

# **3D-tulostuksen yhteishanke 3D TY**

# Metallien suorakerrostus (WAAM/L-DED) tuotteen/komponentin suunnittelun ja tuotannon kannalta

3DTY Metallinebinaari 7.11.2024 klo 13-15  
Suurten kappaleiden metallitulostus WAAM ja L-DED menetelmillä.

Kari Mäntyjärvi  
Oulun yliopisto – Tulevaisuuden tuotantoteknologiat (FMT)

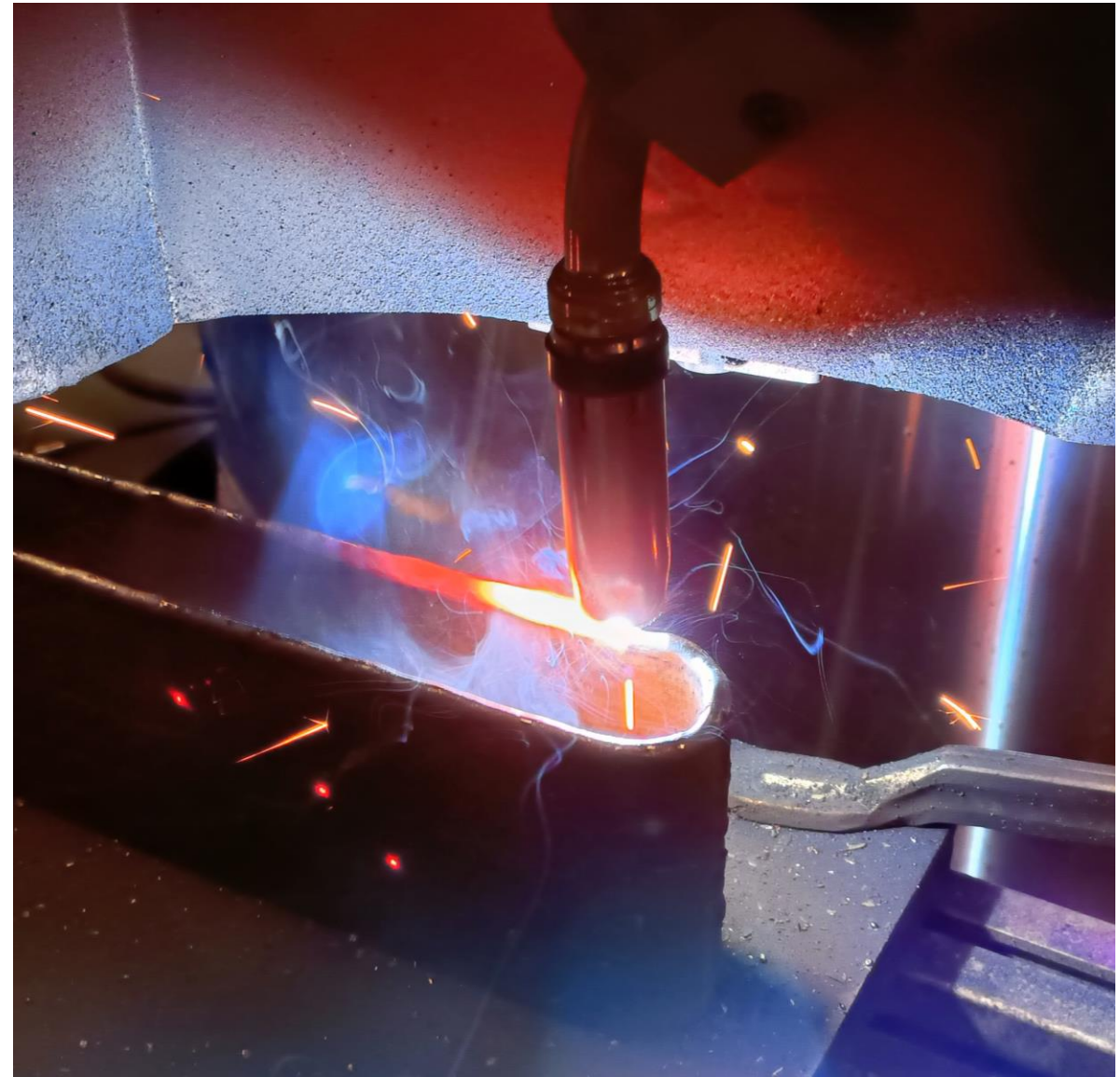


Euroopan unionin  
osarahoittama



# Metallien suorakerrostus

- Metallien suorakerrostus (Directed Energy Deposition, DED) on ainetta lisäävä valmistusmenetelmä, jossa metallijauhetta tai -lankaa sulatetaan joko kaarihitsausmenetelmillä, laserilla tai elektronisuihkulla kohteen pinnalle haluttuun muotoon.
- Menetelmiä:
  - Arc-DED / WAAM (Wire-Arc Additive Manufacturing) – Mig/Mag, lanka-Tig tai Plasma hitsausmenetelmät
  - L-DED – Laser DED. Lisäaine joko lankana tai jauheena
- "Karkeita" ja "epätarkkoja" menetelmiä – Tarkkuus tehdään yleensä koneistamalla
- "3- tai 5-akselinen" robotti tai CNC mekaniikka

