



**VTT**

**MATINE Hybridinanokomposiittien  
3D-tulostus häiveratkaisuihin**

**3xDPRINT**  
**Tutkimusseminaari 16.11.2023**

13/11/2023 VTT – beyond the obvious

# Esityksen sisältö

1. Projektin perustiedot
2. Tausta ja lähtökohdat
3. Tutkimuskysymys
4. Tavoitteet
5. Toteutus ja tulokset
6. Yhteenveto

# Projektin perustiedot

Tutkimushanke: Hybridinanokomposiittien 3D- tulostus häiveratkaisuihin

Lyhytnimi: 3xDPRINT

Tutkimussopimuksen projektikoodi: 2500M-0143

Projekti on kaksivuotinen alkaen 1.2.2022 ja päättyen 30.11.2023

Rahoitus: MATINE 144044 €, VTT 49050 €, yht. **193094 €**

## Ohjausryhmä:

Kati Vuorenvirta (PLM)

Satu Mustalahti (PVTUTKL)

Tomi Lindroos (VTT)

Pertti Lintunen (VTT) sihteeri

## Projektiryhmä

Pertti Lintunen

Tomi Lindroos

Timo Kinos

Arto Hujanen

# Tausta ja lähtökohdat

Sähkömagneettisen spektrin hallinnan on todettu olevan välttämätön edellytys modernissa sodankäynnissä.

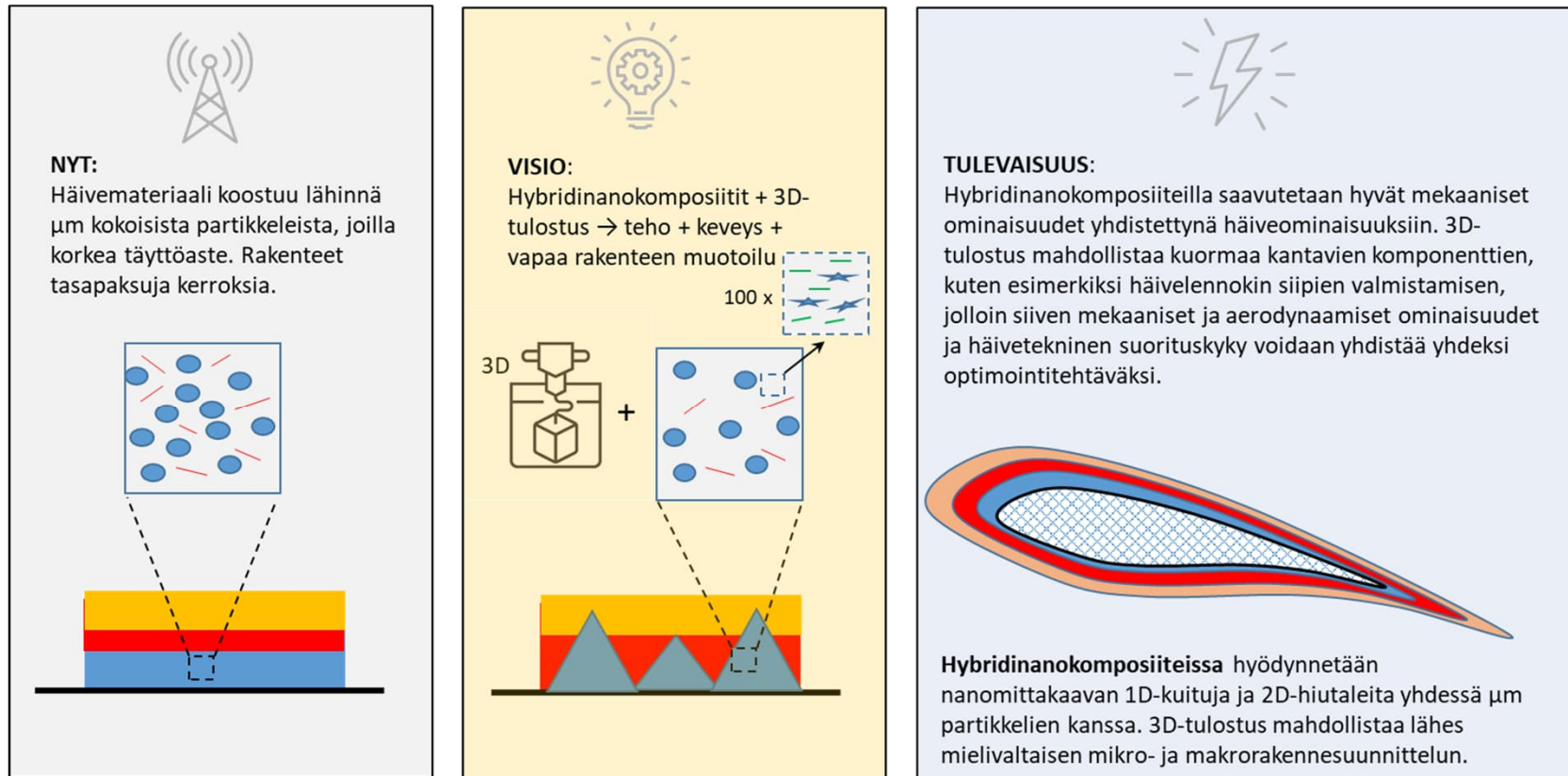
Sensorijärjestelmien nopea kehitys on luonut tarpeen kehittää nopeasti uusia menetelmiä myös herätteiden hallintaan.

Nykyiset häiveratkaisut on valmistettu pääasiassa yksi tai useampi kerroksisista, päällekkäisistä tasomaisista materiaalikerroksista.

