

Veneen 3D- tulostusdemonstratio ja robottitulostusmateriaalien testausta TAMKilla

Anne Seppälä ja Tero Haapakoski

11.12.2025

3DTY Muoviwebinaari



Euroopan unionin
osarahoittama





Euroopan unionin
osarahoittama



FGF-ABB Robottiasema

- Robotti IRB4600/45-2,55
- Rata IRBT2005 5m
- Extruder CEAD E25
- Automaattinen granulaattien syöttö
- ABB IOT Gateway – OPC-UA Datakeräys Fiware
- Tulostusalusta 2 x 6m, koostuu lavaelementeistä



Euroopan unionin
osarahoittama





Kuva: Paavo Pietola, Head of Design – paavo@dear-experiences.com



Euroopan unionin
osarahoittama



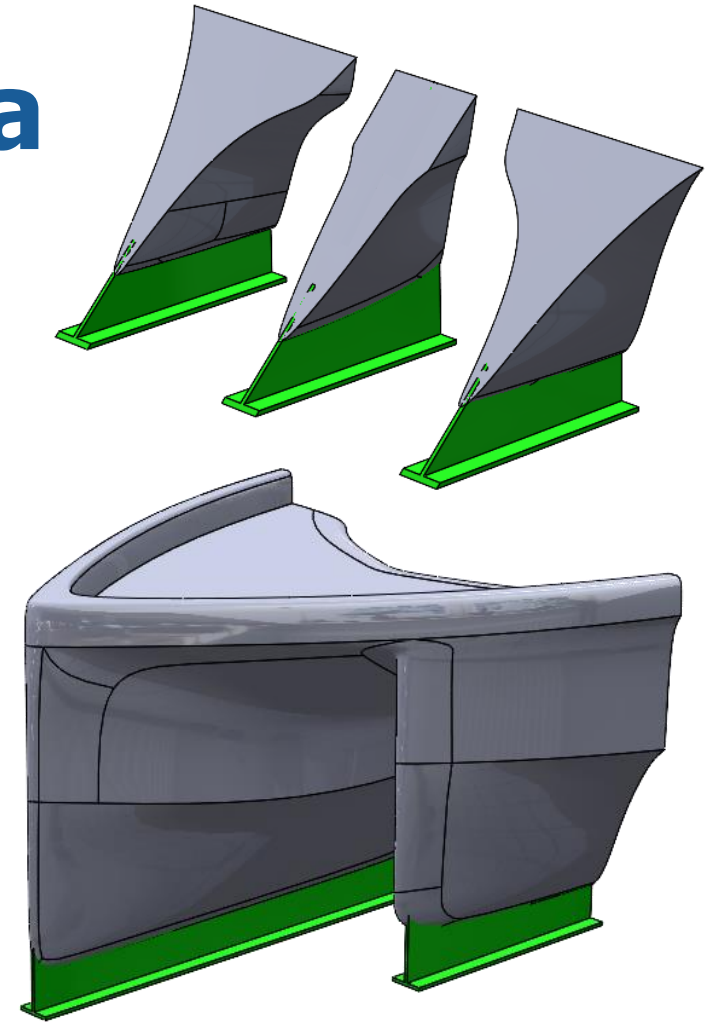
Tulostusalustan testit

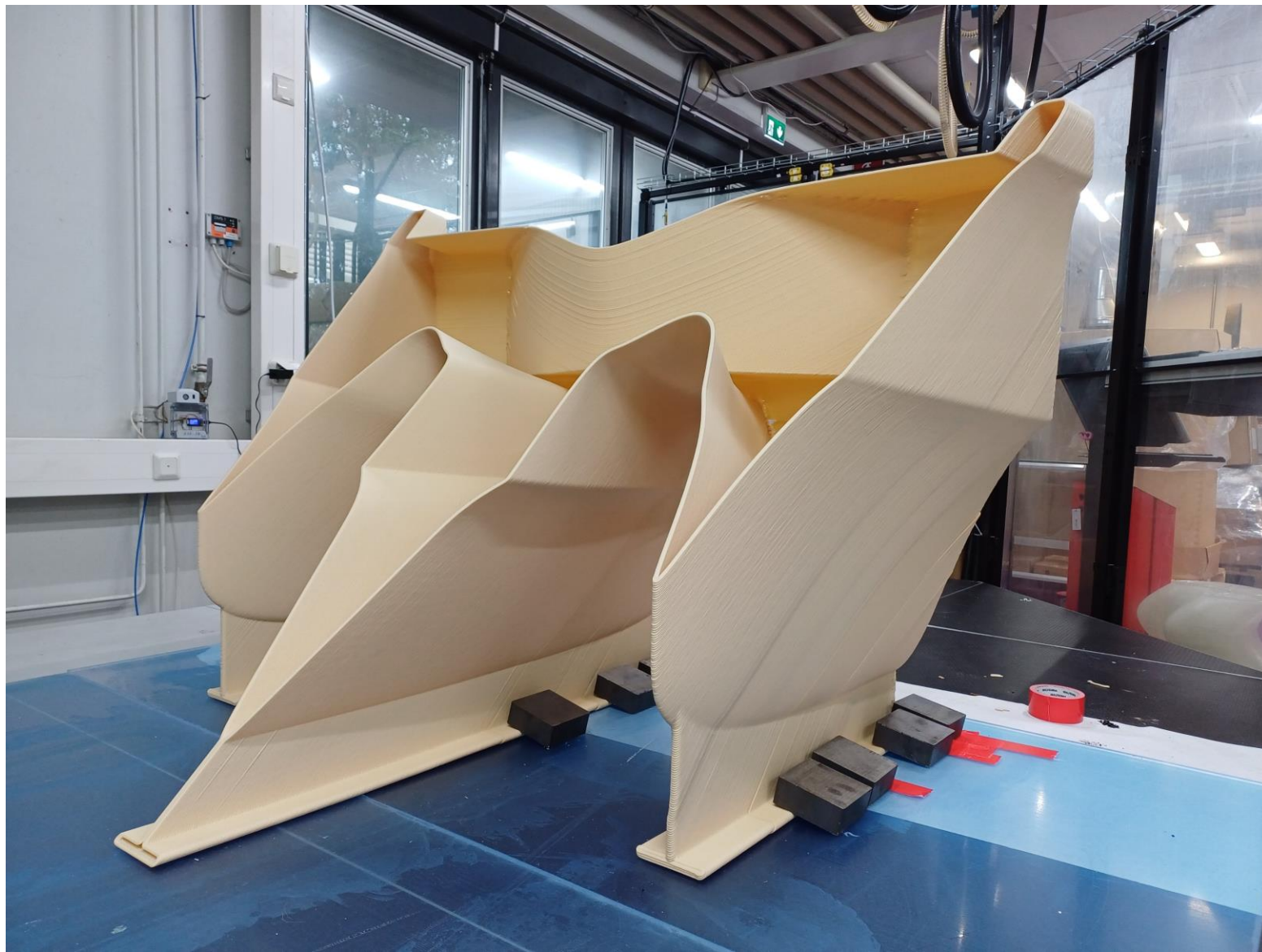
- Vanha tulostusalusta oli 2m x 1m, lämmitetty 10mm alumiini+6mm lasilevy.
- Uuden alustan vanerin pinta osoittautui haastavaksi, tulosteet eivät tarttuneet siihen kunnolla.
- Alustan päälle hankittiin akryylilevyt.
- Isot ja painavat tulosteet onnistuvat parhaiten vesi – PVA-liima –seoksen päälle (PVA-liiman osuus noin 2/3).
- Pienille tulosteille ja testeille riittää maalarinteippi.