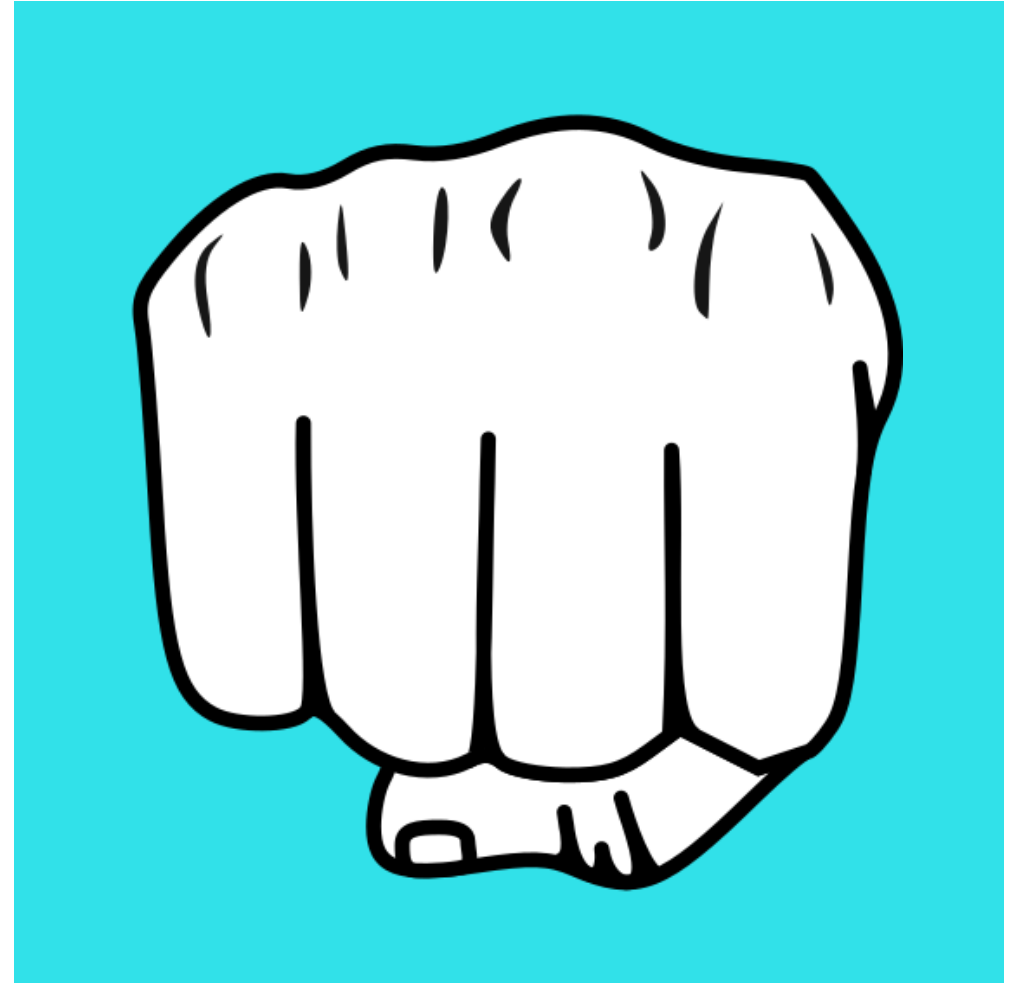


Euroopan unionin  
osarahoittama



# Nyrkkisääntö 1 ja 2

1. **" Jos osan voi valmistaa kustannustehokkaasti perinteisillä menetelmillä, niin sitä ei luultavasti kannata valmistaa AM menetelmillä! "**
  - Hyvät 3D-tulostettavat osat ovat yleensä:
    - o sellaisia, että niissä kyetään hyvin hyödyntämään AM-menetelmän mahdollisuuksia
    - o rakenteeltaan sellaisia, että niitä on hankala tai mahdoton valmistaa muilla menetelmillä
    - o niissä saadaan yhdistettyä monta osaa yhdeksi kokonaisuudeksi
    - o prototyyppi- tai piensarjaosia
    - o yksittäisosia tai personoituja osia
2. **" Geometrian monimutkaistuminen ei yleensä lisää lisäävän valmistuksen kustannuksia ja rakenteen keventäminen taas yleensä vähentää niitä! "**
  - Suunnitellaan aina keveitä (ja kestäviä👍) AM-osia



Kuva: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1d/Human\\_fist\\_different\\_sides.svg/2560px-Human\\_fist\\_different\\_sides.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/1d/Human_fist_different_sides.svg/2560px-Human_fist_different_sides.svg.png)



Euroopan unionin  
osarahoittama





Lähde: Kavosarja Steford Williams: Wire Based Additive Manufacture at Cranfield Universit, May 2018



Euroopan unionin  
osarahoittama



# DED standardit ja oppaat

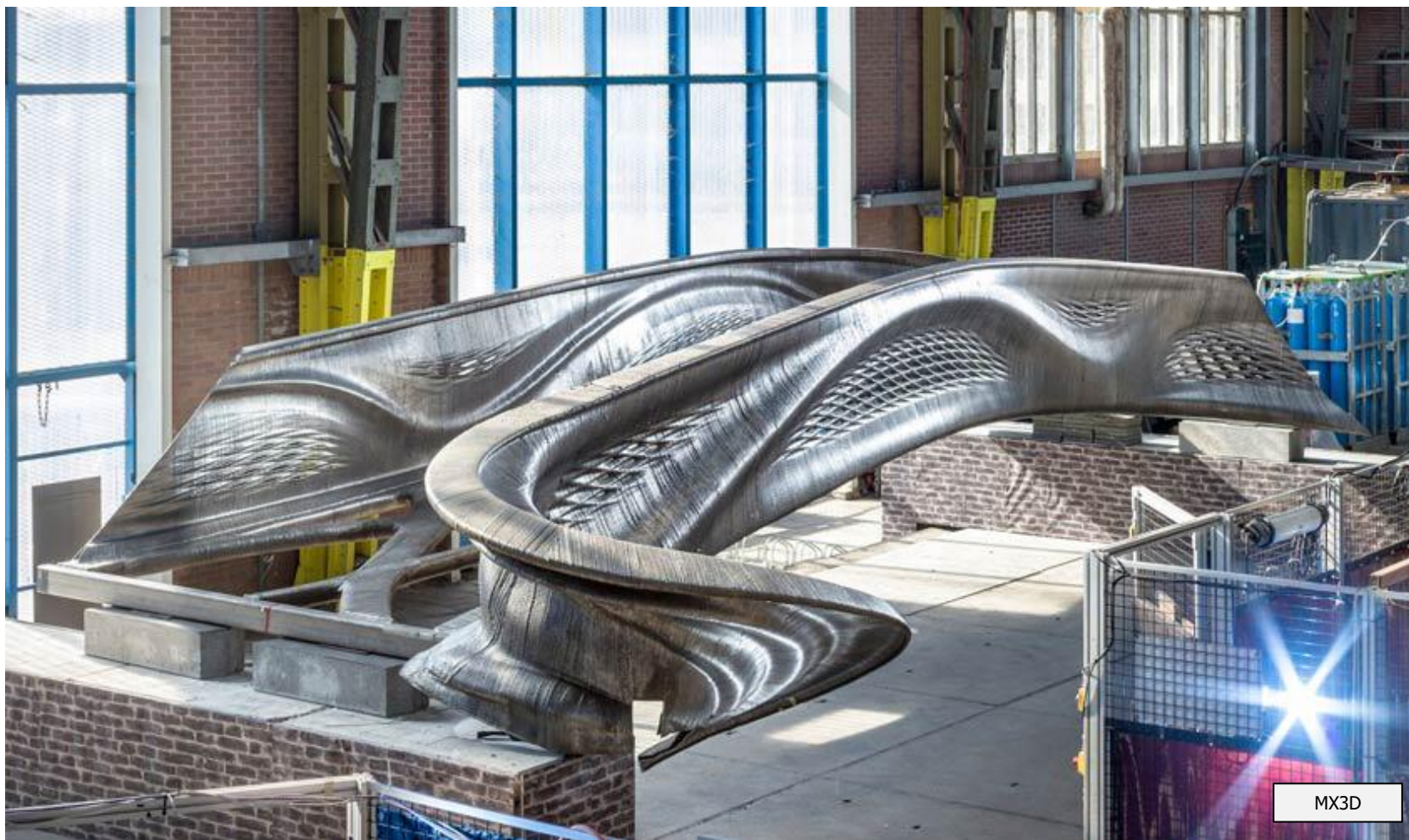
- ASTM F3187-16 Standard Guide for Directed Energy Deposition of Metals
- F3413 – 19 Guide for Additive Manufacturing, Design, Directed Energy Deposition
- ISO/ASTM 52943-2:2024 Additive manufacturing for aerospace — Process characteristics and performance Part 2: Directed energy deposition using wire and arc
- ISO/ASTM CD 52922 Additive manufacturing — Design — Directed energy deposition of metals (CD = Committee Draft)
- AMS7010A Laser Directed Energy Deposition Additive Manufacturing Process (L-DED)
- SFS-EN ISO/ASTM 52910:2019 Additive manufacturing. Design. Requirements, guidelines and recommendations (ISO/ASTM 52910:2018) – YLEINEN
- [Lockett et al: Design for Wire + Arc Additive Manufacture: Design Rules and Build Orientation Selection](#)
- [Meltio design guidelines](#)
- [NASA: Principles of Directed Energy Deposition for Aerospace Applications](#)
- [U.S. Nuclear Regulatory Commission \(NRC\) - Draft Guidelines Document for Additive Manufacturing—Laser Directed Energy Deposition](#)



# DFMA = Design for Additive Manufacturing

- Kappaleiden suunnittelu valmistusmenetelmä huomioiden
- Geometrinen vapaus - Vanhojen tapojen ja perinteisten mallien rikkominen!
- Valmistettavuus, luotettavuus ja kustannusten optimointi
- Suunnittelussa:
  - Geometrian FEM pohjainen optimointi
    - lujuus- ja paino-optimointi
  - Osien vähentäminen yhdistelemällä osia
    - Kustannuksia pois osavalmistuksesta ja etenkin kokoonpanosta!
  - Rakenteen moninaisuus
    - esim. kenno-, verkko- ja huokosrakenteen hyödyntäminen
- Massaräätälöinti
  - jokainen osa voi olla erilainen
- Monimateriaalitulostus
  - erilaisia ominaisuuksia/materiaaleja samassa tulosteessa
- Tulostusasennon ja tukien huomiointi jo kappaleen suunnitteluvaiheessa → jälkikäsittelyn minimointi
- Lisäävän valmistuksen yhdistäminen muihin menetelmiin
  - Valut, levyosat, kierrätetyt rakenteet/korjaus