Uudet materiaali ja valmistustekniikat, kuten nanomateriaalit ja 3D-tulostus yhdistettynä kehittyneisiin simulointimenetelmiin avaavat täysin uusia mahdollisuuksia monimutkaisiakin muotoja hyödyntävien häivemateriaalien ja rakenteiden toteutukselle.

# Tausta ja lähtökohdat

Tutkimuksen lähtökohdat ja visio suorituskyvyn muodostumisesta on esitetty skemaattisesti kuvassa



# Tutkimuskysymys

Tutkimuksen lähtökohtana oli kysymys, miten eri teknologioita voidaan yhdistää suorituskyvyn maksimoimiseksi. Kehitystyötä ohjaavat seuraavat tutkimuskysymykset:

- 1) Kuinka paljon suorituskykyä voidaan parantaa yhtäaikaisella materiaaliominaisuuksien räätälöinnillä ja rakenteellisella 3D-optimoinnilla?
- 2) Voidaanko 3D-tulostuksen keinoin valmistaa riittävän tehokkaasti rakenteellisia kuormaa kantavia komponentteja, joissa häiveominaisuudet ovat integroituna?

# Tutkimussuunnitelma

## Työn toteutus ja tutkimuksen osa-alueet

### **Materiaalien suunnittelu:**

- 1D- ja 2D-nanomateriaalit valittiin kirjallisuudesta saatujen esitietojen ja kaupallisen saatavuuden perusteella. 1D-materiaaleista hiilinanoputket ja 2D-materiaaleista grafeenihiutaleet muodostavat perustan hybridinanokomposiittien kehitykselle yhdessä VTT:n aiemmissa projekteissa kehittämän ferromagneettisiin mikrometrikokoluokassa oleviin partikkeleihin perustuvan häivemateriaalin kanssa.

### **Filamenttien/granulien valmistus ja tulostuskokeet:**

- Potentiaalisimmista materiaaliyhdistelmistä valmistettiin suuremmat erät filamenttien sekä granulien valmistukseen ja edelleen 3D-tulostuksen kehittämiseen.
- Projektin alkupuolella filamentin valmistuksessa keskityttiin tasapaksuisen ja hyvän pinnan laadun tuottavien materiaali- ja prosessiparametriyhdistelmien kehittämiseen. Haastavien koostumusten ja filamenttilangan valmistuksessa tarvittavan laitteen rajoitusten vuoksi päädyttiin lopulta granulien käyttöön tulostuksessa.
- Tulostuskokeiden ensisijainen tehtävä oli selvittää tulostuksen reunaehdot mm. pienin mahdollinen tulostusuuttimen koko ja sitä kautta saavutettava tulostustarkkuus sekä edelleen tulostettavien kerrosten välinen adheesio

# Tutkimussuunnitelma

## Työn toteutus ja tutkimuksen osa-alueet

### **Rakenteiden suunnittelu ja simulointi:**

- Suunniteltiin ja simuloitiin kolmiulotteinen häivemateriaali. Näille rakenteille tehtiin häiveominaisuuksien simuloiteja käytettävissä olevilla sähkömagnetiikka -simulaattoreilla (esim. HFSS).

### **Koekappaleiden valmistus, mittaukset ja demonstrointi:**

- Mallinnuksesta saatujen tulosten perusteella 3D-tulostettiin komposiittimateriaaleista koekappaleita häiveominaisuuksien testaamiseen VTT:n mittauslaitteistolla.
- Tulosten perusteella arvioitiin simulointityökalujen tarkkuutta sekä 3D-tulostuksen kykyä tuottaa suunniteltuja rakenteita.
- Tämän tiedon pohjalta muodostettiin näkemys suunnittelumenetelmien tarkkuudesta ja 3D-tulostuksen mahdollisuuksista huomioida ja tuottaa eri mittakaavan piirteitä.



# Additively manufactured metastructure design for broadband radar absorption

Article in Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences - December 2021

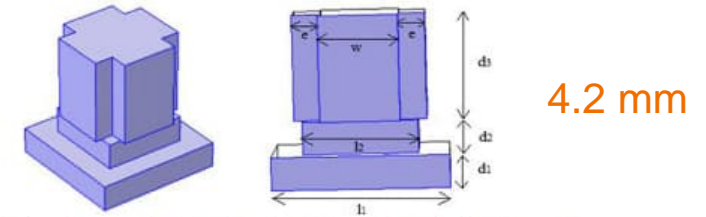


Fig. 1 Designed unit cell radar absorbing metamaterial with three layer cross stack structure. a Model of periodic unit. b Model size,  $l_1 = 40$  mm,  $l_2 = 28$  mm,  $w = 18$  mm,  $e = 0.6$  mm,  $d_1 = 0.8$  mm,  $d_2 = 0.8$  mm,  $d_3 = 2.6$  mm.