Demonstraatio: veneen kokka

- Geometria on veneen kokka ja koostuu quatromaraanin kolmesta rungosta
- Tulostuksen alussa on kolme erillistä geometriaa, jolloin joudutaan tekemään siirtymiä pursottamatta materiaalia
- Geometriat yhdistyvät tietyllä tasolla ja loppuosa geometriasta on spiraali- / vaasiajoa





Euroopan unionin
osarahoittama



Ensimmäinen kokeilu: veneen kokka

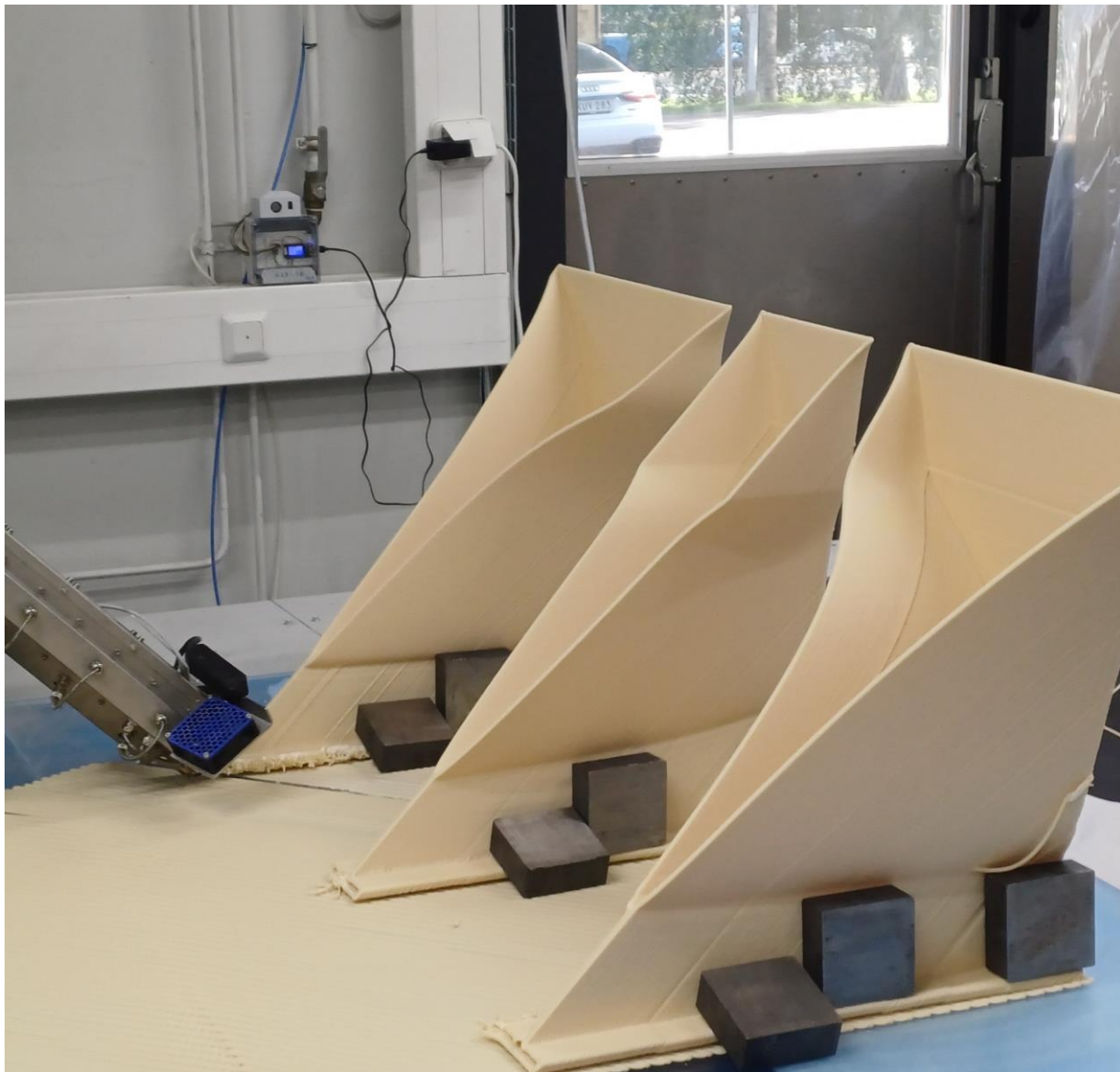
- Laitteisto: 5m radalla varustettu ABB:n IRB 4600-robotti ja CEAD E25-ekstruuder
- Siivutus ja simulointi: Adaxis+Robotstudio
- Materiaali: KCL Formi® 3D PLA20 (*former UPM Formi 3D20/19*)
- Lämpötilat: 205 – 195 – 185 – 175 [°C]
- PVA-liima – vesiseos.
- Tulostettuun kappaleeseen jäi reikiä.