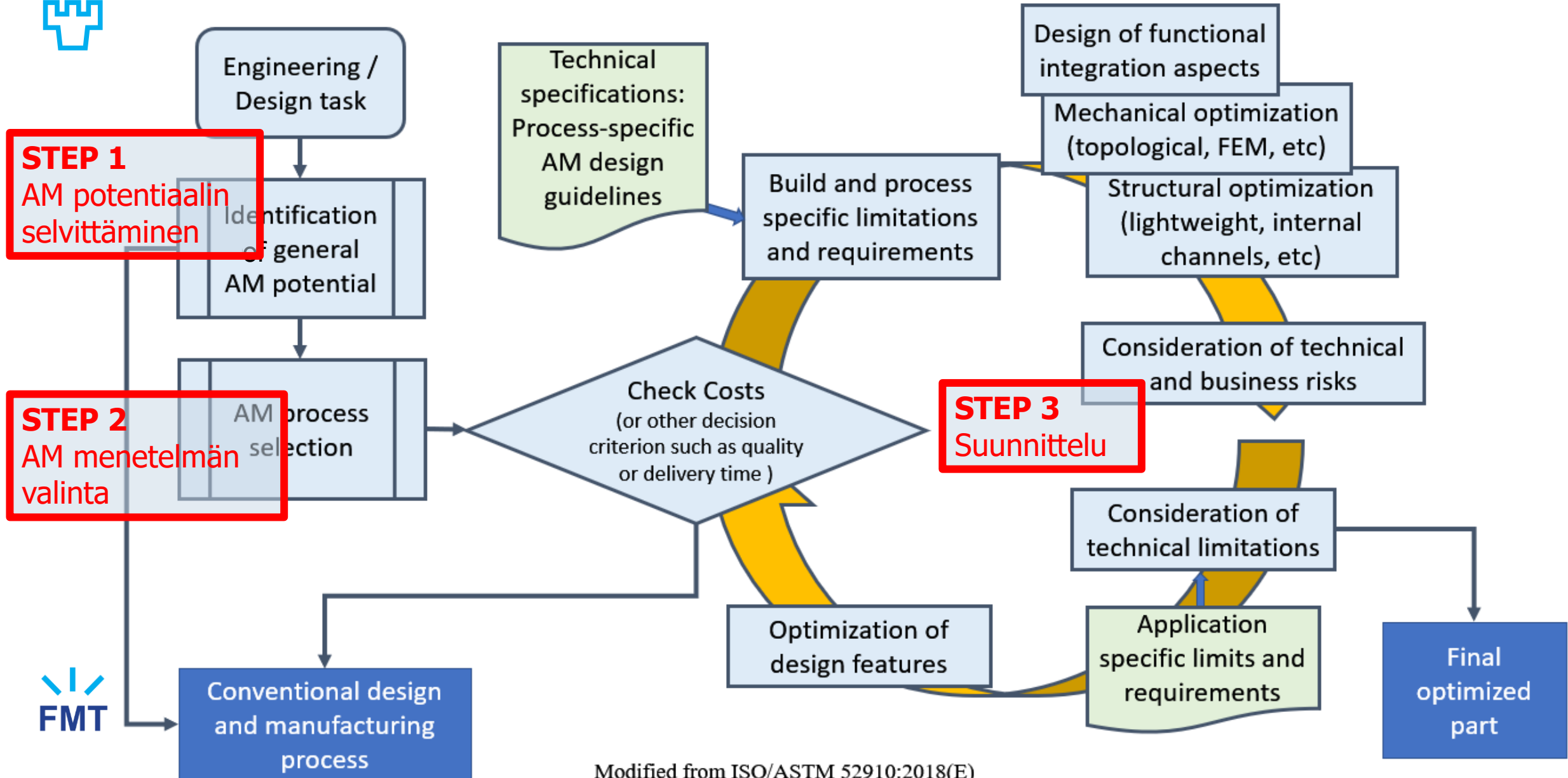




Euroopan unionin  
osarahoittama

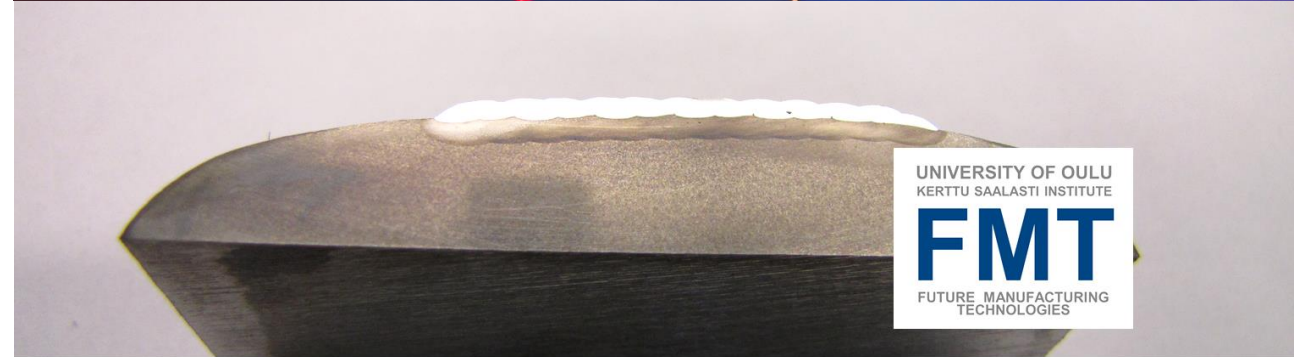
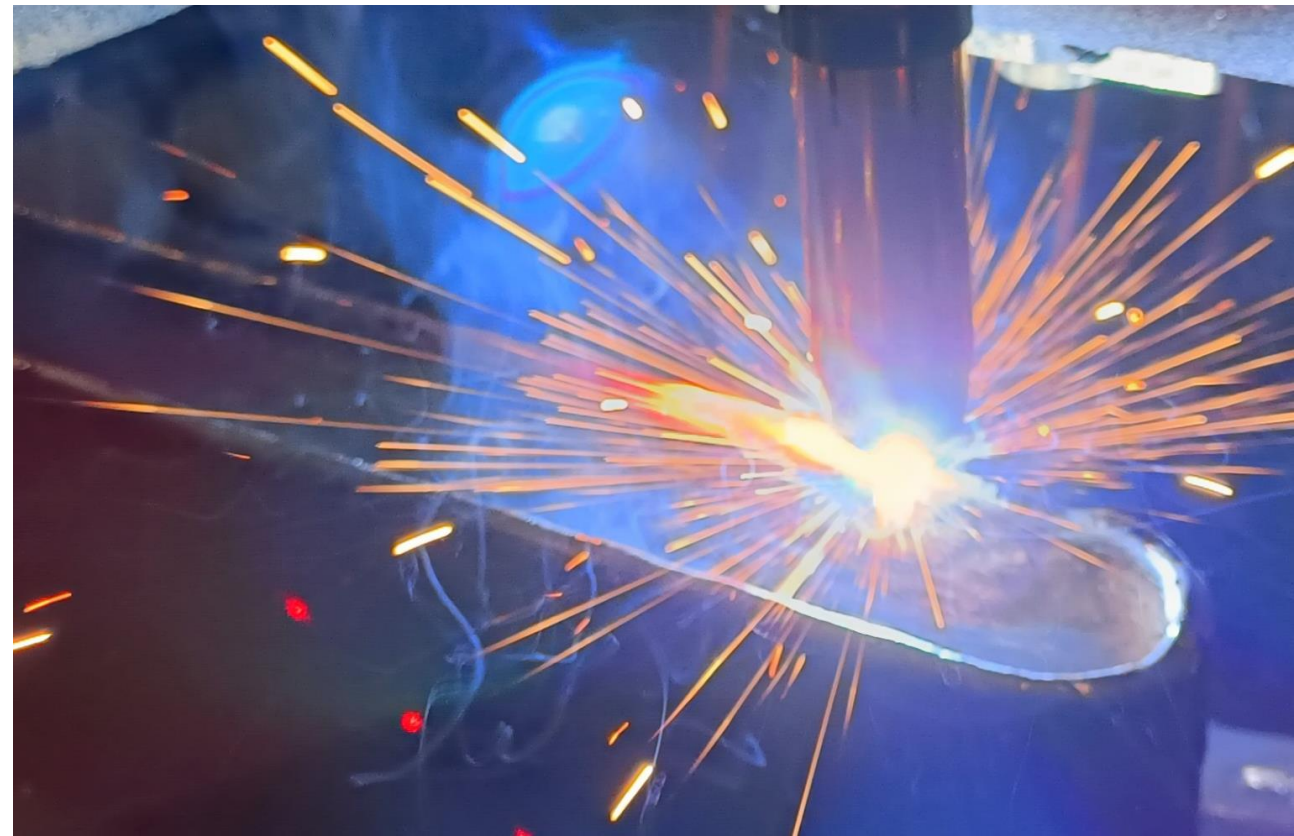






