

# Suurten kappaleiden robotisoitu muovitulostus

## Haasteita ja mahdollisuuksia FGF- prosessin näkökulmasta

3D-tulostuksen yhteishanke (3DTY)

Antti Alonen, tki-asiantuntija, Savonia-ammattikorkeakoulu

**FMT –päivät 21-22.5.2025**



Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# Sisältö

- Yleistä FGF -prosessista
- Yleisiä haasteita ja mahdollisuuksia 3DTY -demonstraatiot
  - Kojelaudan tulostus -> haasteet ja ratkaisut
    - 45 asteen tulostus
  - Cajonin tulostus -> haasteet ja ratkaisut
    - Planar along curve, parametrimuokkaus



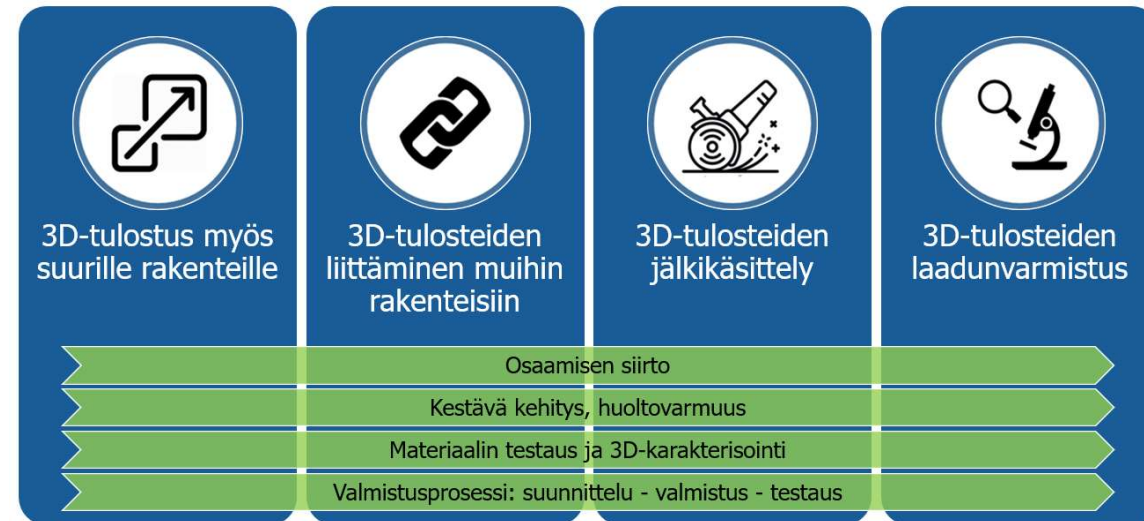
Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# 3D-tulostuksen yhteishanke (3DTY)

- Hankkeen www-sivut: [3dty.fi](http://3dty.fi)
- Toteutusaika: 1.8.2023 - 31.7.2026
- Rahoitusviranomainen: Etelä-Savon ELY-keskus



Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# Järjestelmän osat

FGF –prosessin komponentit

- Materiaalin syöttöyksikkö
- Kuivain
- Käsivarsirobotti
- Ekstruuderit
- Koneistuspää
- Tulostusalusta