Toinen kokeilu

- Tulostuksen aloituskohtia muutettiin tähän versioon reikien poistamiseksi. Kerroksen vaihtumiskohta on nyt pöydän pinnassa jalkojen alla.
- Kerrosleveys 6mm ja korkeus 2mm
- Aloituksessa nopeus 50 %. kerroksella 140 nopeus 80 %. Tavoiteltu kerrosaikaa 70–75 s.
- Layerilla 200 nopeus oli 90 %. kokon tulostus lopetettiin kerroksella 210, kun kolme muotoa olivat yhdistymässä
- Suutin osui ensimmäiseen jalkaan ja kaatoi sen.
- Mittauksissa todettiin, että robotin rataa ei ole vaaittu asennettaessa.
- Reikien puolesta laatu parani.



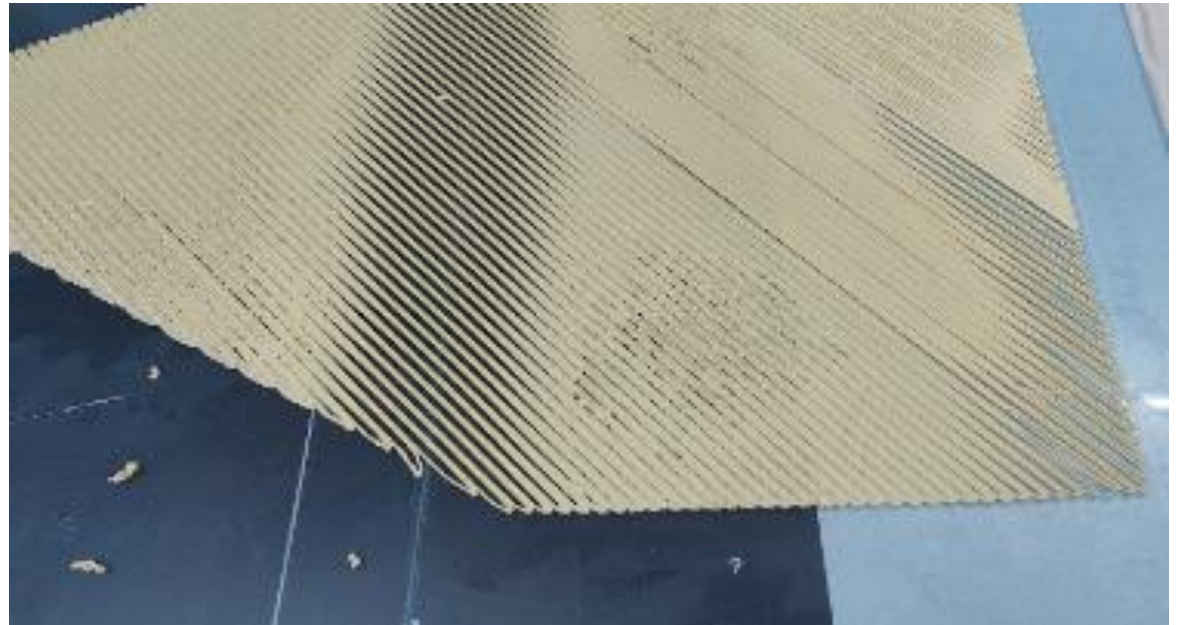


Euroopan unionin
osarahoittama



Kolmas kokeilu

- Kokan ajo muutettiin kokonaan spiraaliksi. Suutin ei siis enää tee ylöspäin suuntautuvaa liikettä jokaisen kolmen muodon alussa.
- Tartuntakerros ei onnistunut pöydän/radan epätasaisuuden vuoksi.



Neljäs kokeilu

- Tulostusrata tehtiin kahdessa erillisessä osassa. Alaosassa kerrokset tehtiin perinteisesti ja yläosassa kierrokset olivat spiraaleja.
- Pöydän työkohdekoordinaatiston Z-koordinaattia nostettiin 2 mm
- Todettiin myös, että akryylilevy alkaa taipua lämmöntonniasta
- Tartuntakerros ajettiin vaihtelemalla korkeutta manuaalisesti tavoitteena saada siitä mahdollisimman tasainen.
- Tulostus epäonnistui taas kerroksella 211, kun kolme muotoa olivat yhdistymässä. Suutin kaatoi yhden muodoista yrittäessään ajaa niitä yhteen.