# Suorakerrostuksen huomioiminen suunnittelussa

”yleisestä yksityiskohtiin ja takaisin”



UNIVERSITY OF OULU  
KERTTU SAALASTI INSTITUTE  
**FMT**  
FUTURE MANUFACTURING  
TECHNOLOGIES



Euroopan unionin  
osarahoittama



# Tuotteen ja sen rakenteen analyysi

## Tekniset haasteet

- Rakenteelliset ja kestävyteen liittyvät ongelmat
- Materiaaliongelmät
- Valmistustekniset ongelmat
- Piensarjatuotannon ongelmat
- Asiakkaiden vaatimukset ja toiveet
- Räätelöinti ja kustomointihaasteet

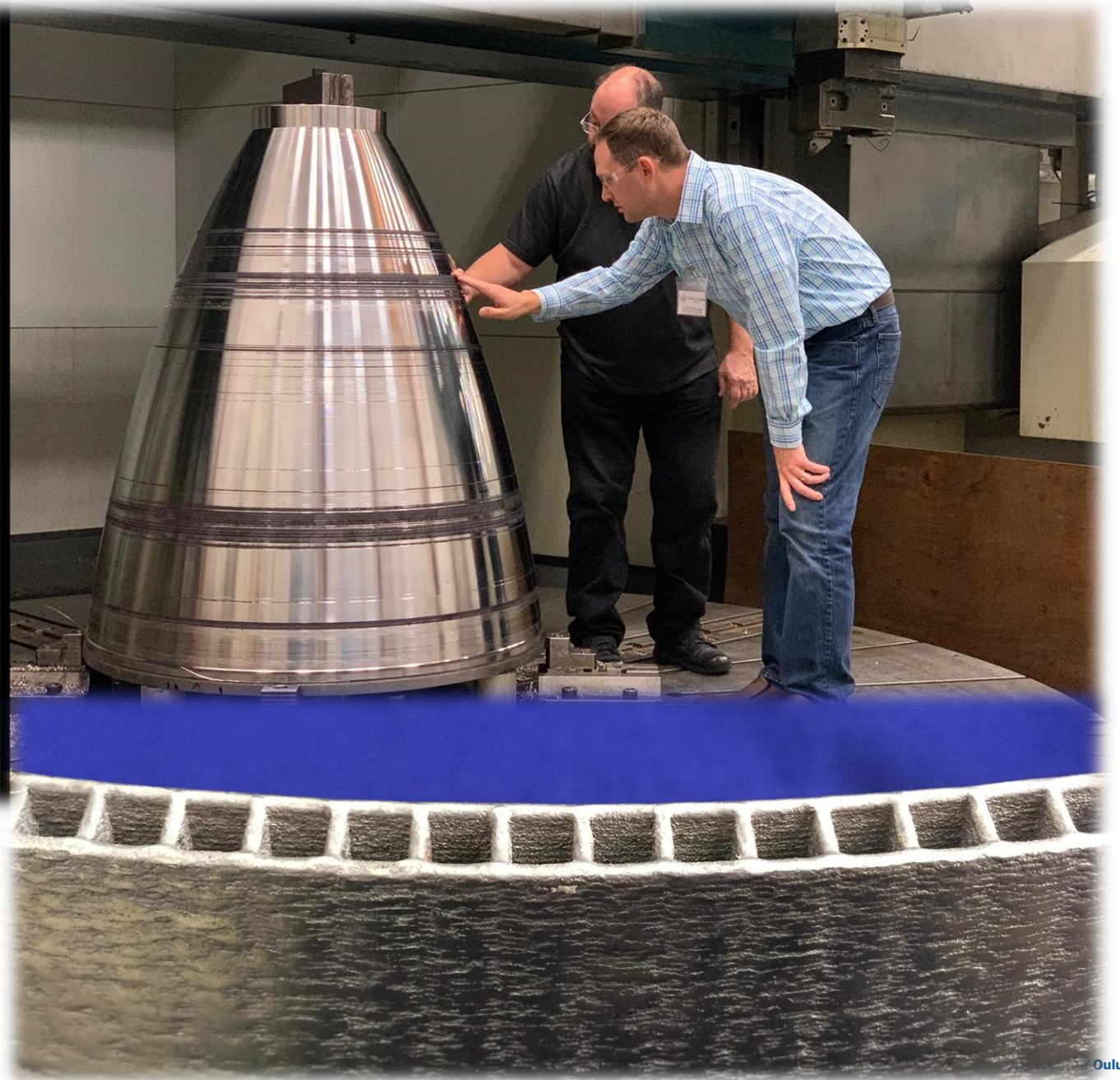
## Kaupalliset ja hallinnolliset haasteet

- Osien valmistuskustannukset
- Kokoonpanokustannukset
- Ajoitus ja ajan säästö
- Tuotteen hallintaan ja tuotetukeen liittyvät asiat

## • STEP 1 ja 2

- Mietitään voisiko lisäävä valmistus/suorakerrostus ratkaista ongelmia tai tuoda etua
- Toisaalta katsotaan toimitus-/valmistusketjua ja katsotaan voisiko AM tuoda lisäarvoa tai säästöjä





Source:  
<https://www.nasa.gov/centers/marshall/news/releases/2020/future-rocket-engines-may-include-large-scale-3d-printing.html>

# Katse rakenteeseen ja kokoonpanoon

## Toimintojen yhdistäminen yhteen osaan:

- Toiminnallisuuden lisääminen:
  - o Jäähdytys/lämmitys/voitelu/johdotus yms kanavistot samaan osaan
- Työvaiheiden vähentäminen:
  - o Leikkaus, muovaus, koneistus, kokoonpanotyö...
- Suorituskyvyn nostaminen / toiminnan parantaminen rakennetta optimoimalla
  - o Rakenteen keventäminen ja parempi kestävyys (mekaaninen, kulutus yms)
- Esim. hydrauliiikan ja pneumatiikan jakotutkit

## Robottihitsaus + WAAM

- Merkkaaminen hitsaamalla
- Osien/kokoonpanotyön vähentäminen hitsauspäällä tulostamalla
- Räätelöidyt piirteet tulostamalla

## Valut + WAAM

- Valun korvaaminen joko kokonaan tai osiittain
- Esim pumpun juoksupyörän räätelöinti asiakastarpeen mukaan

## Ja tietenkin

- Korjaushitsaukset ja pinnoitukset
- Osien muutokset ja päivitykset



# Kevyttä ja kestäväää

- Materiaali (vain) sinne missä sitä pitää ollakkin
  - Tunnistetaan kaikki rakenteeseen tulevat kuormitukset ja erilaiset kuormitus tilanteet
    - Tässä etenkin dynaaminen kuormitus eri tilanteissa
      - Käynnistys, ajotilanteet, siirto, korjaus, "sallitut töttöilyt", jne
  - Tulostusalusta / esivalmis rakenne
  - Osan kiinnitys eri työvaiheissa
  - Optimoidaan geometria:  
Topologiaoptimointi, Generatiivinen suunnittelu, FEM laskennan hyödyntäminen

Kimmoertoimia:

- Teräkset 200 GPa
- Alumiini: 47-80 GPa
- Titaani: 120 GPa
- Inconel: 200 GPa

- Lujuus
  - Hyödynnetään lujia materiaaleja
  - Materiaali sinne missä sitä pitää olla
- Jäykkyys
  - Hyödynnetään käytettävissä oleva tila
  - "Laajat" kuori-, ristikko- ja kennorakenteet

- **3xOikein: Oikea määrä oikeaa materiaalia oikeaan paikkaan**



Euroopan unionin  
osarahoittama





Source: [https://www.damen.com/-/media/new-corporate-damen/images/news/2017/11/worlds\\_first\\_class\\_approved\\_3d\\_printed\\_ships\\_propeller\\_unveiled/waampeller.jpg?rev=52387b3360274e28ac90e513e8ab4781](https://www.damen.com/-/media/new-corporate-damen/images/news/2017/11/worlds_first_class_approved_3d_printed_ships_propeller_unveiled/waampeller.jpg?rev=52387b3360274e28ac90e513e8ab4781)

