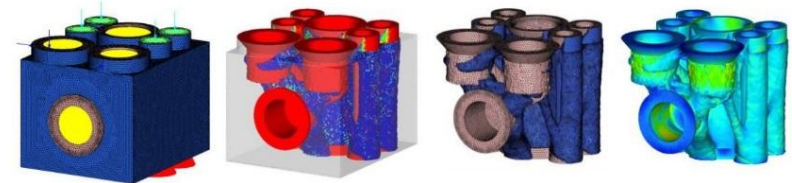
§ These densities are scaled such that 0 indicates a void and 1 indicates a solid

§ TO is essential for utilising the AM design freedom!



3D printed optimized hydraulic valve block

- § Critical component of offshore hydraulic cylinder
- § Small series, customized products
- § Optimized mass:
 - § 489 g vs. original 1.446 kg
 - 66% reduction!
- § Lower footprint
- § No drilling
 - No plugging
 - No leaking!
- § Better fluid flow due to optimized fluid channels

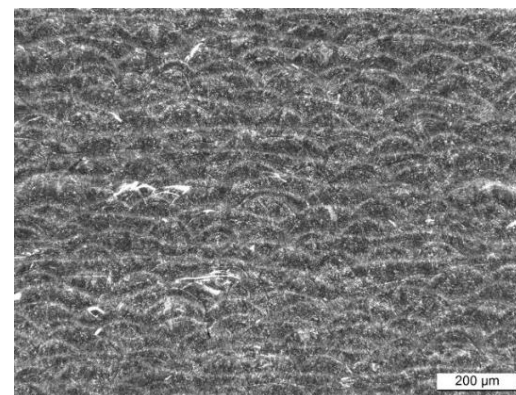
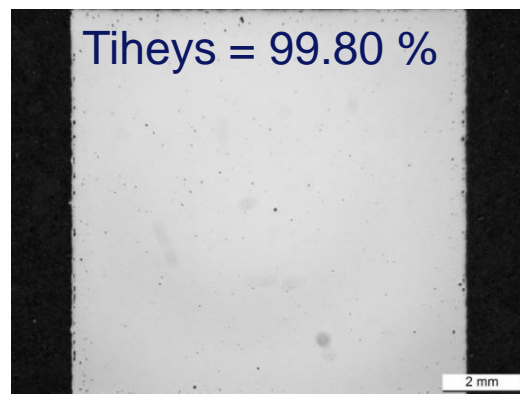




Case 1: Työkaluteräs H13 (1.2344) ominaisuudet

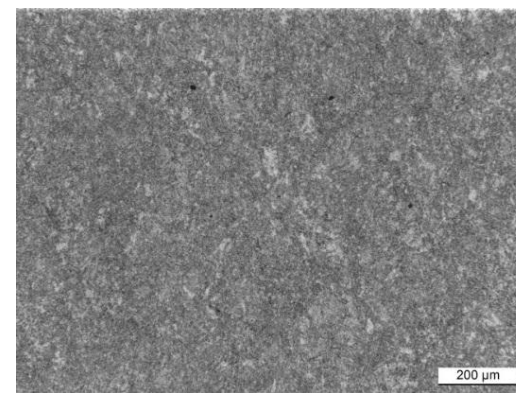
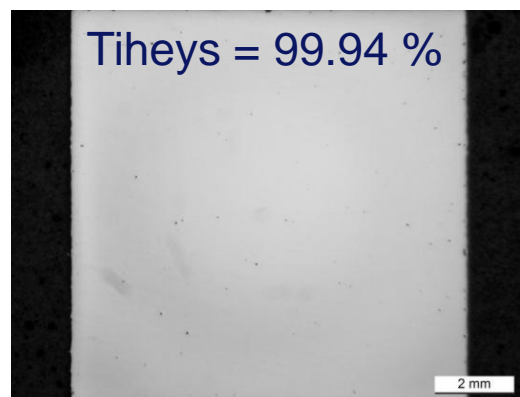
SLM H13 ominaisuudet: tiheys ja mikrorakenne