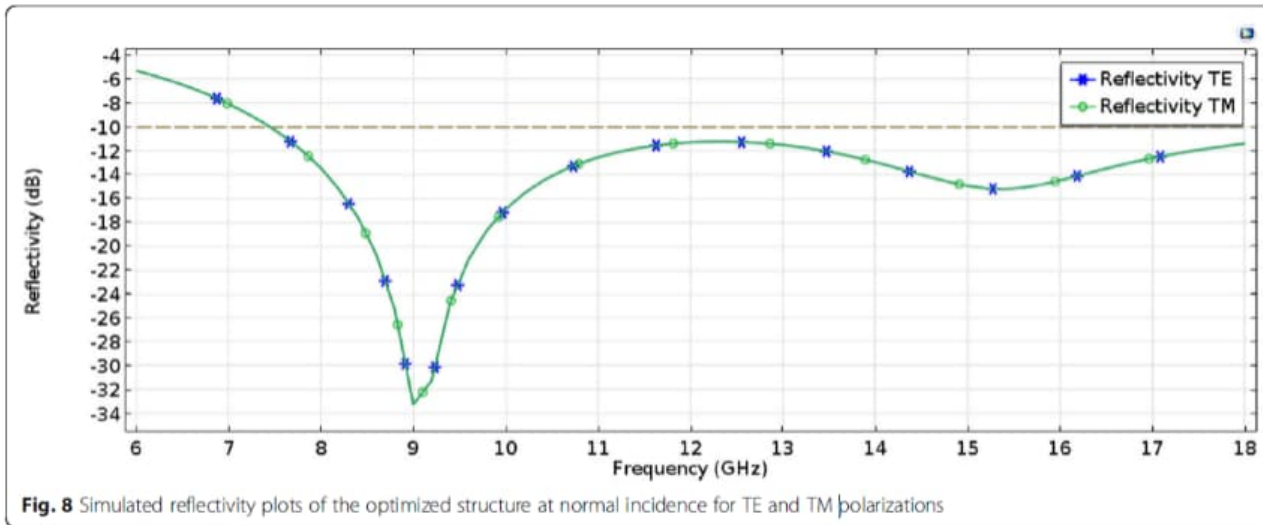


Fig. 8 Simulated reflectivity plots of the optimized structure at normal incidence for TE and TM polarizations

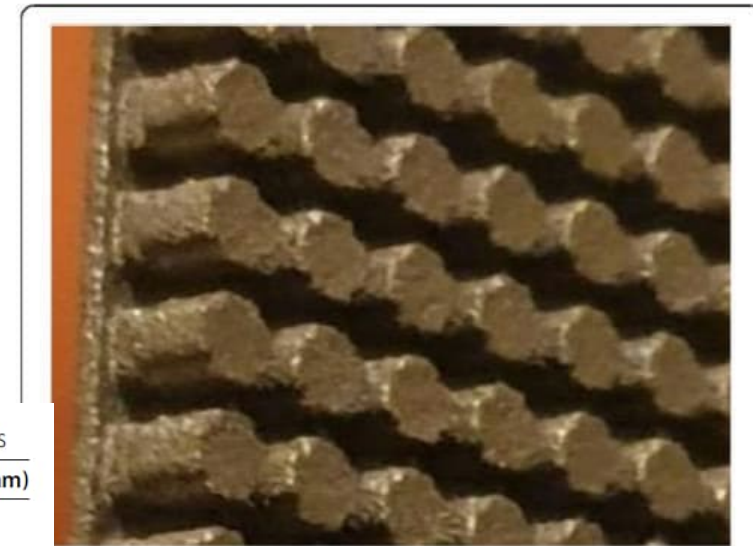


Fig. 3 Additively manufactured radar-absorbing metastructure

Table 1 Comparison of -10 dB absorption bandwidth range between radar-absorbing metastructure of this work and previous works

Reference	Material	Frequency range (GHz)	Effective absorption bandwidth	Thickness (mm)
[13]	Conductive ABS	4–12	5.43	3.50
[17]	Graphene/nano-Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /PLA	12.4–16.0	3.60	3.00
[18]	Conductive ABS	3.9–12.0	8.10	9.37
[19]	Conductive PLA	6.0–8.50	2.50	5.04
This work	Graphite SLS	7.6–18.0	10.40	5.00

# A wide-angle broadband electromagnetic absorbing metastructure using 3D printing technology

Yubing Duan, Qingxuan Liang\*, Zhen Yang, Zhaohui Li, Haoyu Yin, Yi Cao, Dichen Li\*

School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China

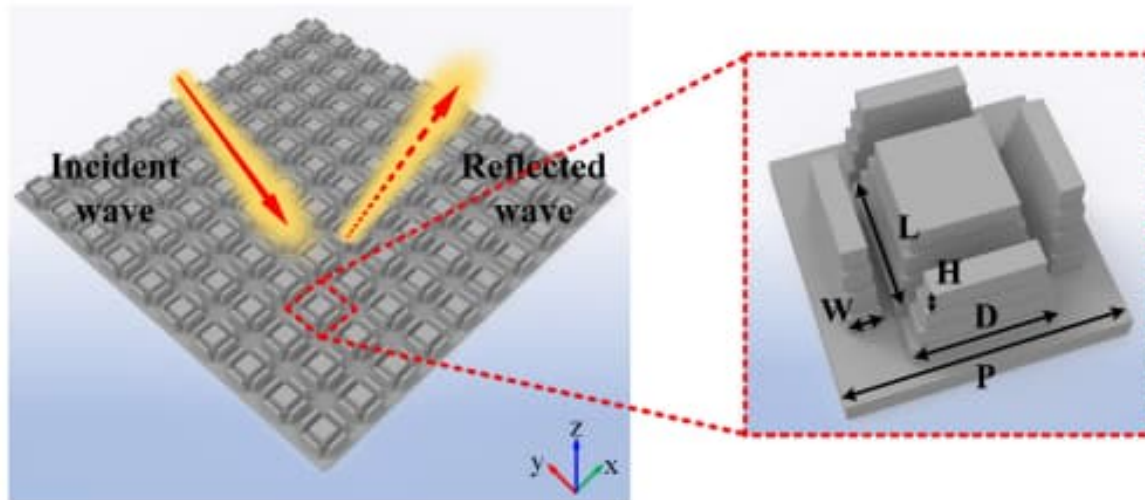


Fig. 1. Schematic diagram of the designed complex gradient composite metastructure.

complex gradient metastructure are confirmed as  $k = 0.9$ ,  $L = 15$  mm,  $W = 3$  mm,  $D = 15$  mm,  $H = 2$  mm.