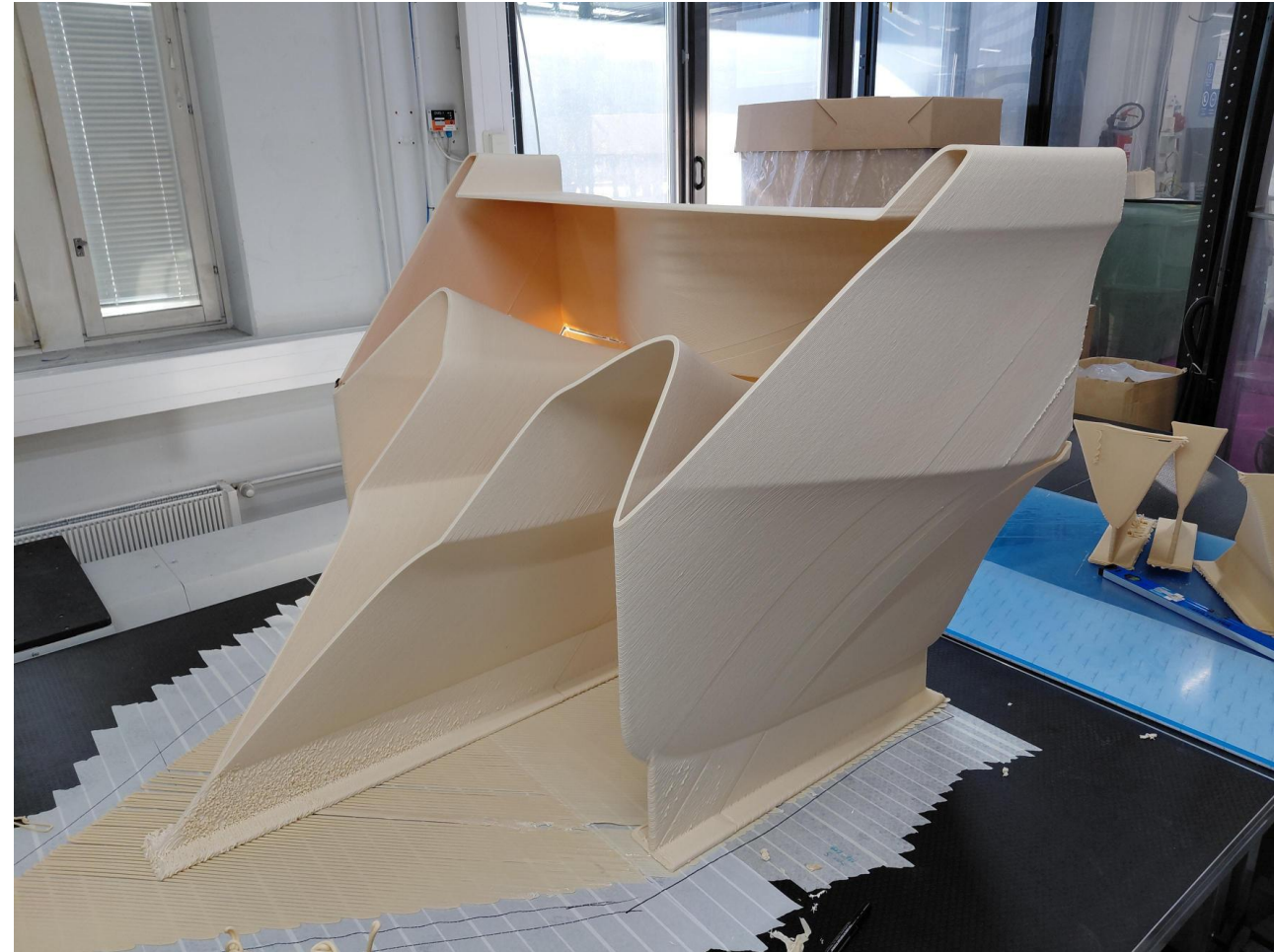
Viides kokeilu

- RobotStudion avulla etsittiin robotin radalta piste, josta robotti yltäisi ajamaan koko keulapalan liikkumatta radalla ollenkaan.
- Akryylilevyt poistettiin.
- Tartuntaa parannettiin kerroksella maalarinteippiä.
- Alustan lavaelementit pyrittiin säätämään niin, että suuttimen etäisyys pöydästä pysyisi mahdollisimman tasaisena koko tulostusalueella.
- Robotin nopeutta ja kerroksen korkeutta säädettiin ajon aikana sen mukaisesti, miten syöttöä silmämääräisesti piti muokata.



Viides kokeilu

kerros	muutos
1	layerkorkeus = 4, nopeus 35%
5	layerkorkeus = 3, nopeus 50%
83	nopeus 60 %
113	nopeus 70 %
157	nopeus 75 %
184	nopeus 80 %
210	layerkorkeus 4, nopeus 30 %, layerkorkeus takaseinässä 5
tässä kohtaa ohjelma vaihtui (keula_ala -> keula_ylä) eli kerrokset alkavat taas alusta	
7	nopeus 50 %, layer_korkeus 4 (koko ajan)
13	nopeus 65 %
24	nopeus 70 %



Euroopan unionin
osarahoittama



Viides kokeilu

- Ongelmia ilmeni takaseinässä ohjelman vaihdon kohdalla, kun robotti ajoi ensimmäisen kerran koko geometrian läpi.
- Suutin näyttää olleen vaihtokohdassa liian korkealla, eikä uusi kerros ole jäänyt kiinni aikaisempaan kerrokseen.
- Myös ylipursotusta ilmeni.