§ Laitevalmistajan tulostusparametrit



§ Valmistustila
 § Kohtisuoraan tulostussuuntaan nähden (x-akseli)

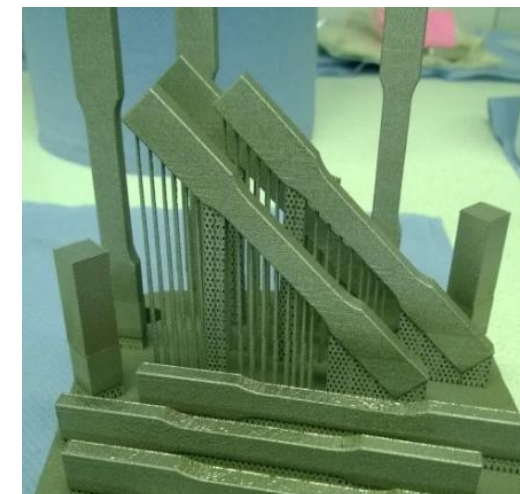
§ Optimoidut tulostusparametrit



§ Austenitointi 1030 °C à sammutus 50 °C öljy,
 § Päästö 2 x 400 °C / 2h à ilmajäähditys RT
 § Kohtisuoraan tulostussuuntaan nähden (x-akseli)

SLM H13 ominaisuudet: vetokoetulokset

Materiaali: H13 (1.2344)	R _{p0.2} (MPa)	R _m (MPa)	A (%)	Kovuus (HRc)
Valmistustilassa, 30 µm kerrospaksuus:				55.0
Lujuus vaaka / Kovuus X-taso	784	1333	1.8	54.9
Lujuus 45° / Kovuus Y-taso	957	1474	1.4	55.3
Lujuus pysty / Kovuus Z-taso	963	1553	1.9	54.9
Jännitystenpoistohehkutuksen jälkeen: Kuumennus ilmauunissa 2 h à 650 °C / 2 h, jäähdytys uunin mukana huoneenlämpöön				45.9
Lujuus vaaka / Kovuus X-taso	1232	1438	4.4	46.1
Lujuus 45° / Kovuus Y-taso	1214	1432	4.7	45.8
Lujuus pysty / Kovuus Z-taso	1166	1380	7.7	45.9
Karkaistuna ja päästettynä: Austenitointi 1030 °C à sammutus 50 °C öljy, päästö 2 x 400 °C / 2h à ilmajäähdytys RT				54.8
Lujuus vaaka / Kovuus X-taso	1553	1612	1.2	54.7
Lujuus 45° / Kovuus Y-taso	1570	1589	1.2	54.8
Lujuus pysty / Kovuus Z-taso	1633	1714	1.1	55.0
Materiaalinvalmistaja (SLM esite):	-	1730	-	
Uddeholm Orvar supreme Austenitointi 1020 – 1030 °C, päästö 250 °C	1520	1820	?	50 - 53





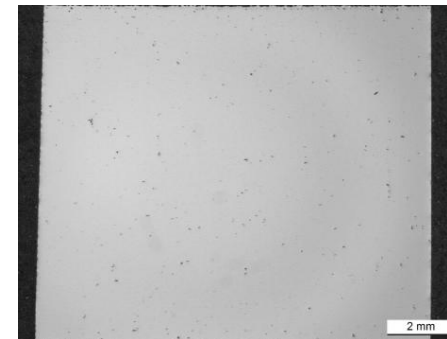
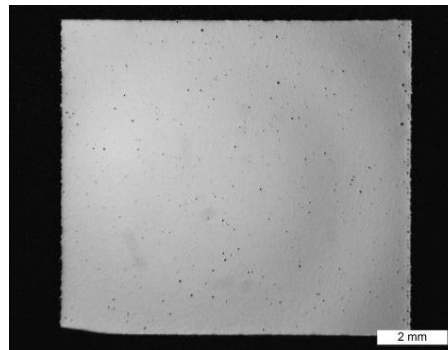
Case 2: Jauheen vaikutus AM- tulosteen ominaisuuksiin