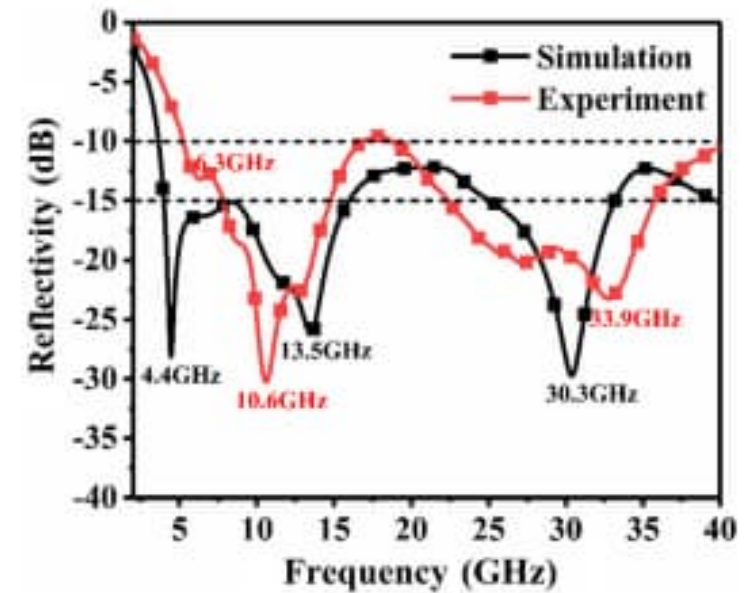


Fig. 6. Comparison of the simulation and experimental reflectivity of the complex gradient metastructure.

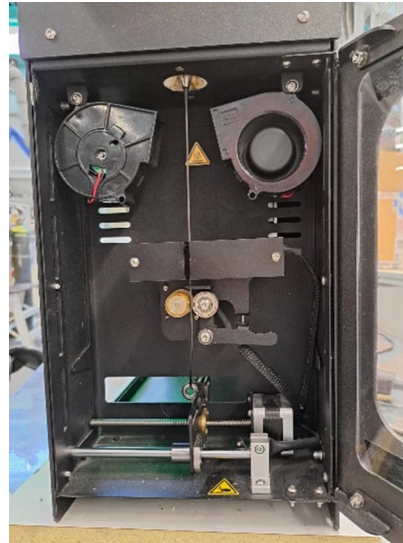


# 3D-tulostus @ VTT

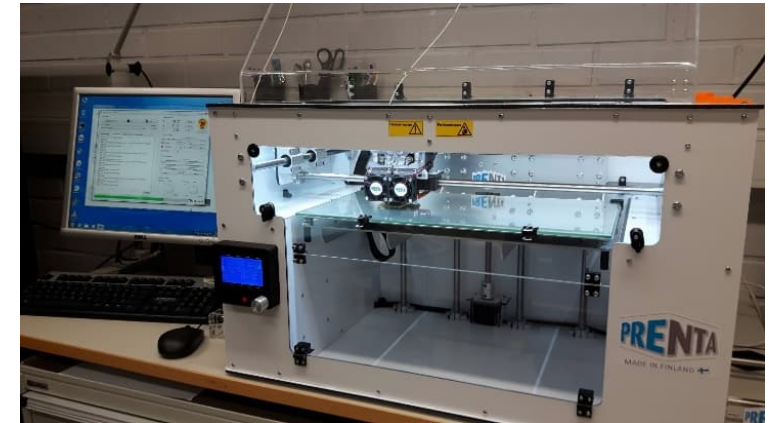
Lähtöaineiden kompaundointi



Filamenttilangan ekstruusio

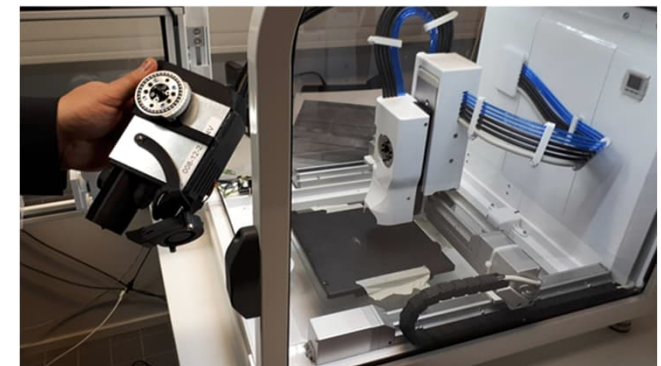
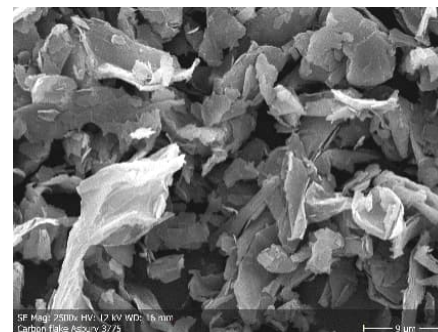
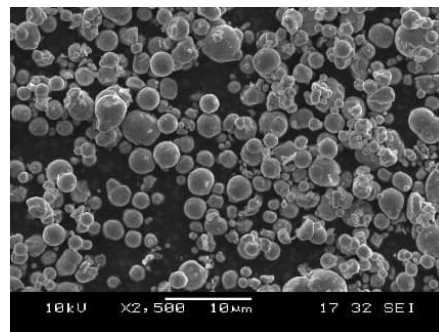