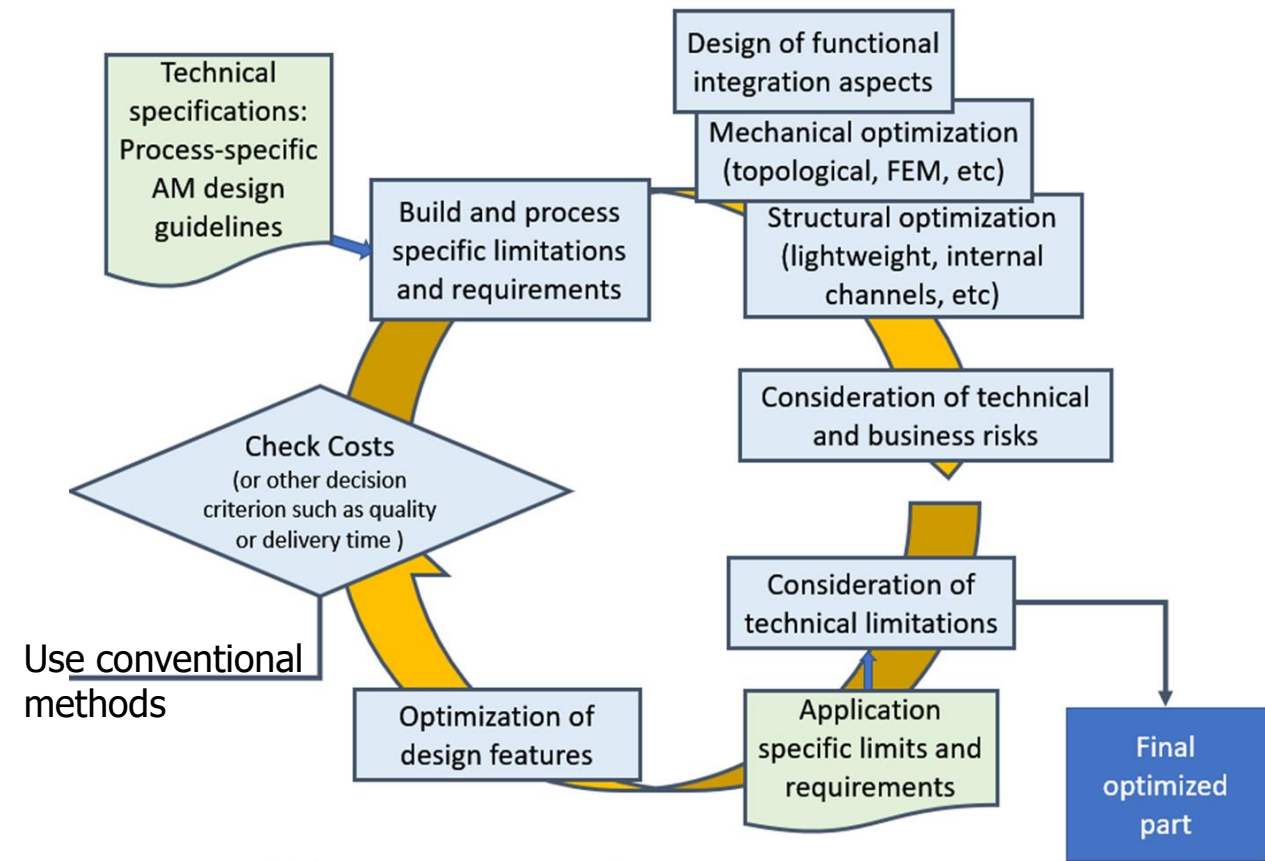


UOULU-FMT



# Osan suunnittelu

- Osan toiminnallinen muoto
  - Liitynnät ja toiminnalliset piirteet
  - Tila jossa materiaalia saa olla
- Tulostusalustan paikka ja muoto
- Muodon optimointi
- Iteratiivinen prosessi!



Modified from ISO/ASTM 52910:2018(E)



Euroopan unionin  
osarahoittama

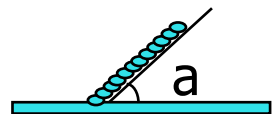
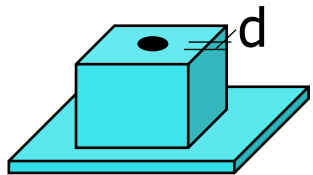
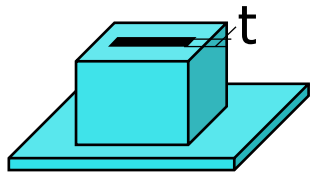
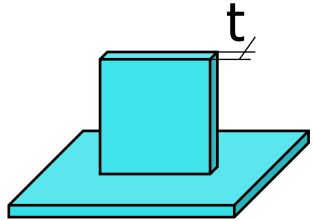




# Osan suunnittelu

Tekniset yms. vaatimukset

Valmistusmenetelmän  
mahdollisuudet ja  
rajoitukset



## Ominaisuus

Minimi seinämän vahvuus

## WAAM

5-6 mm  
3 mm 0.8 mm  
langalla

## LW-DED (\*)

2,5 mm

Minimi pystysuoran raon leveys

5 mm, pienempi  
todennettava

1,2 mm

Pienin pystyreikä

5 mm

2 mm

Suurin tukematon ulkonema

45° tai pienempi

65°

Pinnankarheus

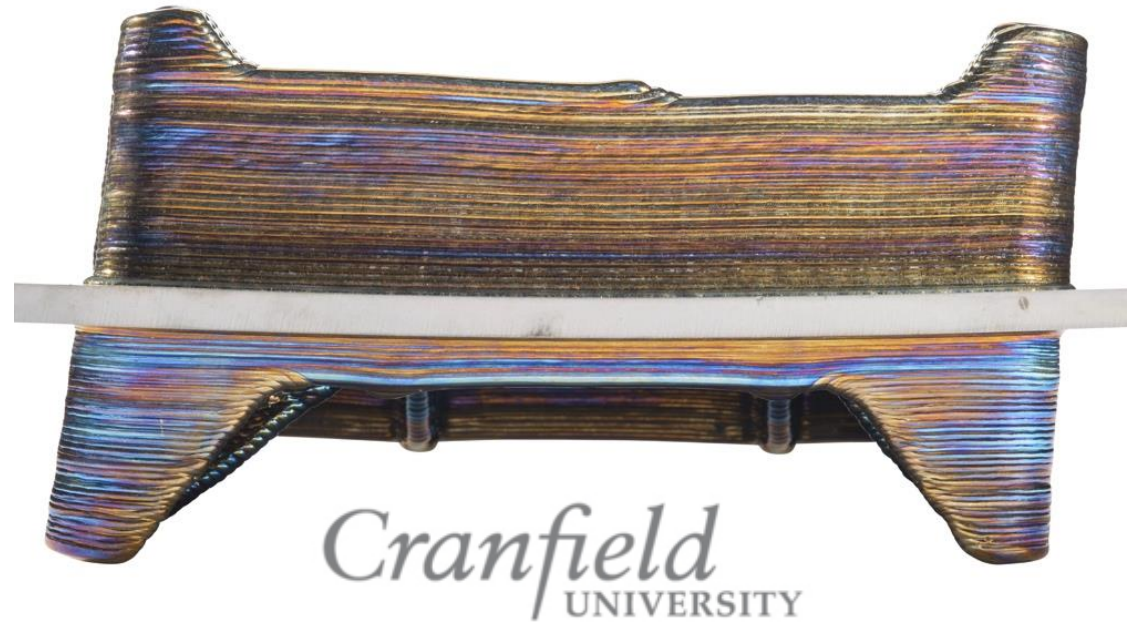
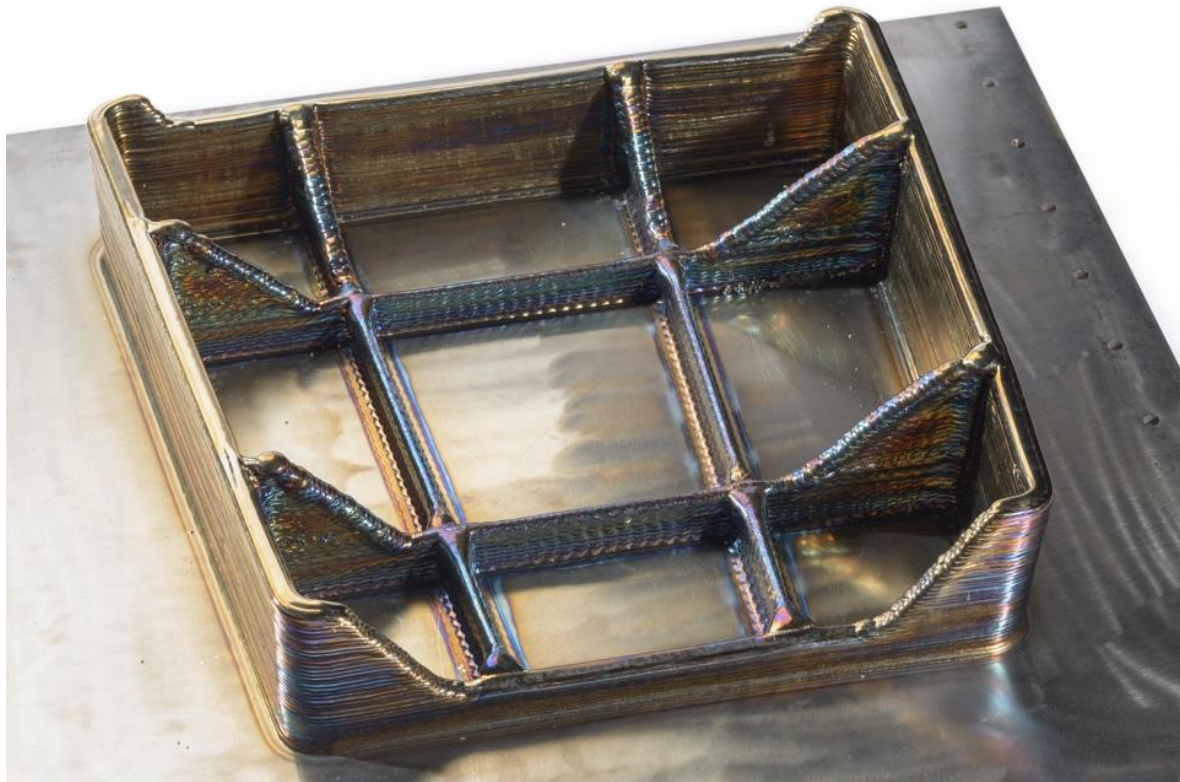
Ra 20-10