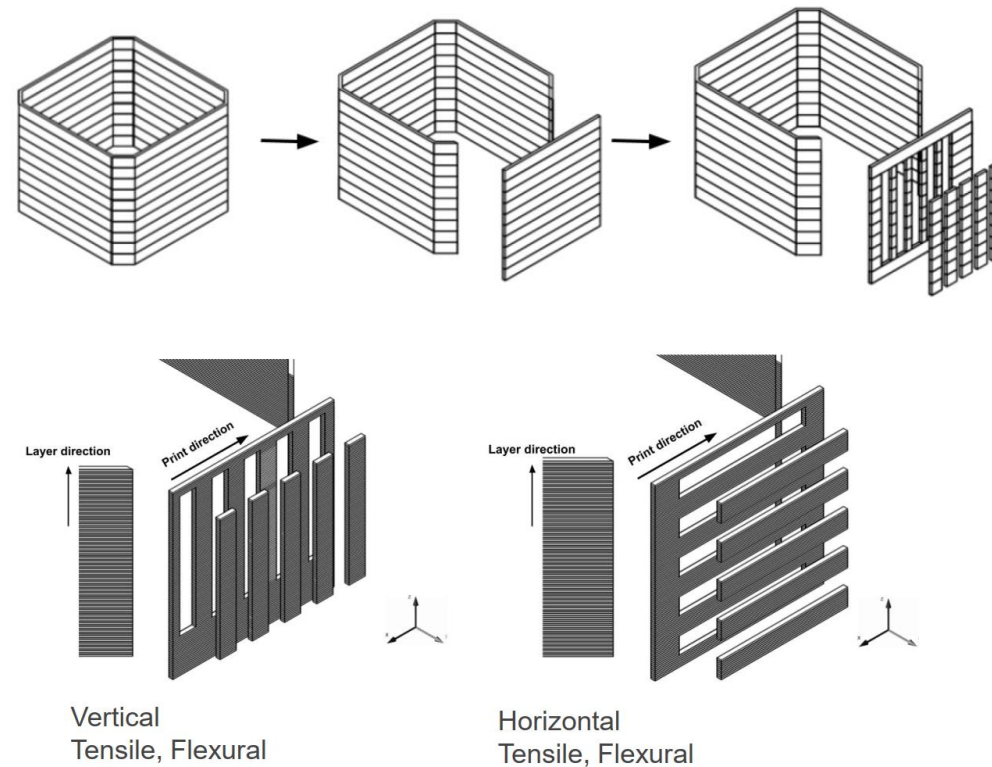
Jatkosuunnitelmat

- Rovaniemellä REDU on tehnyt myös tulostuskokeiluja veneen keulapalalla
- Molempien toteuttajien testien perusteella on suunniteltu seuraavia jatkotoimenpiteitä :
 - TAMKin FGF-tulostusympäristö ollaan siirtämässä uuteen paikkaan. Samalla varmistetaan kunnollinen vaaitus koko ympäristölle
 - Materiaali vaihdetaan lujempaan: esim. KCL Formi® 3D PLA10 -materiaalilla kerrosten välinen adheesio on kaksin-kolminkertainen tässä demossa käytettyyn materiaaliin verrattuna
 - Materiaalitestejä jatketaan
 - Mallin teräviä kulmia muokataan tulostusystävällisemmiksi
 - Seinämäpaksuutta tarkastellaan uudelleen



Materiaalitestit

Vetokokeita varten tulostettiin laatikon muotoisia tulosteita, joista vetokokeiden ja iskulujuuskokeiden sauvat leikattiin irti.



Euroopan unionin
osarahoittama



Materiaalitestit

- Ongelmana tasalevyisissä koesauvoissa on se, että suurempien lujuuksien testeissä vetokoesauva murtui välillä vetokoneen puristimen kohdalta, mitä ei saisi tapahtua. Pienempien lujuuksien sauvat katkesivat ”oikeaoppisesti” keskeltä.
- ”Koiranluun” muotoinen vetokoesauva toimisi paremmin, sillä se vähentäisi riskiä puristimen kohdalta murtumiseen.
- Toisaalta eroa ei vetolujuuden tuloksissa havaittu oli sauva katkennut keskeltä tai puristimen kohdalta. Tulokset olivat hyvin tasaisia saman sarjan koesauvojen välillä.



Materiaalitestit

- Vetokokeet tehtiin Lloyd Instruments LR10K aineenkoestuskoneella
- Näytekoko oli 5 kpl per koesarja
- Testisauvojen mitat: 20 x 170 mm
- Vetonopeus 10 mm/min
- Vetonopeus kannattaa pitää samana eri toimijoiden kesken: Tutkimusten mukaan 3D-tulostettujen muovisauvojen jännitysten arvot muuttuvat vetonopeuden muuttuessa. Useimmissa tutkimuksissa lujuus kasvoi vetonopeuden kasvaessa.



Materiaalitestit

- Kokeisiin on valittu silmämääräisesti mahdollisimman hyvänlaatuisia tulosteita, mutta esimerkiksi käytetyt tulostusnopeudet ovat vaihdelleet. Nopeudella, kuten muillakin tulostusparametreilla, on merkitystä kerrosten väliseen adheesioon ja sitä kautta lujuuteen.
- Optimaaliset tulostusparametrit ovat erilaiset eri materiaaleille. Materiaalien keskinäistä vertailua olisi hyvä tehdä siten, että jokaisesta materiaalista tulostaisi testikappaleet parhaimmilla mahdollisilla tulostusparametreilla.
- Yhdellä testatuista materiaaleista on tehty systemaattisempi testisarja kolmella eri muuttujalla: nopeus, lämpötila ja kerrospituus.