3D filamentitulostin (FDM)

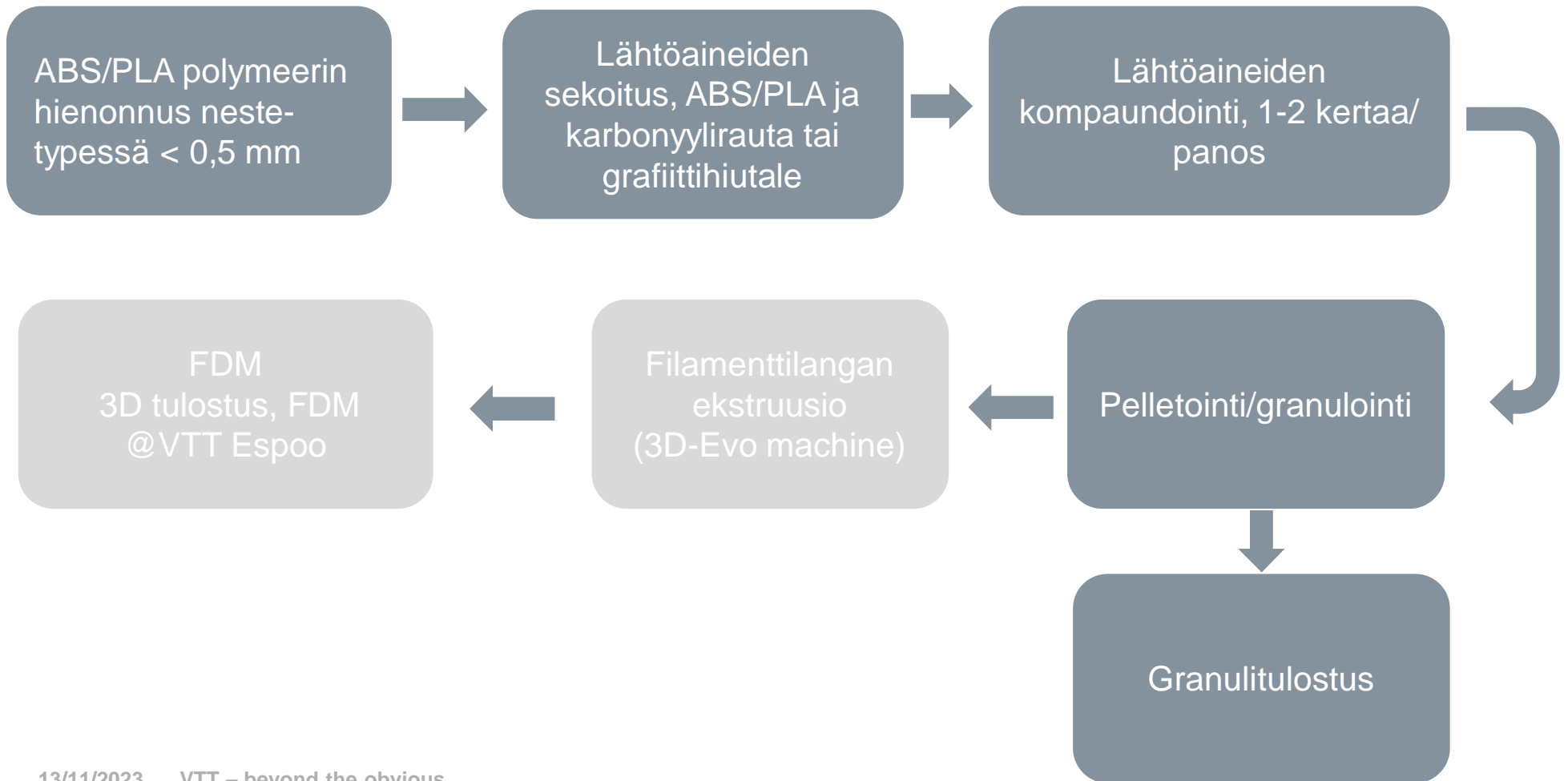


Granulitulostin (FGF)

- Matriisi ABS/PLA polymeeri
- Täyteaineet:
  - Karbonyylirauta
  - Grafiittihiutale/hiilimusta