Arvot viitteellisiä! Menetelmän kyvykkyys riippuu laitteistosta, materiaalista ja langanpaksuudesta.  
Tässä 1.2 mm lanka. WAAM = Fronius CMT, LW-DED = Meltio M450  
(\*) Meltio Design guidelines



Euroopan unionin  
osarahoittama





Bombardier rib



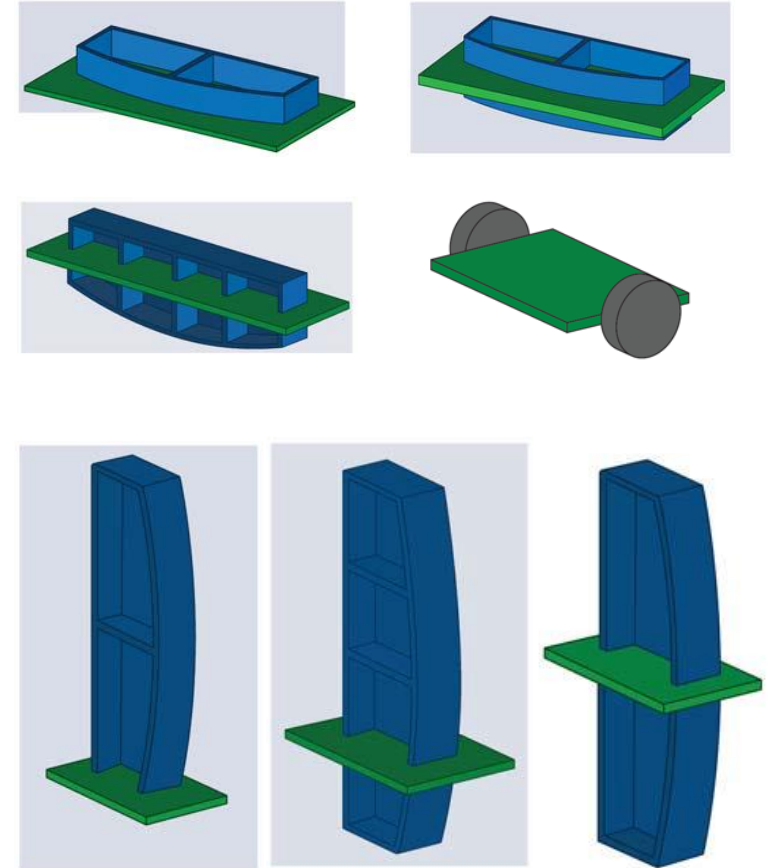
Euroopan unionin  
osarahoittama



# Osan suunnittelu

## Rakennusalusta

- Tulostus aloitetaan rakennusalustalle
- Levy, napa, rakenne (valu, hitsattu, muovattu, jne) tai jotakin muuta
- Oltava riittävän tukeva jotta säilyttää muotonsa
- Voi jäädä osaksi kappaletta tai kappale voidaan irrottaa alustasta tai alustaa voidaan työstää muotoon leikkaamalla, koneistamalla
- Suorakerrostusta voi käyttää myös lisäämään rakenteeseen yksityiskohtia
  - Räätelöinnit
  - Osien korvaaminen
  - Voi myös käyttää merkkäamiseen



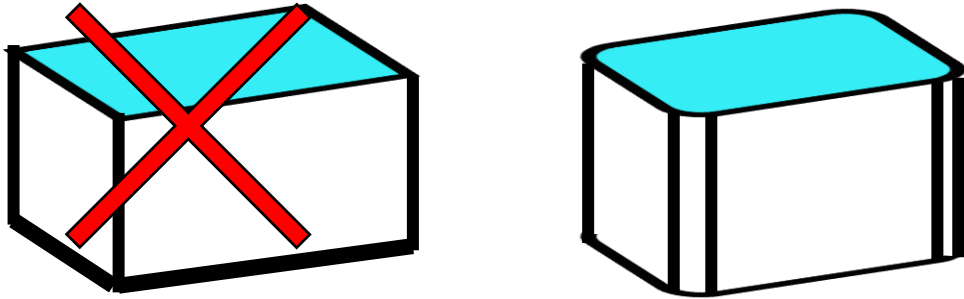
ASTM F3413-19



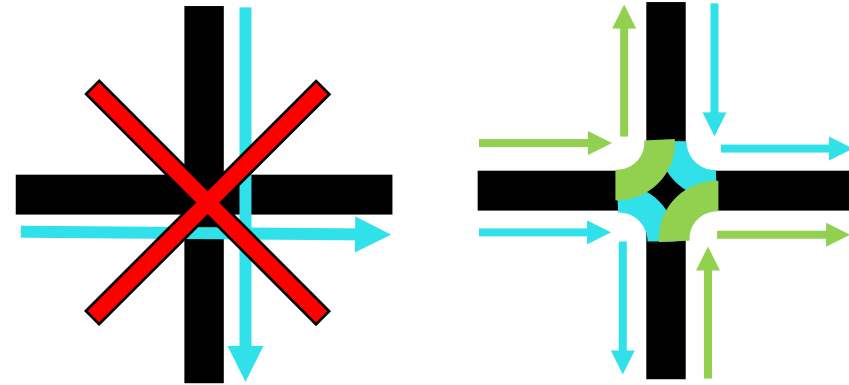
Euroopan unionin  
osarahoittama



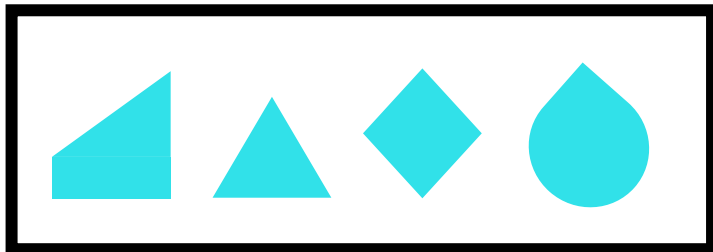
# Osan suunnittelu



Suosi pyöristettyjä kulmia!