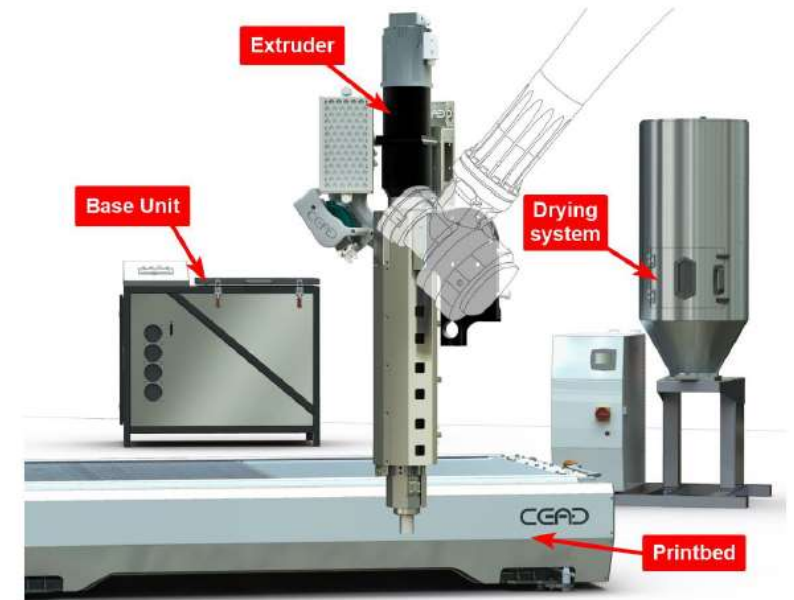
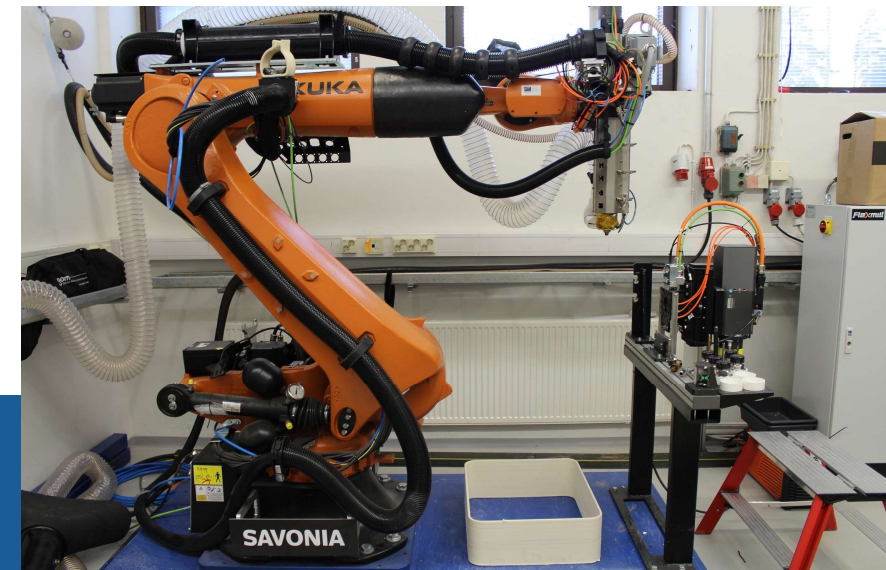
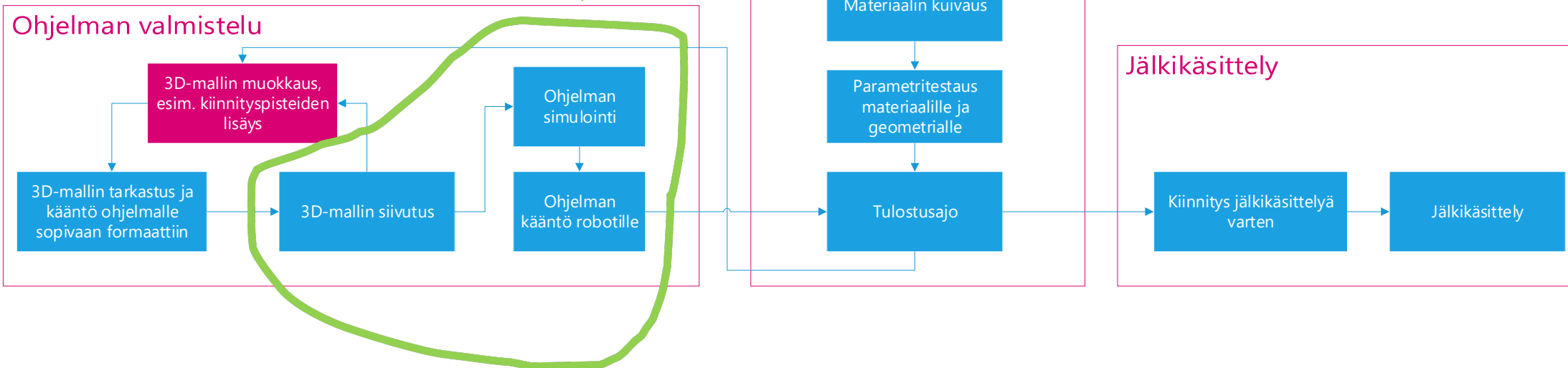


Figure 1: Example of the components of a Robot Extruder system



Euroopan unionin  
osarahoittama

# Yleistä FGF -prosessi



Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# Haasteita ja mahdollisuuksia

## Haasteita

1. Jatkuva tulostuspolku/prosessi
2. Kerrosten välinen tarttuvuus
3. Lämpötilan hallinta
4. Siivutustekniset haasteet
5. Overhang –rakenteet

## Mahdollisuuksia

- Ei-tasomainen tulostuspolku
  - Rakenteiden päälle tulostus (esim. muotit)
- Segmentoitu tulostus
  - Usean eri tulostusorientaation käyttö saman tulostusprosessin aikana.
- Nopea valmistusprosessi (kg/h)
- Hybridivalmistus (tulostus+koneistus)
- Komposiittimateriaalit
  - Materiaalikustannus vs filamentit



Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# Haasteet

## Jatkuva tulostusprosessi

### Haasteen kuvaus

- Viive pursotuksen käynnistämisessä ja pysäyttämässä, kun käytössä on suuri sulatusruuvi.
- Materiaalin syöttömäärä aloitus- ja lopetuspisteissä ei ole vakio, vaan ekstruuderin joko yli- tai alisyöttää materiaalia hieman.
- Aiheuttaa haasteita infill-rakenteissa joka tulee huomioida sekä suunnittelussa että tulostuksen valmistelussa.