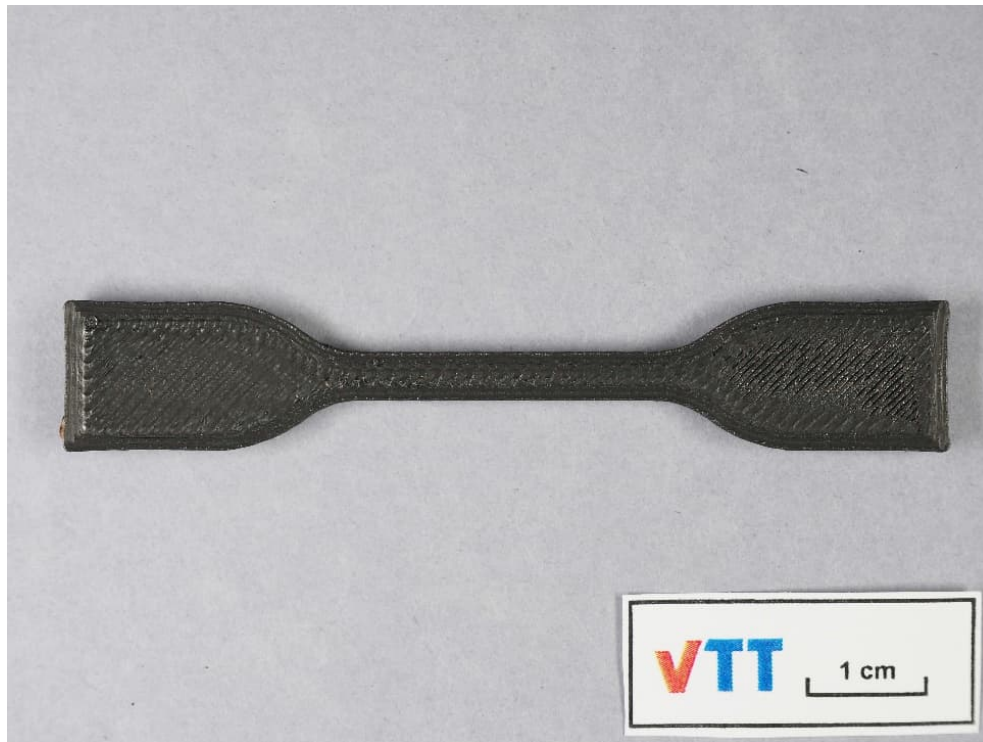


# Komposiittimateriaalin valmistus ja tulostus



# Tuloksia

# Filamenttilangasta tulostettuja grafiittiseosteisia koekappaleita



ABS + grafiitti

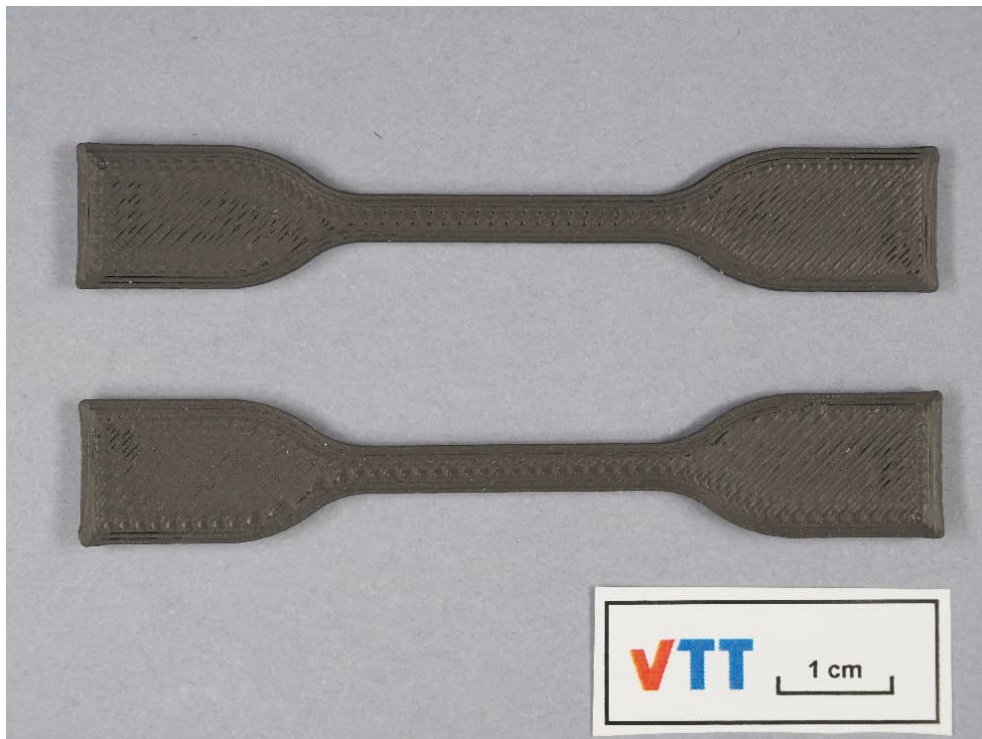


ABS+grafiitti+vaha (korkeampi graf. seostus)



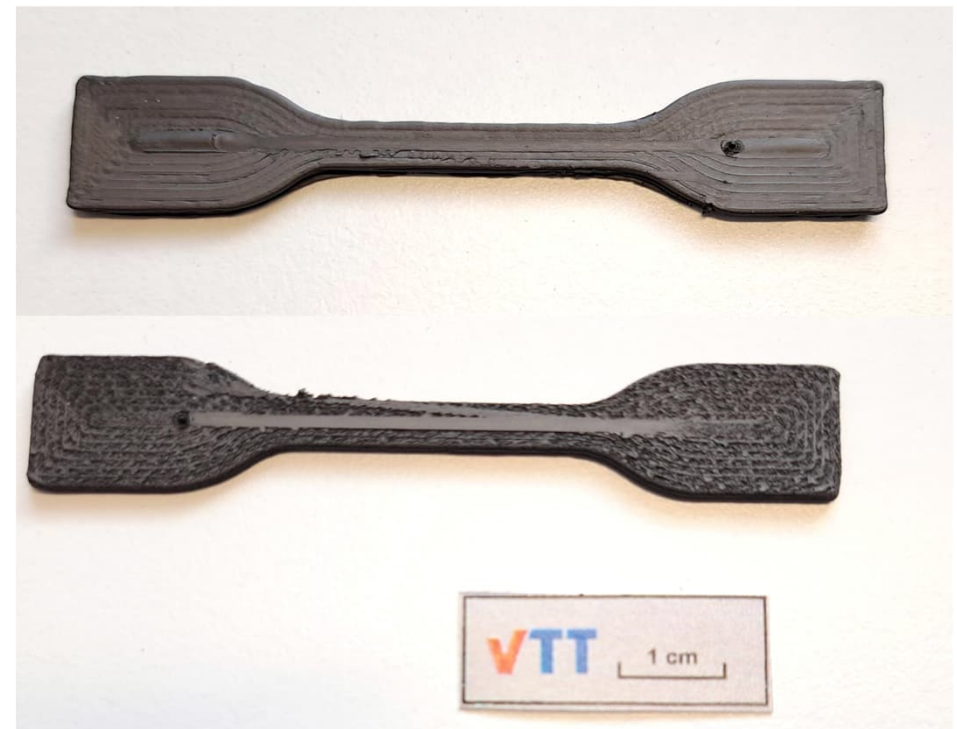
# Filamenttilangasta sekä granuleista tulostettuja Fe-seosteisia koekappaleita