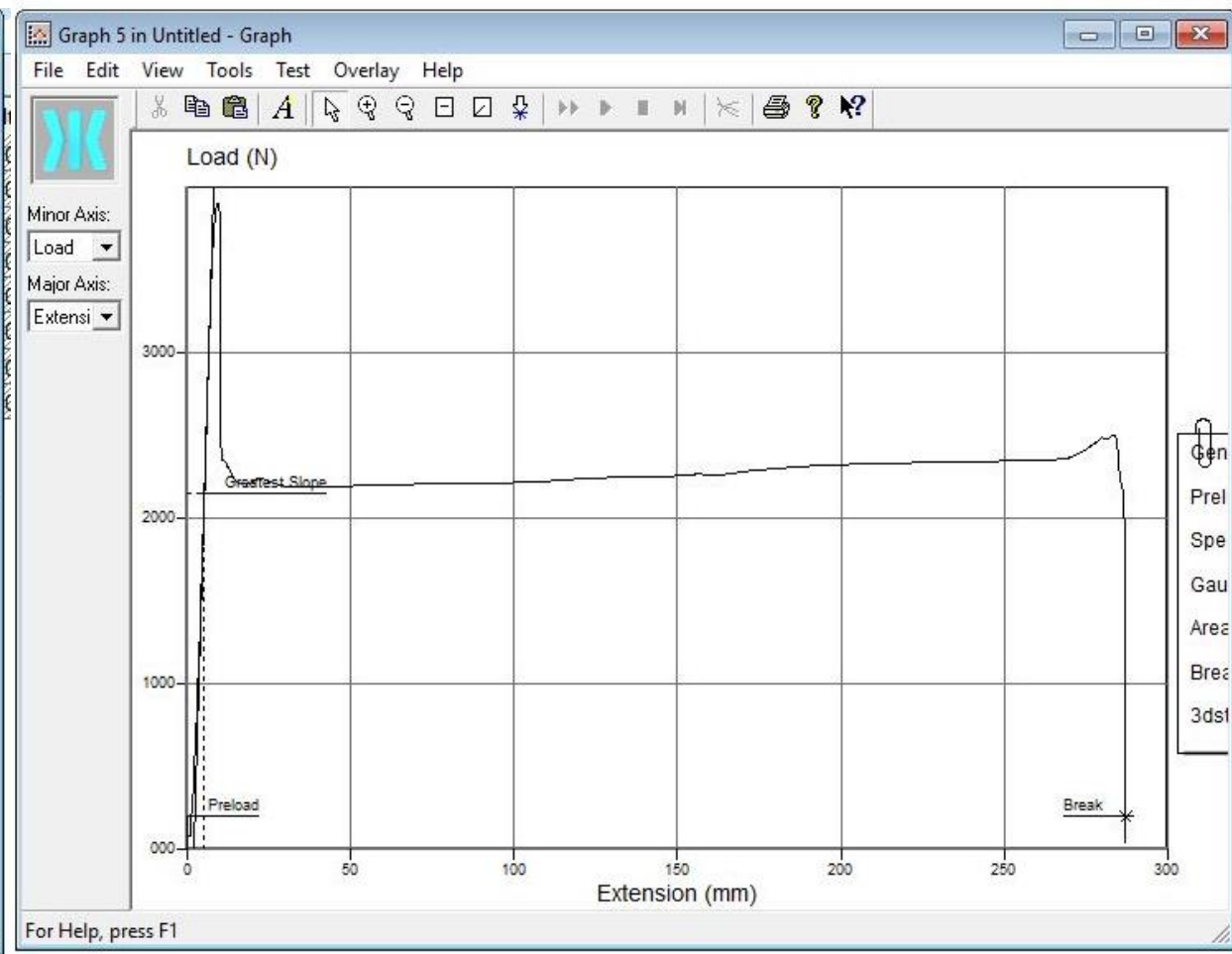
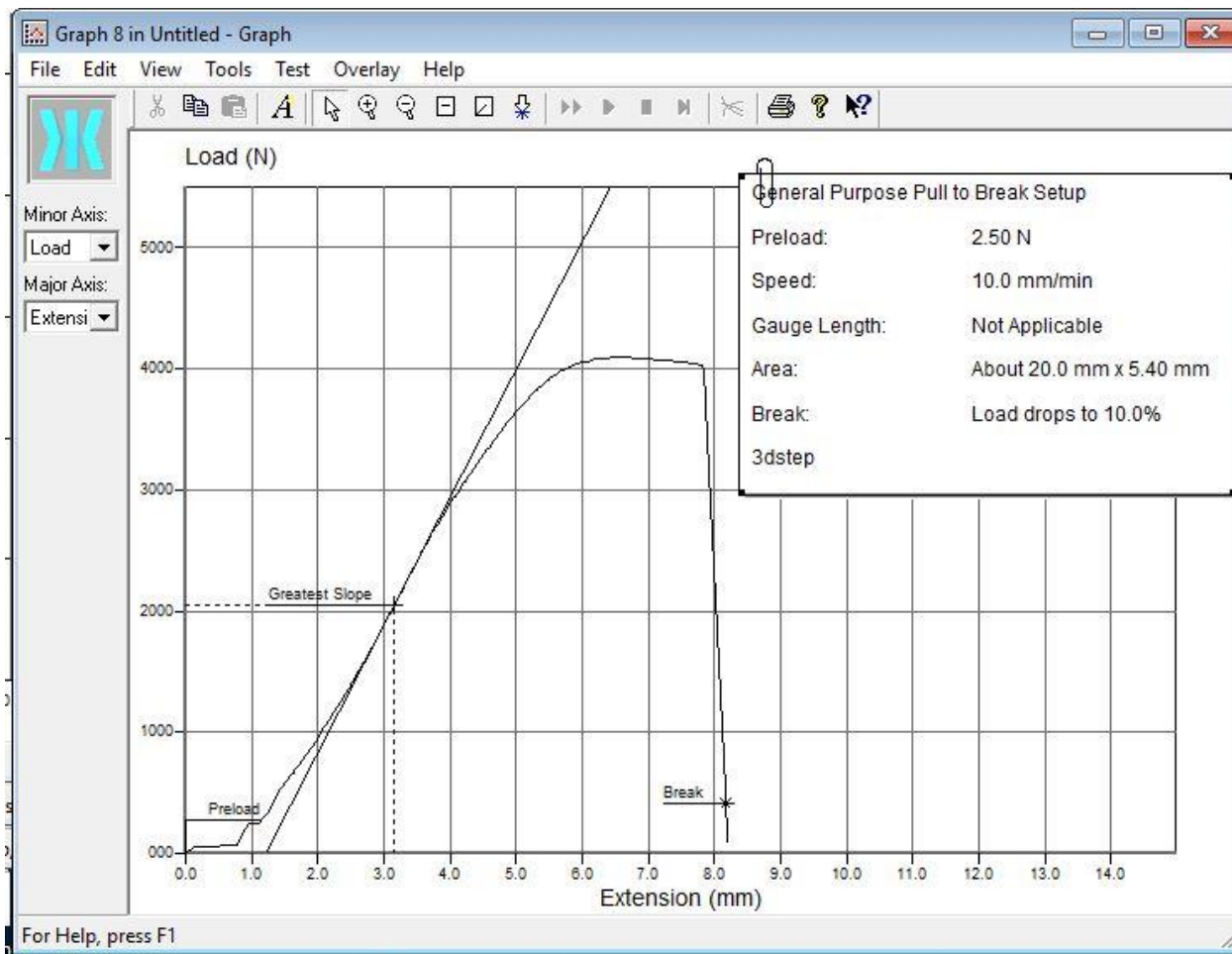
Materiaalitestit / Tulokset