### Mahdollisia ratkaisuja

- Tulostuspolun suunnittelu jatkuvan tulostuksen näkökulmasta.
- Pienissä ekstruudereissa ongelma ei ole paha johtuen pienestä suuttimesta ja materiaalin syöttönopeudesta.
- Tekniset ratkaisut
  - "meltbox", jolla hallitaan sulan syöttämistä ruuvin jälkeen.
    - tuovat prosessiin myös uusia rajoitteita.
- Joillakin valmistajilla on myös muita ratkaisuja.



# Haasteet

## Jatkuva tulostusprosessi

**Ei-jatkuva liikerata**



**Jatkuva liikerata**



Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# Haasteet

## Kerrosten välinen tarttuvuus & lämpötilan hallinta

### Haasteen kuvaus

- Kerrosten välinen tarttuvuus ei ole riittävän hyvä
- Taustalla olevia ongelmia mm.
  - geometrian ominaisuudet
    - Tulostuspolun pituus vaihtelee "kerroksittain"
    - kappaleen koko (tulostuspolun pituus → kerros ehtii jäähtyä liikaa)
  - avoin tulostustila (ympäristön lämpötila)
  - Segmentoitu tulostus ja/tai kylmä alempi kerros

### Mahdollisia ratkaisuja

- Lämpötilan tarkkailu ja hallinta
  - Lämpökamera + ohjaus
- Jäähdytyksen käyttäminen vain silloin, kun se on välttämätöntä
- Lisälaitteet
  - Lämmitys/jäähdytys -yksikkö
  - Tamppari



# Haasteet

## Kerrosten välinen tarttuvuus & lämpötilan hallinta



Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# Haasteet

## Siivutustekniset haasteet

### Haasteen kuvaus

- Siivutusohjelmissa on usein puutteita täydellisesti soveltuvan tulostuspolun luomiseksi.
- Haasteita on mm. terävissä piirteissä ja kaarevissa muodoissa, erityisesti silloin kun siivutusstrategia ei "seuraa ulkoreunoja".
- Tulostuspolun pistemäärän optimointi niin että piirteet säilyvät

### Mahdollisia ratkaisuja

- Ylipursotus ja robotin nopeuden säätö haastavissa kohdissa
- Tulostusradan korjaus käsin täyttämään kolot
- Aika parantaa haavat – ohjelmistot paranevat vuosi vuodelta.
- Jälkikäteen paikkailu – pienet korjaukset käsin voivat olla merkittävästi halvempia kuin tulostuspolun rakentaminen täydelliseksi.



Euroopan unionin  
osarahoittama

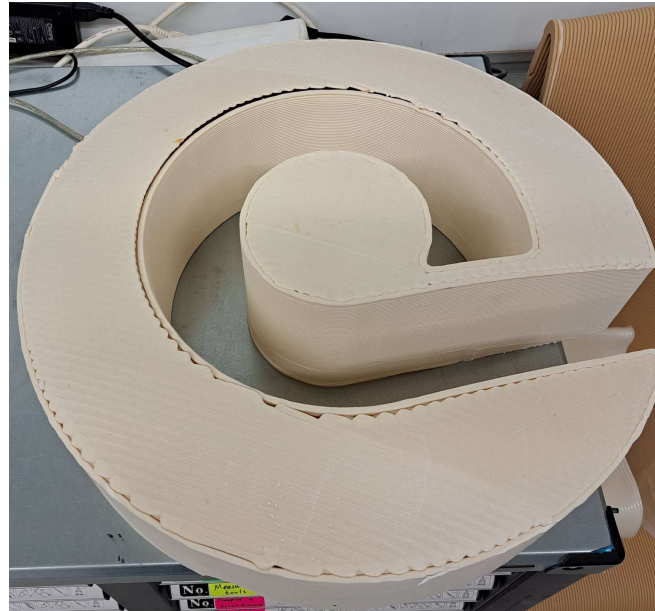
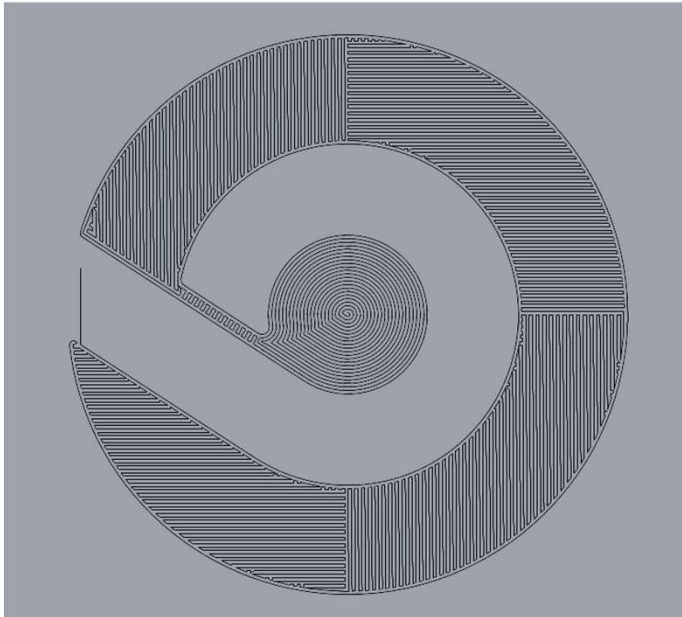
SAVONIA