Risteävät muodot – ei hitsauspalon ylitystä

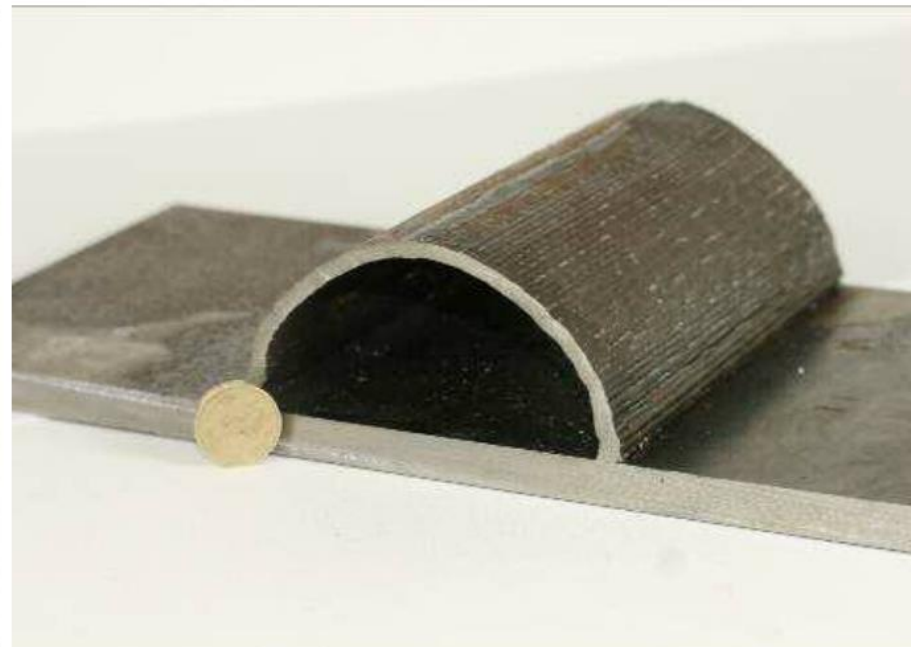
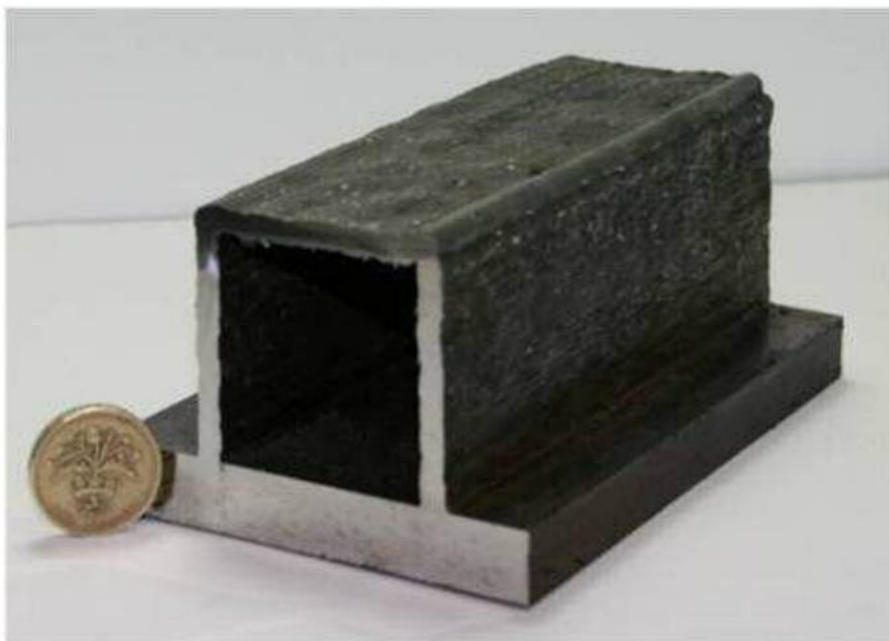


Vaakareissä ja kanavissa talo, kolmio, salmiakki tai kyynel!



Euroopan unionin  
osarahoittama





Mehnen, Jorn; Ding, Jialuo; Lockett, Helen and Kazanas, Panos (2014). Design study for wire and arc additive manufacture. *International Journal of Product Development*, 19(1/2/3) pp. 2–20.

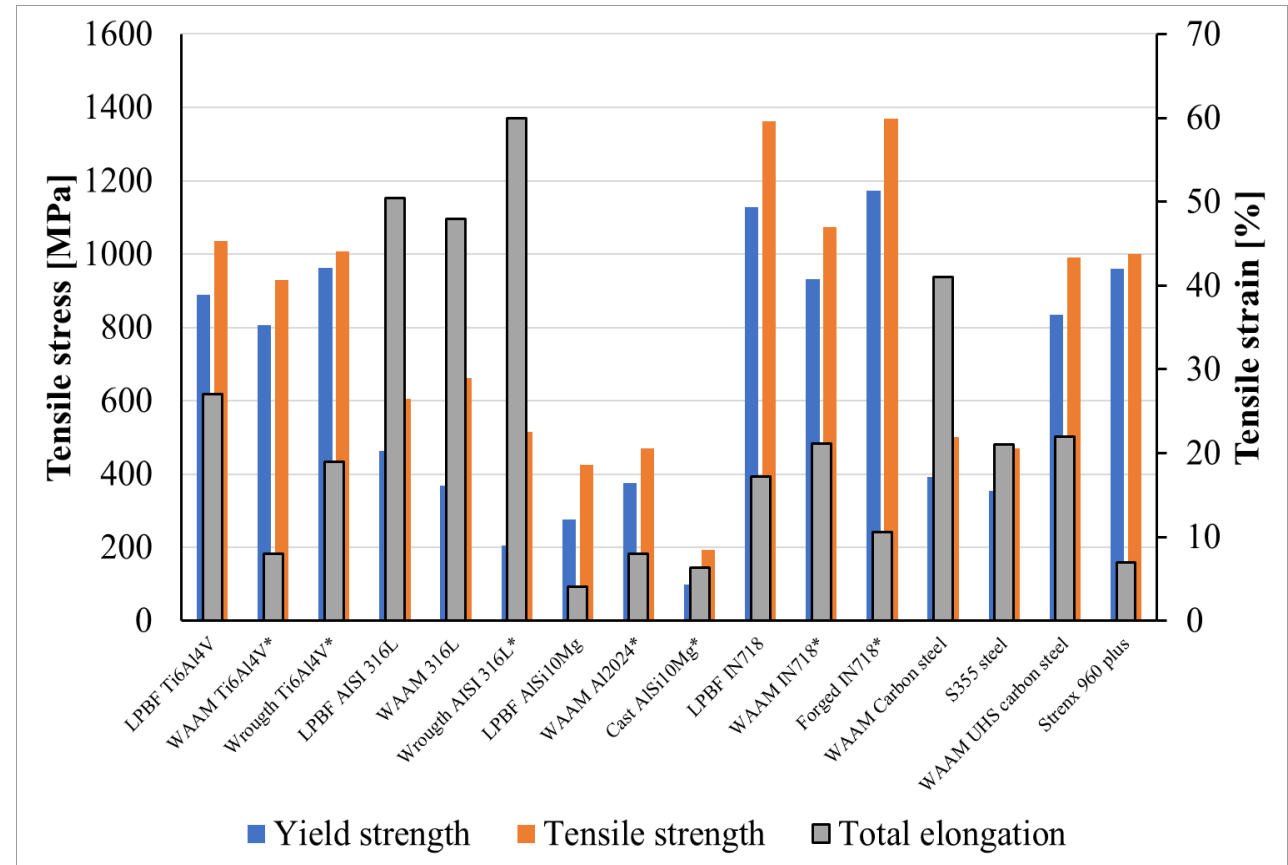


Euroopan unionin  
osarahoittama



# Materiaalit

- Lähes kaikki hitsauksen lisäainelangat jotka soveltuvat monipalkohitsaukseen
- Muutama DED käyttöön suunniteltu lanka
  - Esim Böhler 3Dprint AM lankasarja
- Kuten yleensä hitsauslisäaineiden kanssa hitsi on lujempaa kuin perusmateriaali mutta venymä on vaatimattomampi