Materiaali	Maksimijännitys / keskiarvo / vertical / MPa	Maksimijännitys / keskiarvo / horizontal / MPa
KCL Formi® 3D PLA20 (4,5 mm seinämävahvuus)	6,6	25,7
KCL Formi® 3D PLA10 (4,7 mm seinämävahvuus)	16,5	40,3
KCL Formi® 3D rPETG (4,7 mm seinämävahvuus)	17,8	41,6
PLA 10 (modifioitu) (5,4 mm seinämävahvuus)	17,9	38,3



KCL Formi® 3D PLA10

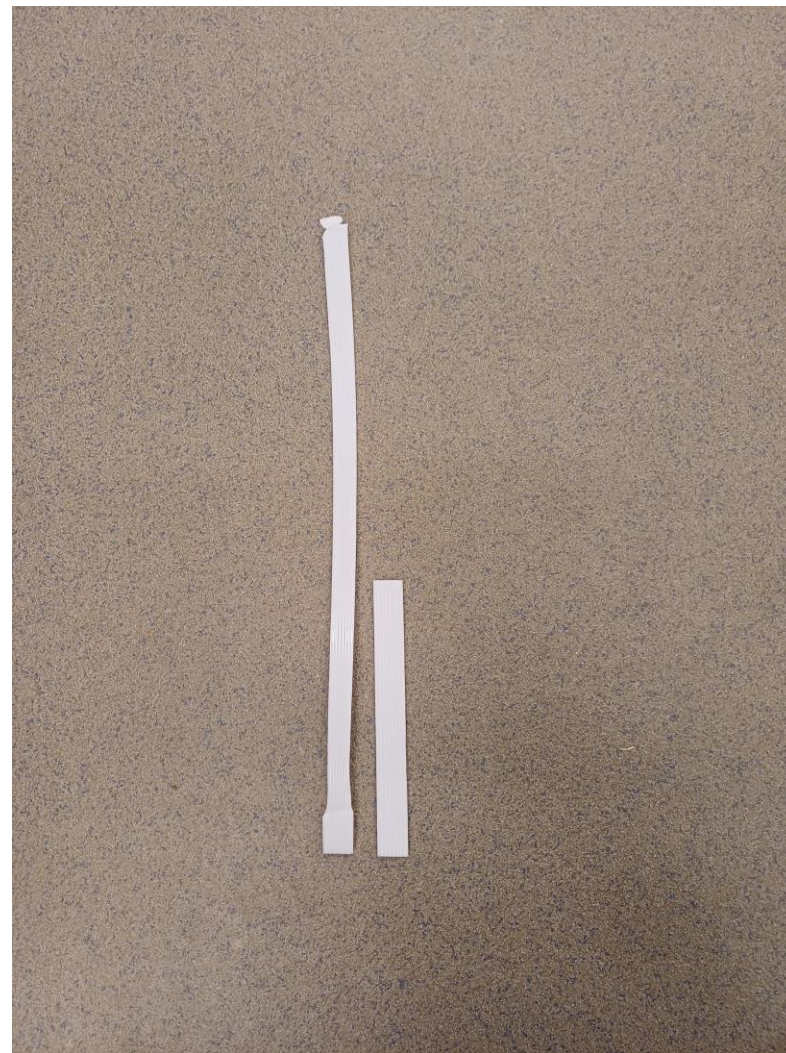
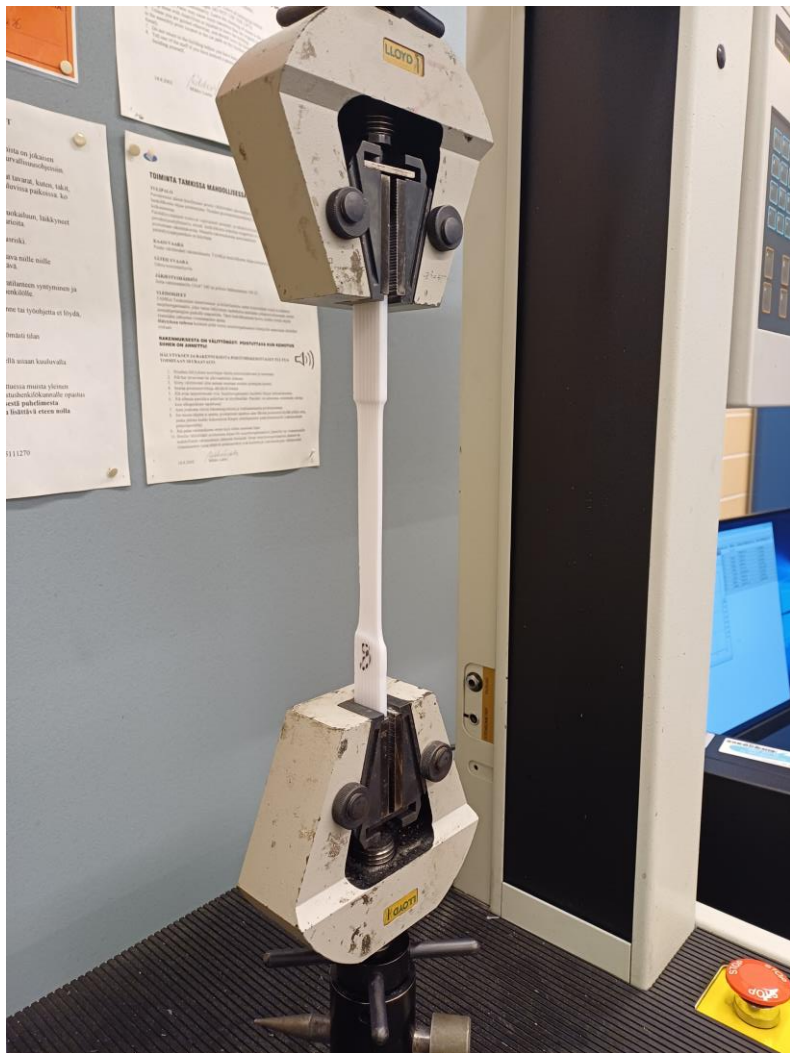
KCL Formi® 3D rPETG