# Haasteet

## Siivutustekniset haasteet

### Siivutus & tuloste



Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# Haasteet

## overhang -rakenteet

### Haasteen kuvaus

- "Tyhjän päälle" tulostettava rakenne tai alue, jossa seuraavan kerroksen tulostuspalko on liian vähän alemman kerroksen päällä.
- Joskus overhang -rakenteet eivät ole helposti havaittavissa
  - esim. loivat nousut
- Myös tulostusmateriaali ja tulostuslämpötila vaikuttavat

### Mahdollisia ratkaisuja

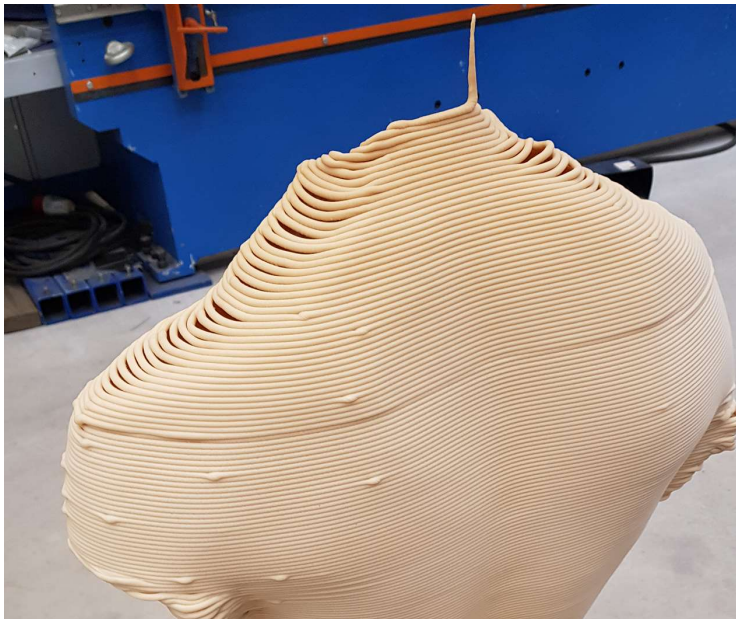
- Eri tulostusstrategioiden käyttö
  - Ei-tasomainen tulostusstrategia
- Tulostusparametrien säätäminen
  - Kerroskorkeuden vähentäminen
  - "Ylipursotus" valituilla alueilla
  - Robotin liikenopeuden hidastaminen
  - Jäähdytyksen käyttäminen
- Tulostuksen aikaiset tukirakenteet
- Tukimuotin käyttö