Jauheiden erot: AISI 316L mikrorakenne

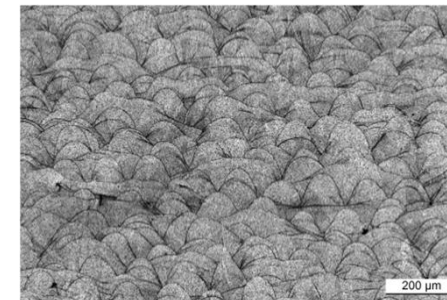
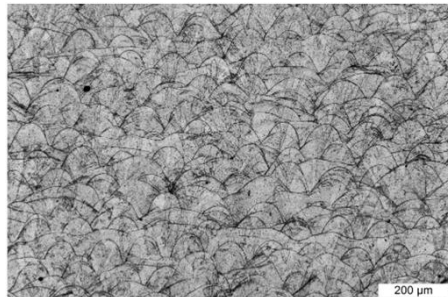
§ Jauhe 1

§ Jauhe 2

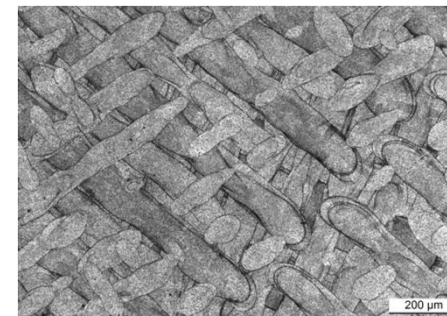
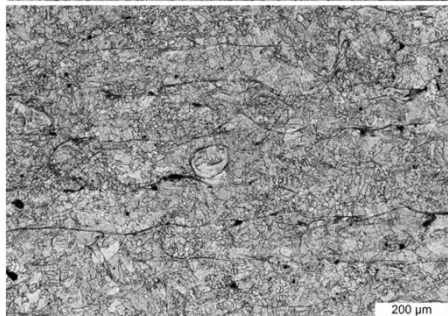
§ Huokoisuus



§ Kohtisuoraan tulostussuuntaan (Y-taso)



§ Tulostussuunta (Z-taso)



AISI 316L vetokoetulokset

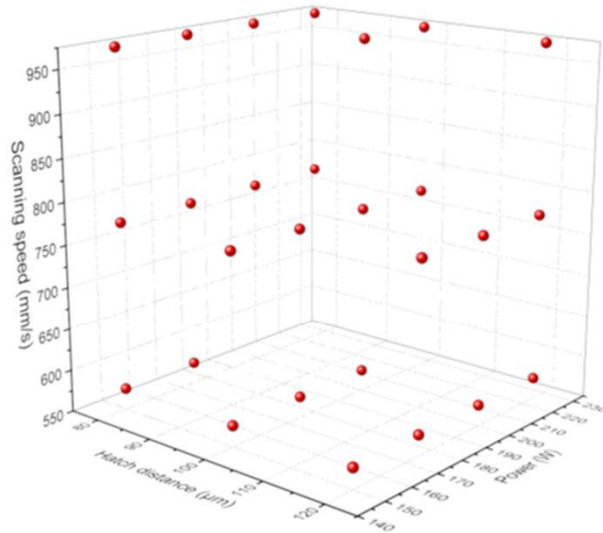
Materiaali: AISI316L (1.4404)	$R_{p0.2}$ (MPa)	R_m (MPa)	A (%)	Kovuus (HV1)
Jauhe 1: valmistustila, 30 μm kerrospaksuus				
Lujuus vaaka / Kovuus X-taso	440	582	50.7	210
Lujuus 45° / Kovuus Y-taso	391	436	12.3	206
Lujuus pysty / Kovuus Z-taso	376	433	5.8	188
Jauhe 2: valmistustila, 30 μm kerrospaksuus				
Lujuus vaaka / Kovuus X-taso	566	705	30.3	258
Lujuus 45° / Kovuus Y-taso	564	690	31.0	256
Lujuus pysty / Kovuus Z-taso	485	658	33.7	246
Jauhe 1 Material Data Sheet:				
30 μ m kerros	550 \pm 39	654 \pm 49	35 \pm 4	
50 μ m kerros	519 \pm 25	633 \pm 28	30 \pm 5	209 \pm 2 (HV10)