## Filamenttitulostus



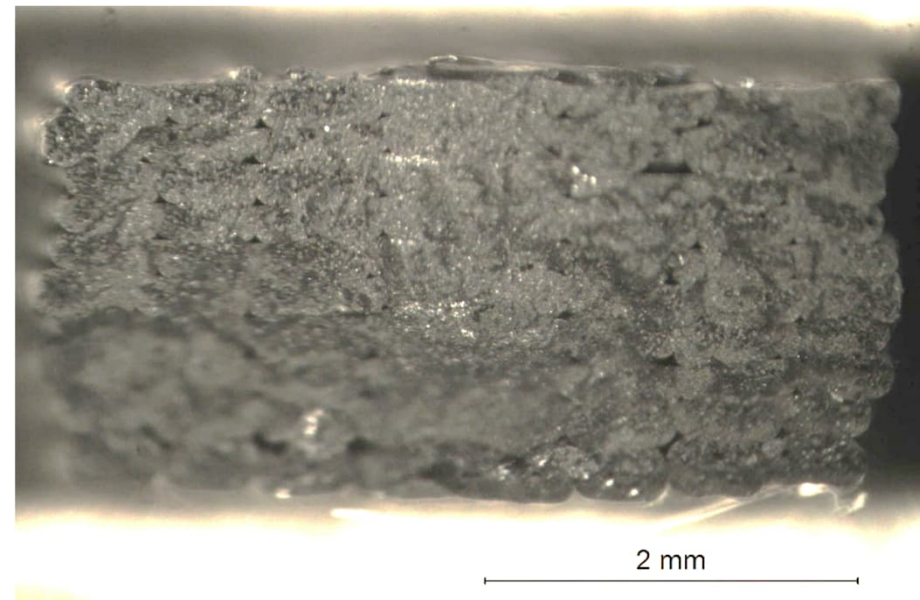
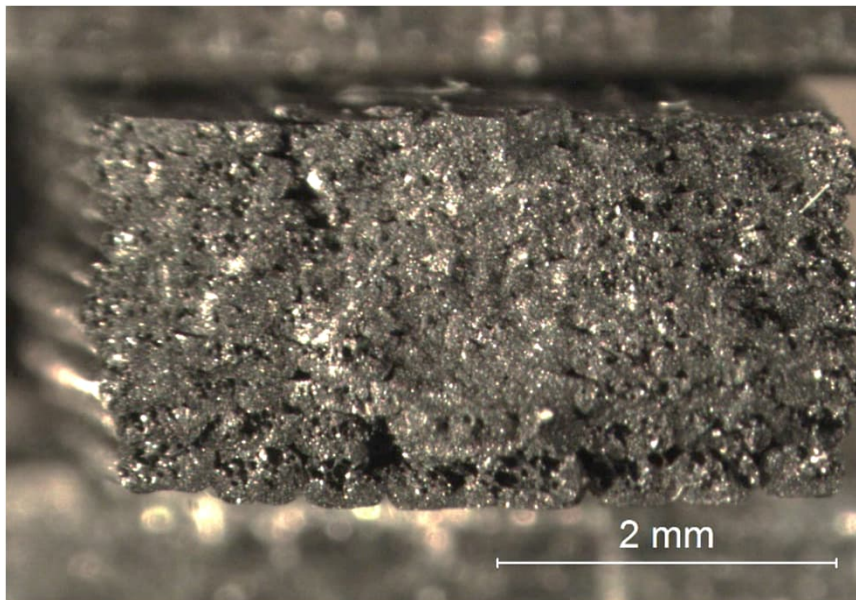
ABS + karbonyylirauta