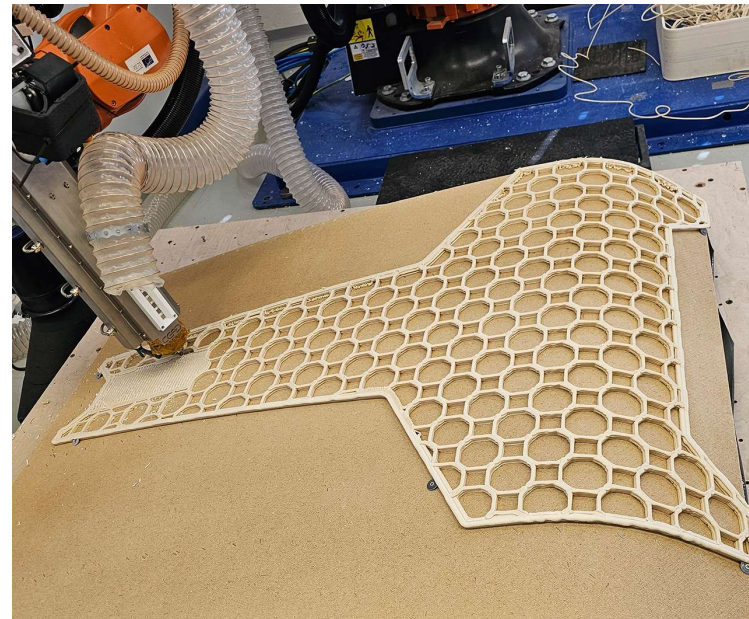
# Haasteet

## overhang -rakenteet

**Tyypillisesti loivat nousut**



**Muotin päälle tulostus**



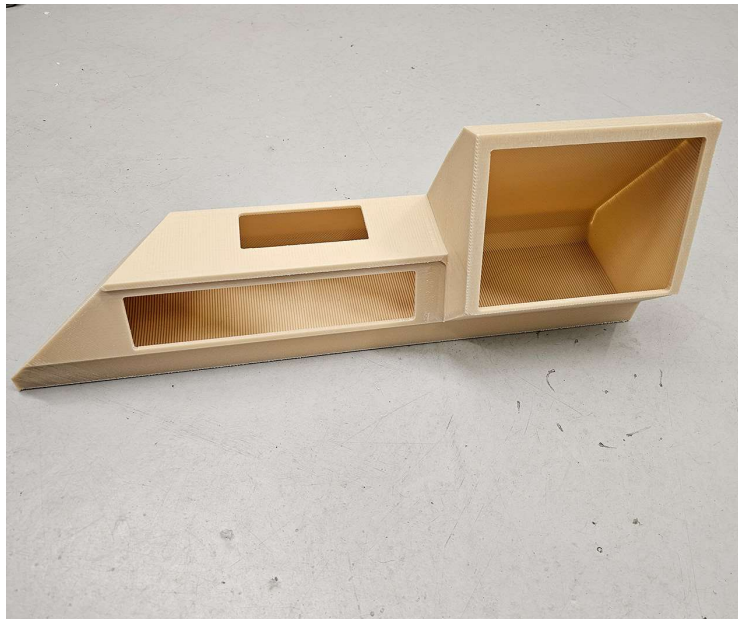
Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# 3DTY demonstraatiot

**Kojelauta**



**Cajon (4k)**



Euroopan unionin  
osarahoittama

**SAVONIA**



# Demonstratio: Kojelauta

## Speksit

- Ohjelmisto: Adaxis AdaOne
- Siivutus: 45 °
- Haasteet:
  - Geometriset haasteet
    - Tasainen, laaja overhang -alue
    - Tulostuspolun pituuden vaihtuminen
  - Lämmön kertyminen
  - Jälkikäsittelytarve

## Ratkaisut

- Siivutus 45 ° kulmassa
- Vakioitu kerrosaika siivutusohjelman kautta
  - Robotin liikenopeuden säätäminen kerrosajan perusteella
- Kerroslämpötilan seuranta ja jäähdytyksen optimointi
- Tulostuksen aikainen tukirakenne\*