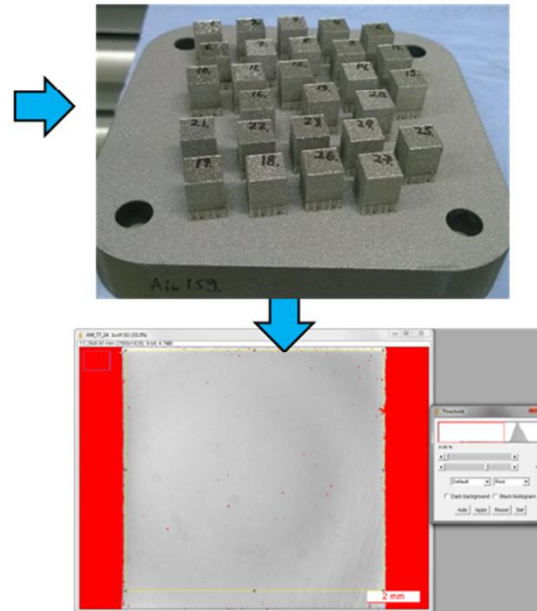
Case 3: Tulostusparametrien optimointi tilastollisella koesuunnittelulla

Parameters for SLM – Design of Experiments

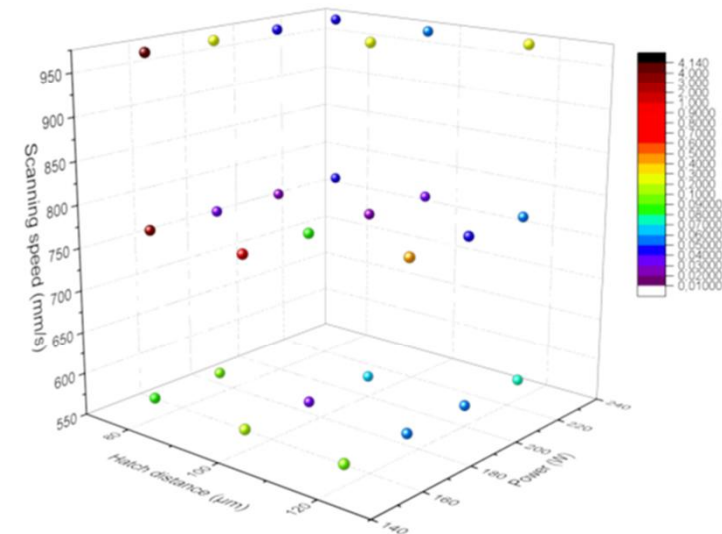
Experimental designs
Using full factorial design of experiments