DREAMS-project, DIMECC-Uni.Oulu / SSAB datasheets

Wire + Arc Additively Manufactured Inconel 718: Effect of post-deposition heat treatments on microstructure and tensile properties, <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2019.108157>

Microstructure, defects, and mechanical properties of wire + arc additively manufactured Al Cu4.3-Mg1.5 alloy, DOI: 10.1016/j.matdes.2019.108357

Investigation into the influence of the interlayer temperature on machinability and microstructure of additively manufactured Ti-6Al-4V, <https://doi.org/10.1007/s11740-023-01192-9>

Microstructure and Mechanical Properties of Wrought and Additive Manufactured Ti-6Al-4 V Cylindrical Bars, <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.07.037>

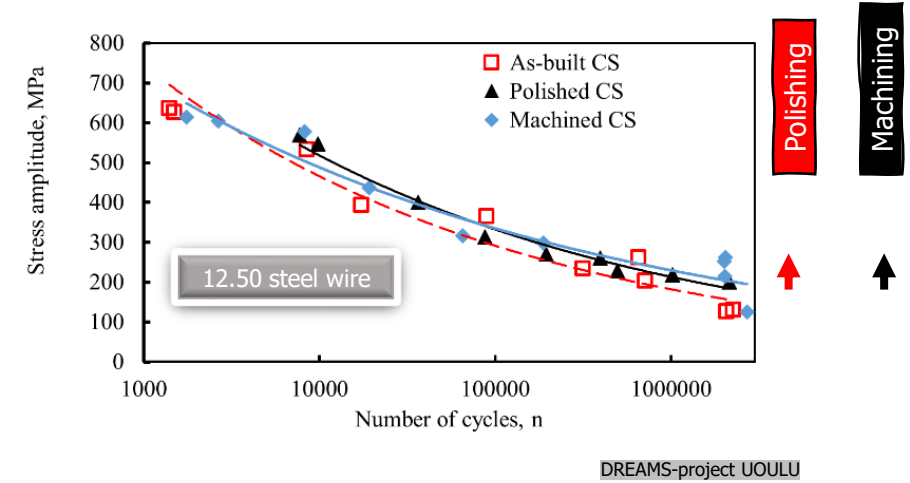
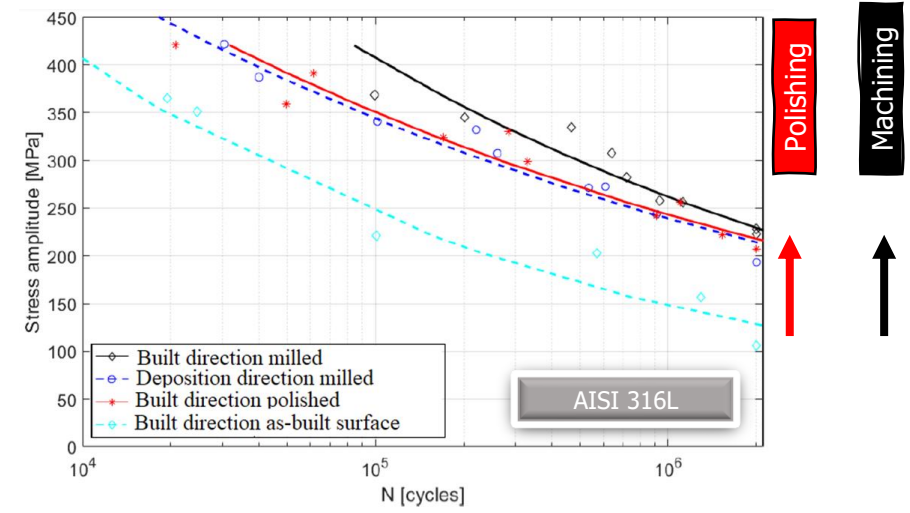
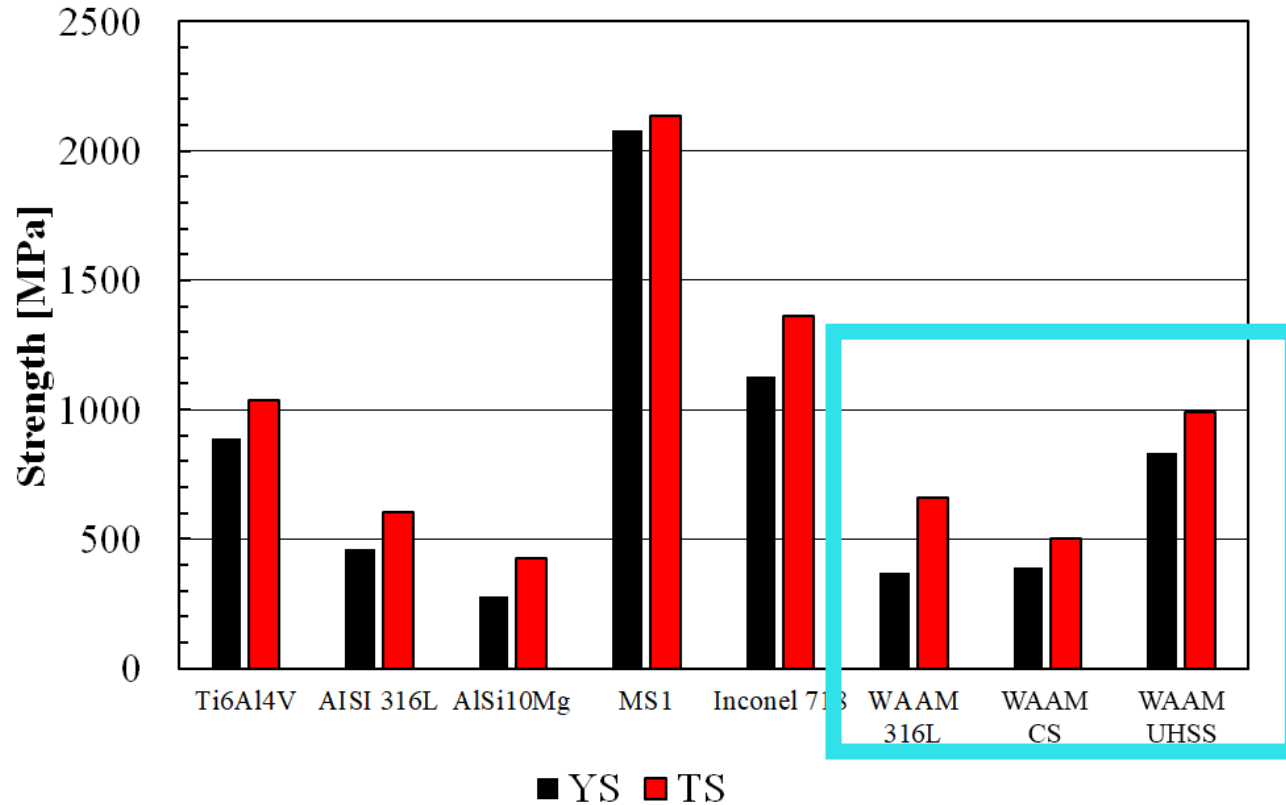
Mechanical properties and microstructure of AISI10Mg alloy obtained by casting and SLM technique



Euroopan unionin  
osarahoittama



# Materiaalit



Euroopan unionin osarahoittama



# Yhteenvetoa

- DED standardit ja oppaat – kannattaa tutustua!
- Yleisestä yksityiskohtiin ja takaisin
- Oikea määrä oikeaa materiaalia oikeaan paikkaan
- Tulostusalustan rooli osana kappaletta
  - Levy, napa, rakenne...
- Valmistusmenetelmän kyvykkyys
- Tarkat yksityiskohdat koneistamalla



Euroopan unionin  
osarahoittama







***KIITOS!***



**FMT**

**FUTURE MANUFACTURING  
TECHNOLOGIES**



**Contact Information:  
Development Manager Kari Mäntyjärvi  
040 084 3050  
[kari.mantjarvi@oulu.fi](mailto:kari.mantjarvi@oulu.fi)**