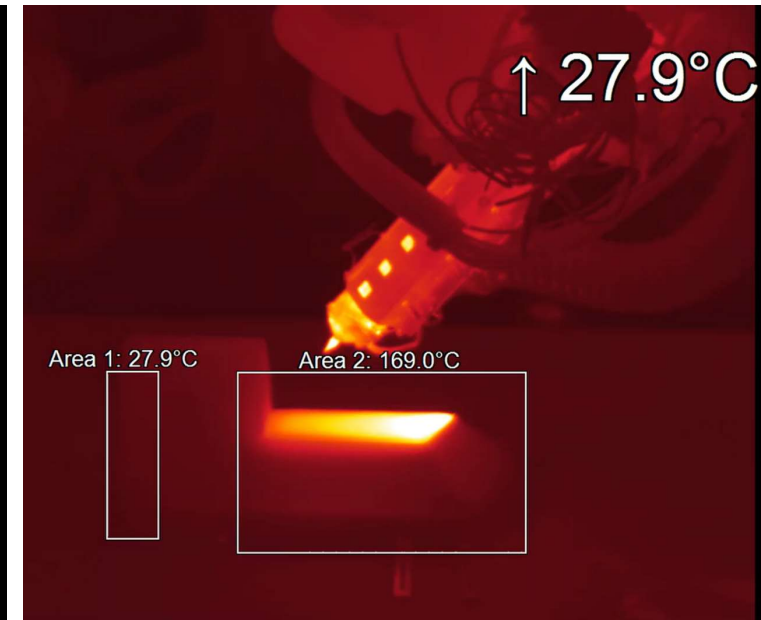
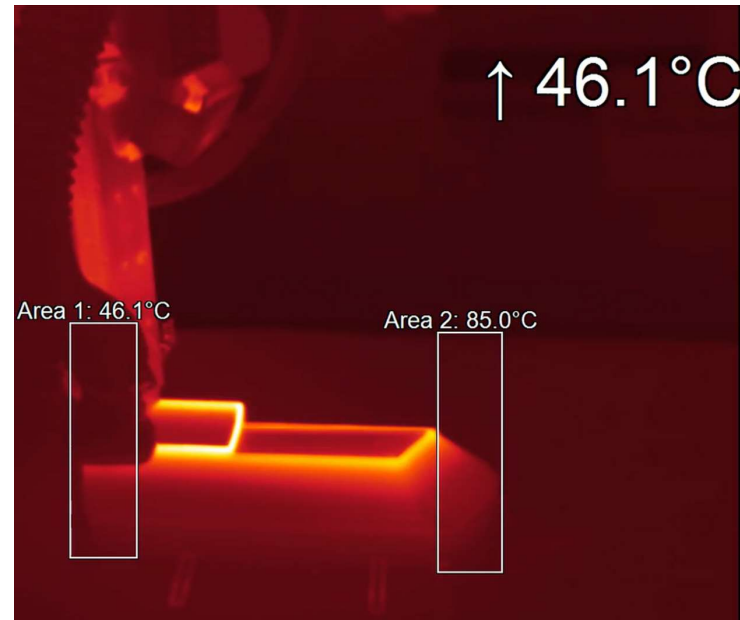
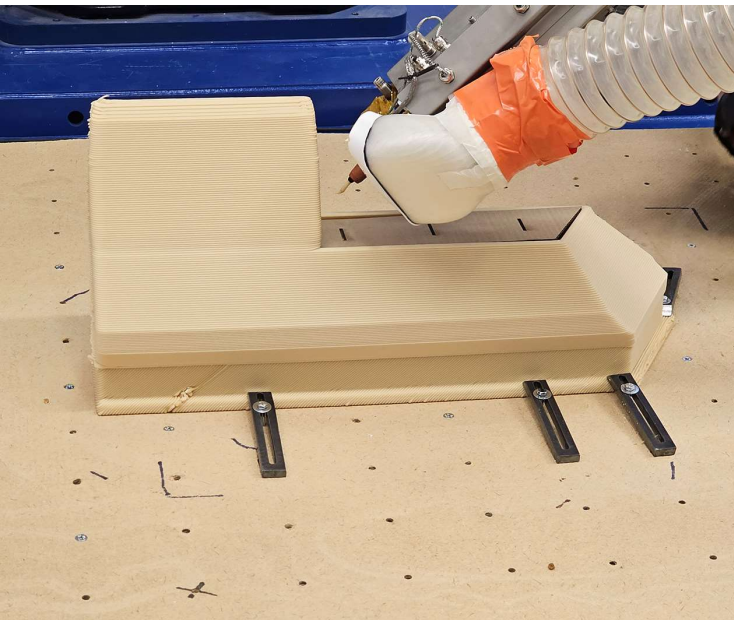
Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# Demonstratio: Kojelauta