Printing samples and measuring density using image analysis



Evaluating the porosity data and selecting process parameters



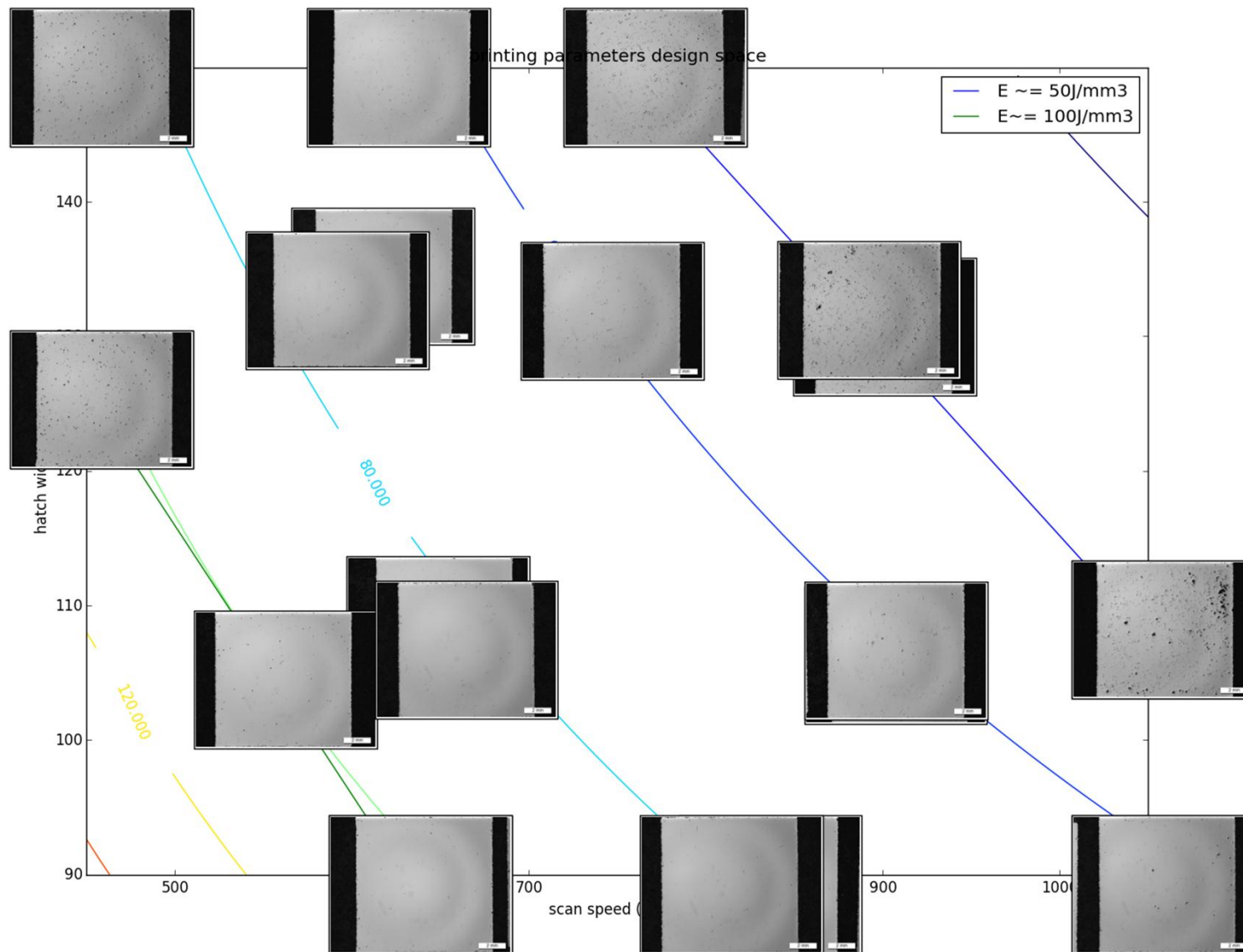
§ Fractional factorial DoE approach was used