Euroopan unionin
osarahoittama



KCL Formi® 3D rPETG



Euroopan unionin
osarahoittama



Materiaalitestit / Alustavat tulokset / DOE / KCL Formi® 3D PLA20

Lämpötila [°C]	Nopeus [mm/s]	Kerrospituus [mm]	Maksimijännitys / keskiarvo / vertical / MPa	Maksimijännitys / keskiarvo / horizontal / MPa
190	20	1500	*)	24,1
210	20	1500	4,1	22,9
190	50	1500	5,3	26,9
210	50	1500	6,6	25,7

*) niin huono kerrosten välinen adheesio, että ei saatu näytteitä kiinnitettyä vetokoneen tarttujiin ehjänä -> ei mittaustuloksia



Materiaalitestit / Alustavat iskulujuustestit



- ISO 179-1 standardi
- Charpy
- ZwickRoell HIT25P – iskulujuuslaite
- Loveamattomat näytteet



Euroopan unionin
osarahoittama

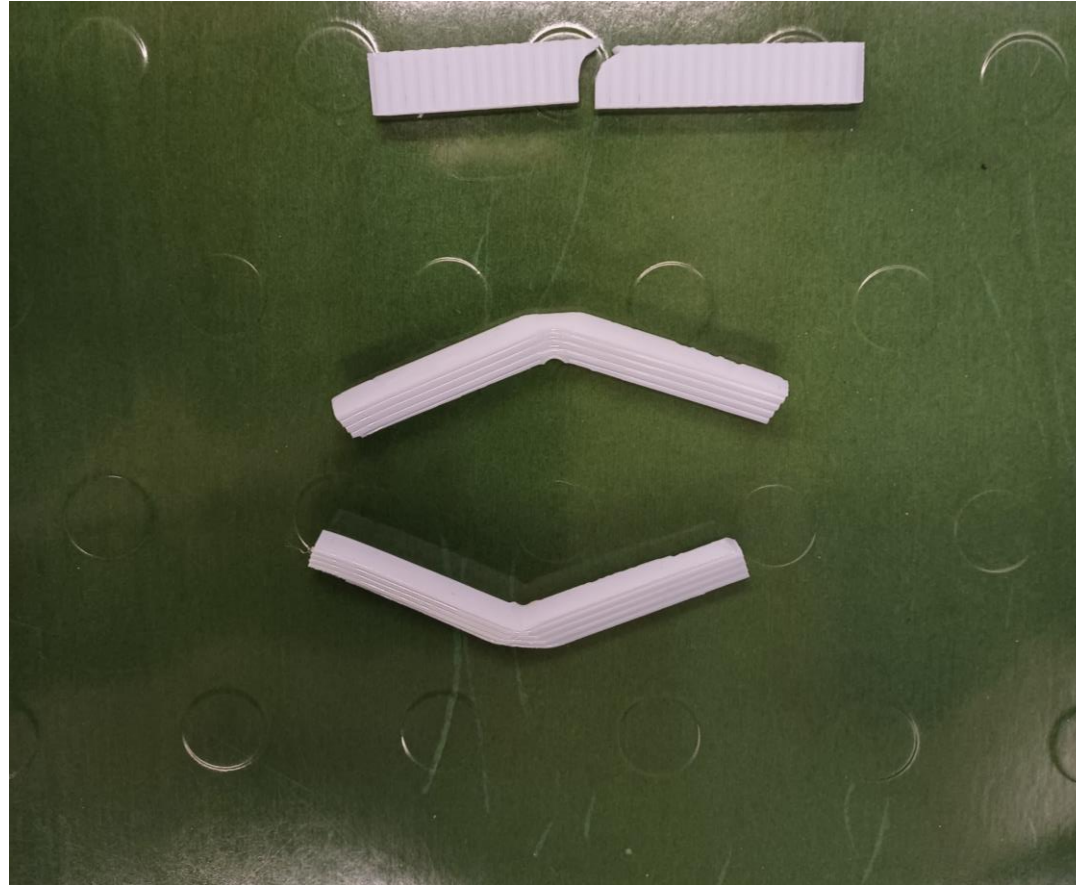


Materiaalitestit / Alustavat iskulujuustestit

	PETG	PETG -22°C	Modifioitu PLA 10	Modifioitu PLA 10 -22°C
Vertical: kJ/m ²	3,0	3,0	4,7	4,1
Horizontal: kJ/m ²	>25 J NB	>25 J NB	17	22,8



Materiaalitestit / Alustavat iskulujuustestit



Euroopan unionin
osarahoittama