## Testi: tulostuksen aikainen tukirakenne



Euroopan unionin  
osarahoittama

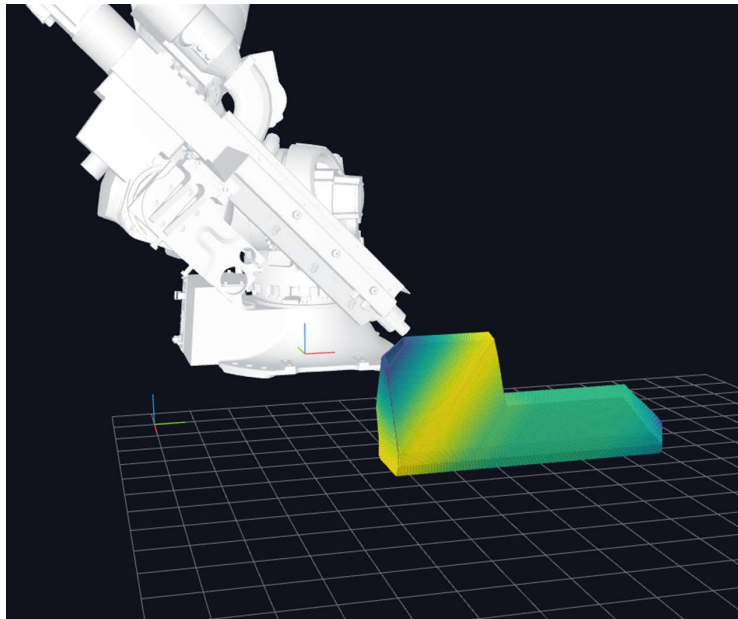
SAVONIA



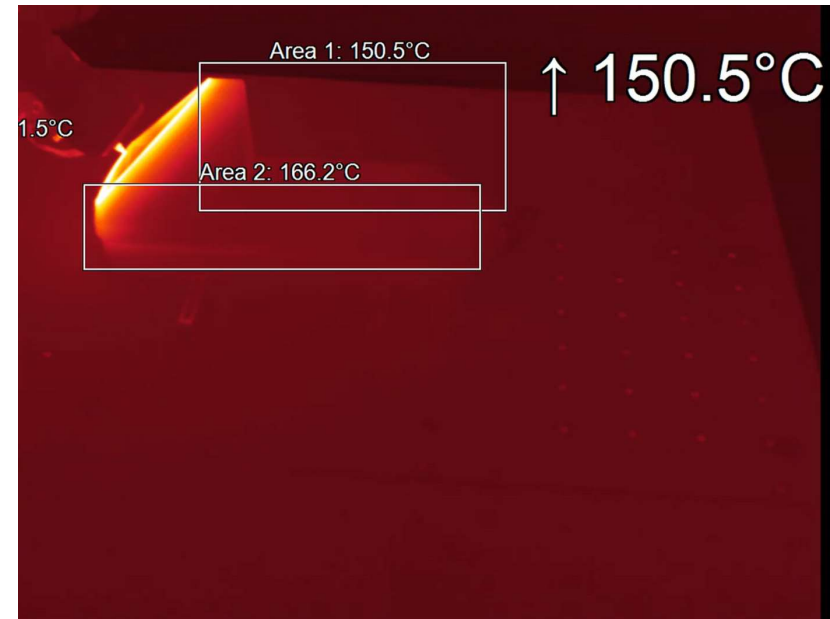
# Demonstraatio: Kojelauta

## Siivutus 45°

Siivutus 45 °



Lämpötilaseuranta



Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# Demonstraatio: Kojelauta

## Teollinen esimerkki (Formnext 2024)

- Simulaattorin kojelauta
- Paino: 35 kg
- Koko: 2100 x 820 x 500 mm.
- Kerroskorkeus: 1.5 mm
- Materiaali: rPetg + 30% GF
- Tulostusaika: 20 tuntia
- Läpimenoaika: 22 -> 5 päivää

Lähde: Caracol



Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# Demonstraatio: Cajon 4k

## Speksit

- Ohjelmisto: Adaxis AdaOne
- Siivutus: Planar along curve
- Haasteet:
  - Monimuotoinen rakenne, sisäiset kammiot
  - Overhang –rakenteet
  - Lämmön kertyminen

## Ratkaisut

- Tulostustason määrittäminen käyrän perusteella (Planar along curve)
- Bead overhang –alueiden (> 30%) kompensointi
  - Ylipursotus
  - Robotin liikenopeus
- Kerroslämpötilan seuranta ja jäähtymisen optimointi



Euroopan unionin  
osarahoittama

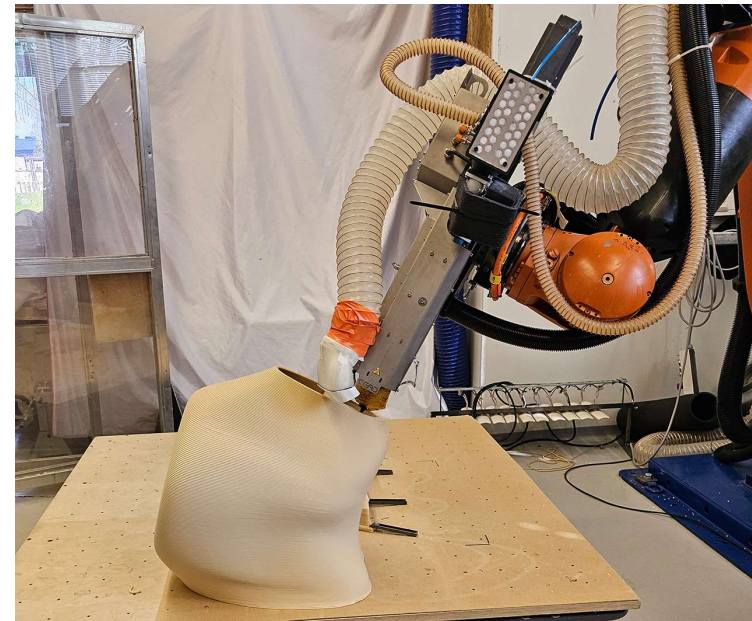
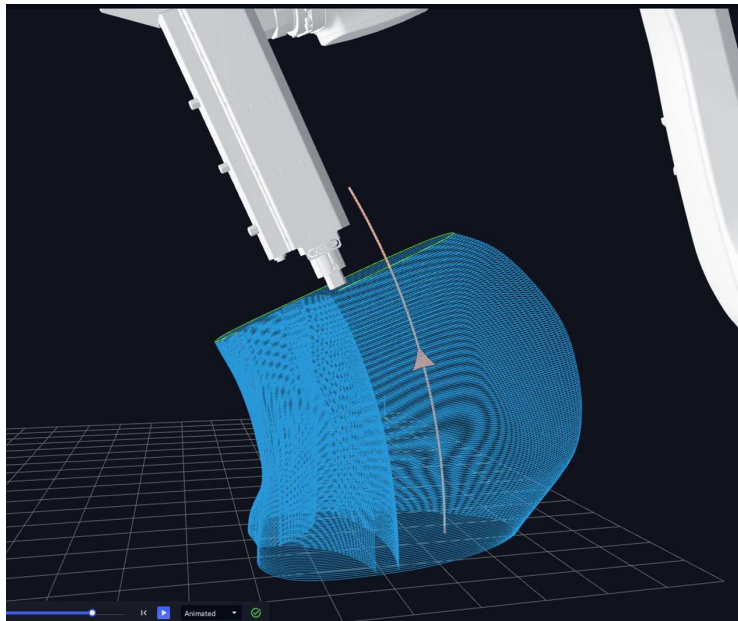
SAVONIA