§ Three factors and three levels

○ Goal of minimizing porosity in samples

§ A total number of $3^3 = 27$ cubic samples printed and characterised

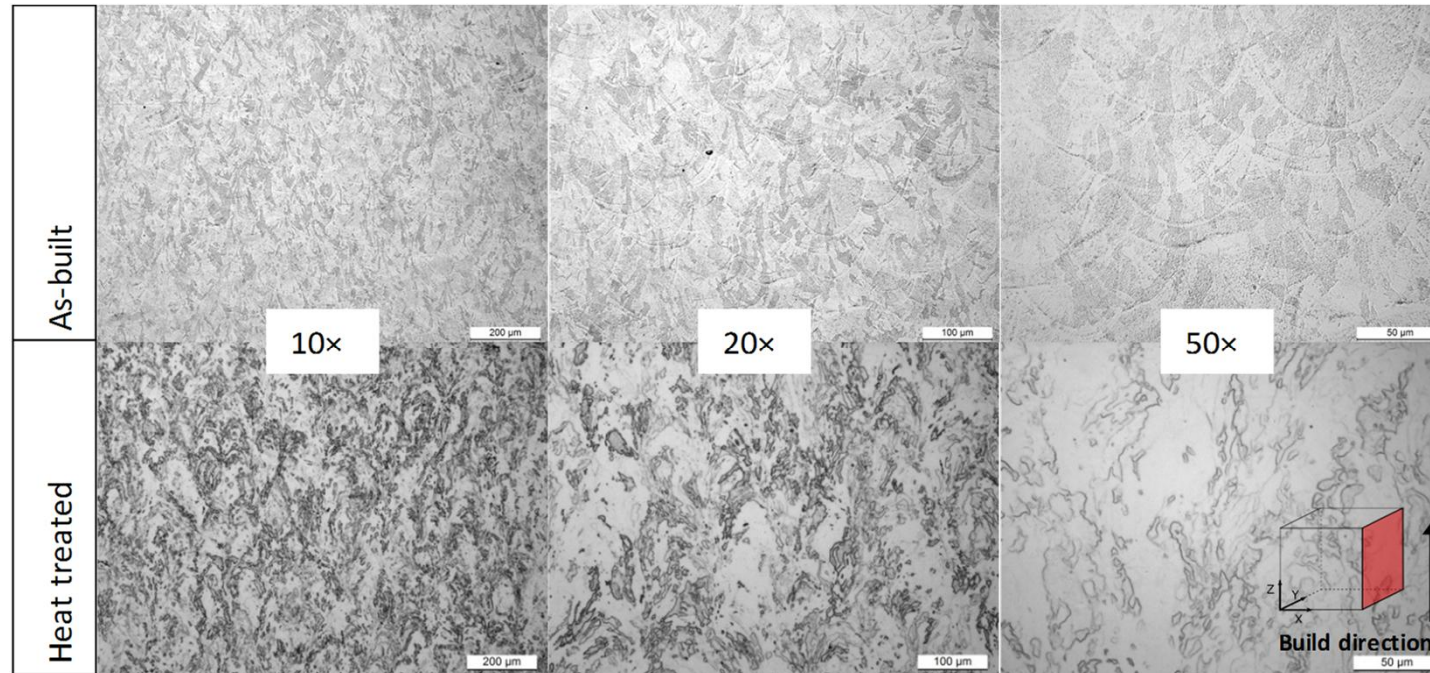
AISI 316L mikrorakennekuvat parametrikartalla





Magneettimateriaalien AM- tulostus ja lämpökäsittely

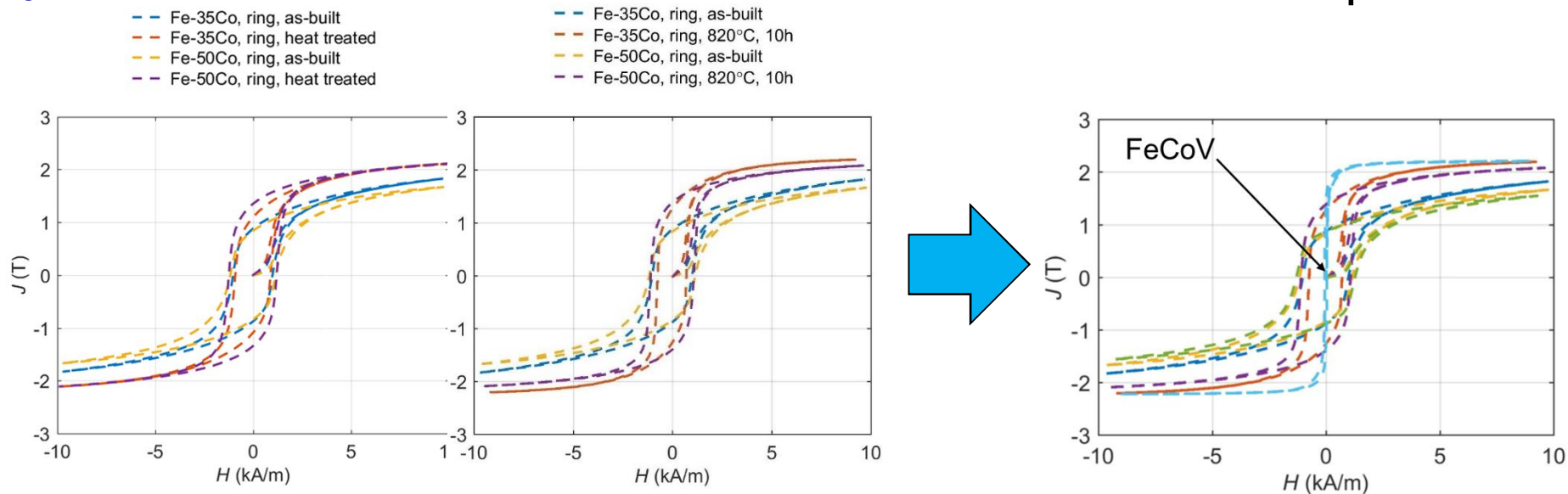
Magnetic properties: microstructures and heat treatment



- § Micrographs of Fe-50Co samples in as-built condition and after heat treatment
 - § Heat treatments were done in Ar-4% H_2 atmosphere at 700 °C / 2 h.
 - § Solidified scan paths are clearly visible in the as-built sample
 - § Columnar grain structure where the grains have grown in the build direction
 - § In the heat-treated sample scan paths are disappeared, but columnar structure exist

Magnetic properties: HT and alloy optimisation

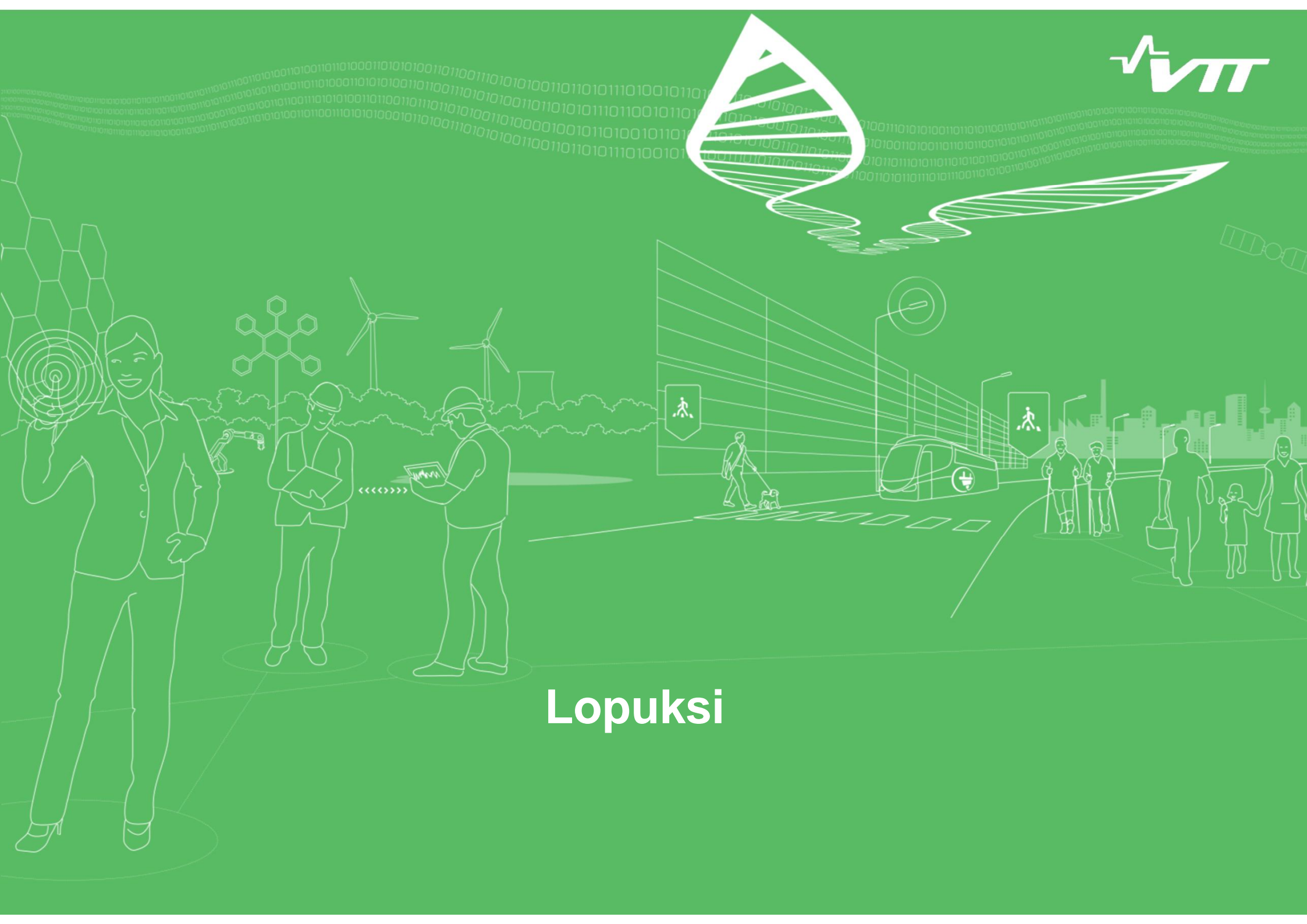
§ Quasi-static JH-curves for Fe-35Co and Fe-50Co samples