# Demonstraatio: Cajon 4k

## Siivutustekniset haasteet

### Planar along curve



Euroopan unionin  
osarahoittama

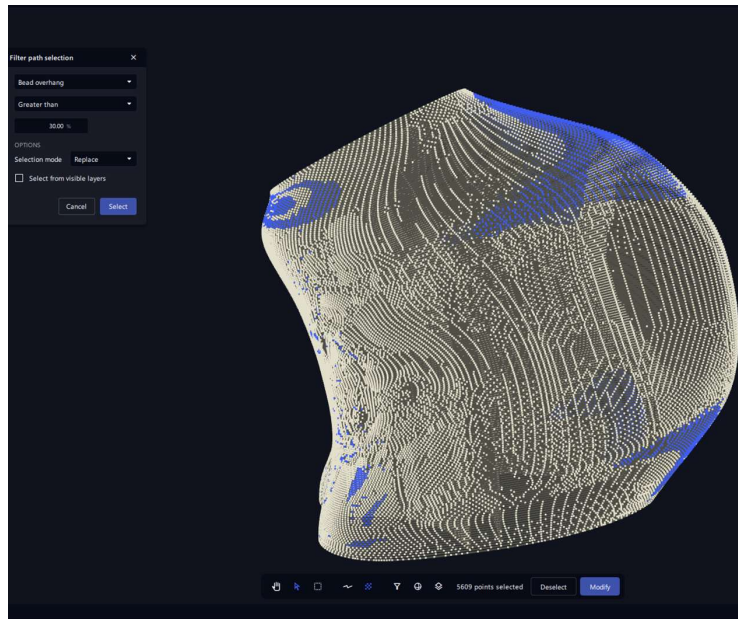
SAVONIA



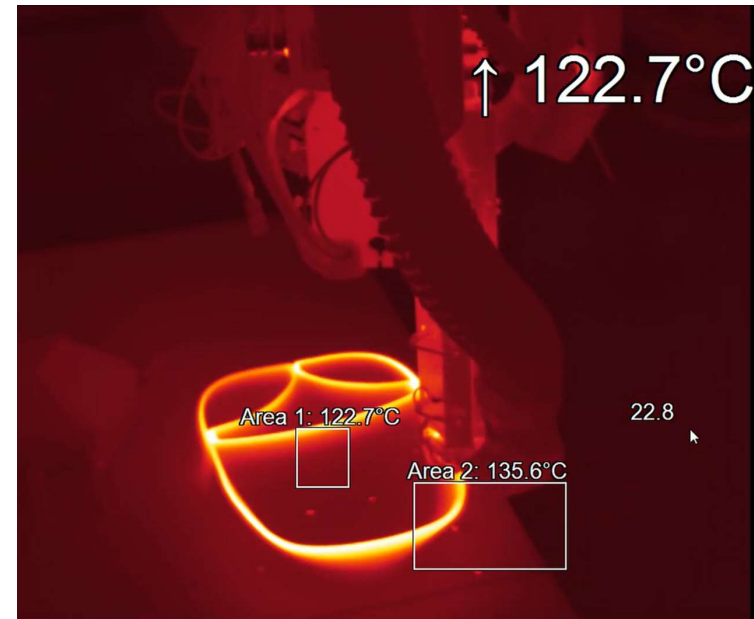
# Demonstratio: Cajon 4k

## Siivutustekniset haasteet

### Overhang –alueiden kompensointi



### Kerroslämpötilan seuranta



Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA



# Kiitoksia mielenkiinnosta!

- Yhteystiedot
  - Antti Alonen  
tki-asiantuntija, 3D-tulostus  
antti.alonen@savonia.fi  
Savonia-ammattikorkeakoulu
  - 3DTY –hanke
    - [www.3dty.fi](http://www.3dty.fi)



Euroopan unionin  
osarahoittama

SAVONIA