- § Heat treatment 700 °C / 2 h
- § High saturation magnetization ~ 2.35 T
- § Magnetically hard, magnetic
 - § coercivity ~ 1000 A/m
 - § permeability ~ 1000
- § Heat treatment not optimal
 - § Too low a temperature

- § Increased HT temperature and holding time 820 °C / 10 h
- § Still magnetically relatively hard, magnetic
 - § coercivity ~ 700 A/m
 - § permeability ~1200
- § Conventional heat treatment

- § HT optimisation for SLM processed materials
- § Better magnetic properties
 - § Lower coercivity, high permeability
 - § Ternary alloys such as FeCoV
 - Preliminary results promising
- § Soft magnetic alloys for higher frequency applications
 - § Increasing resistivity of alloy
 - § Other possibilities to suppress eddy currents



Lopuksi

Kirjallisuutta

§ Design for Additive Manufacturing

§ Research report VTT-R-03159-16

§ Authors: Erin Komi

§ Design guide for additive manufacturing of metal components by SLM process

§ Research report VTT-R-03160-16

§ Authors: Petteri Kokkonen, Leevi Salonen, Jouko Virta, Björn Hemming, Pasi Laukkanen, Mikko Savolainen, Erin Komi, Jukka Junntila, Kimmo Ruusuvuori, Simo Varjus, Antti Vaajoki, Seija Kivi, Jouni Welling

§ AM-prosessin integrointi tuotantoon – metalliosien valmistuksen työvaiheet

§ Tutkimusraportti VTT-R-03327-16

§ Kirjoittajat: Antti Vaajoki, Sini Metsä-Kortelainen

§ Lisäävän valmistuksen keskeiset materiaalit ja niiden ominaisuudet

§ Tutkimusraportti VTT-R-03997-16

§ Kirjoittajat: Antero Jokinen, Tuomas Riipinen

Kiitos!

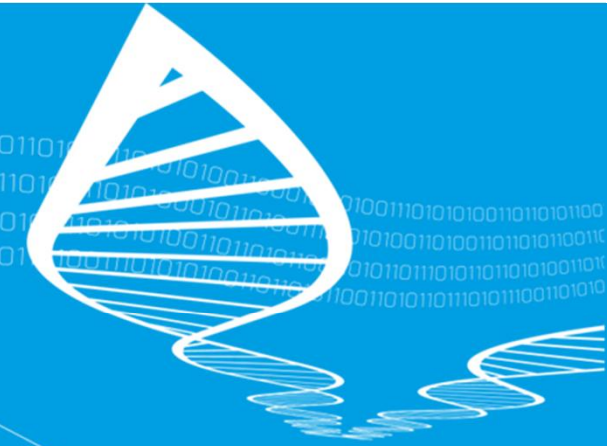
§ Lisätietoja:

§ Pasi Puukko: tiimipäällikkö, Advanced manufacturing technologies

§ 040 525 1684

§ pasi.puukko@vtt.fi

§ [3D tulostus kilpailutekijänä](#)



TECHNOLOGY «» FOR BUSINESS