## Granulitulostus



ABS + karbonyylirauta, alempi kpl, korkeampi seostus

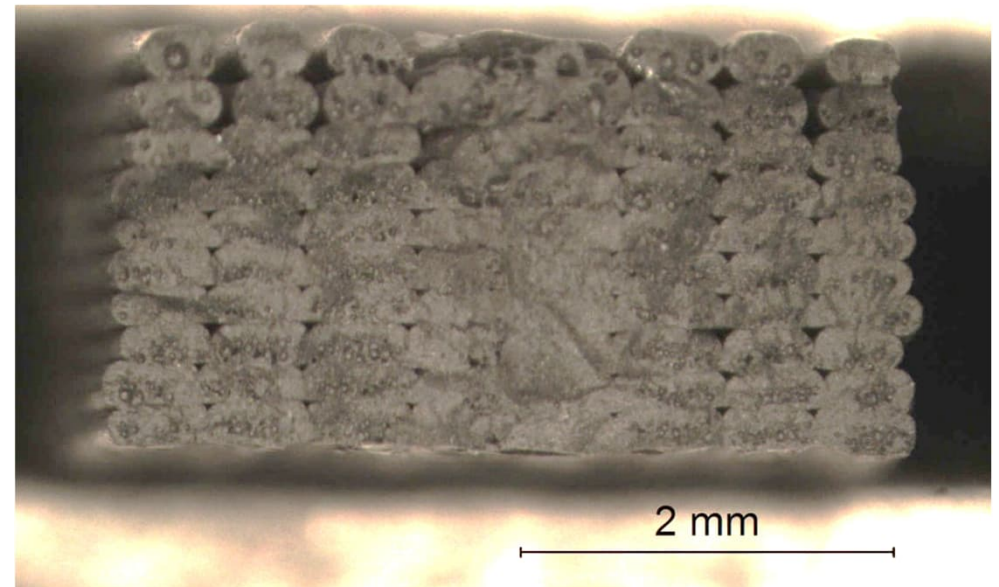
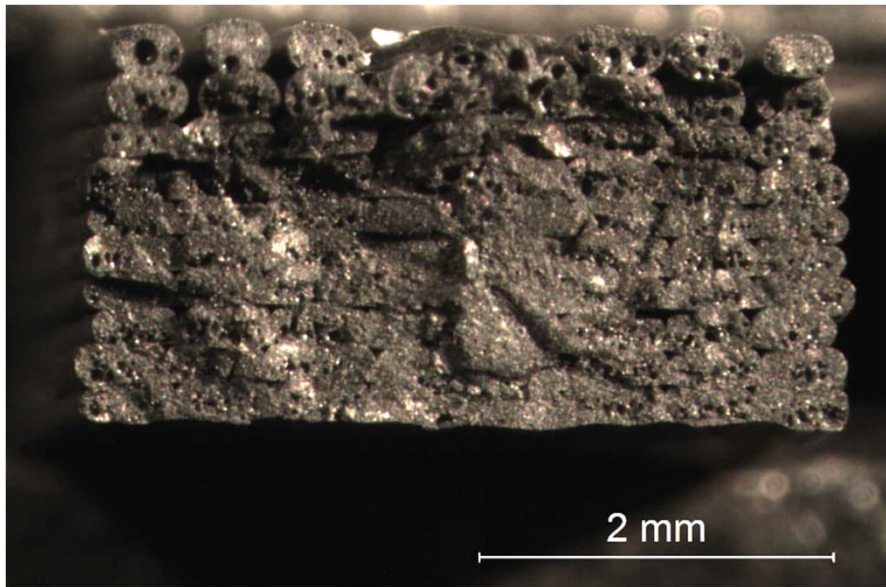
## Tulostettujen osien rakenne (murtopinta poikkileike)



**ABS+ grafiitti**



## Tulostettujen osien rakenne (murtopinta poikkileike)



**ABS +karbonylirauta**

# Kuvia granulitulosteista: materiaalit G9 ja G10

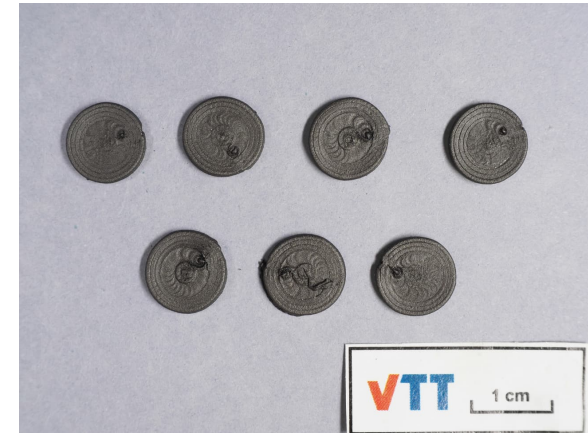
## Tulostuslämpötilan vaikutus



MATINE\_G9\_190C



MATINE\_G10\_215C



MATINE\_G10\_193C

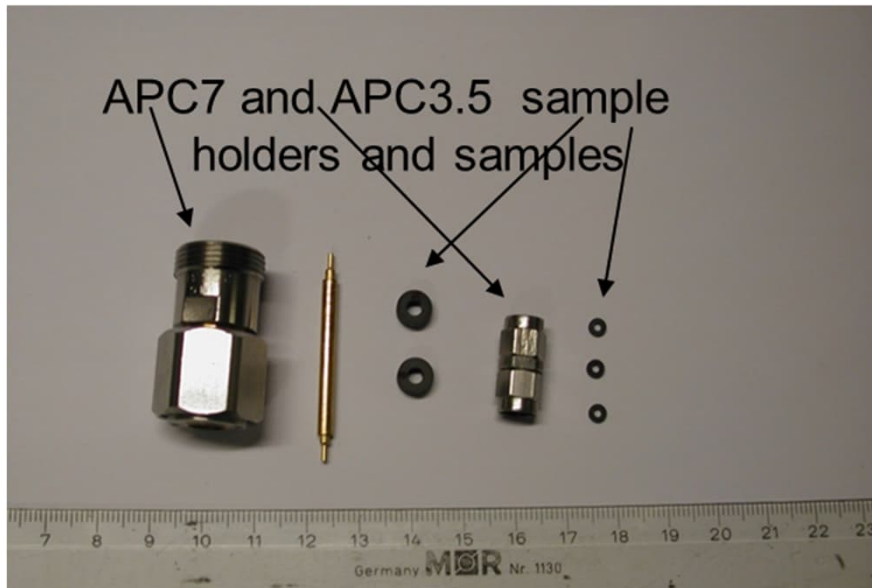


G10\_193C and 195C\_MP4\_2\_v4

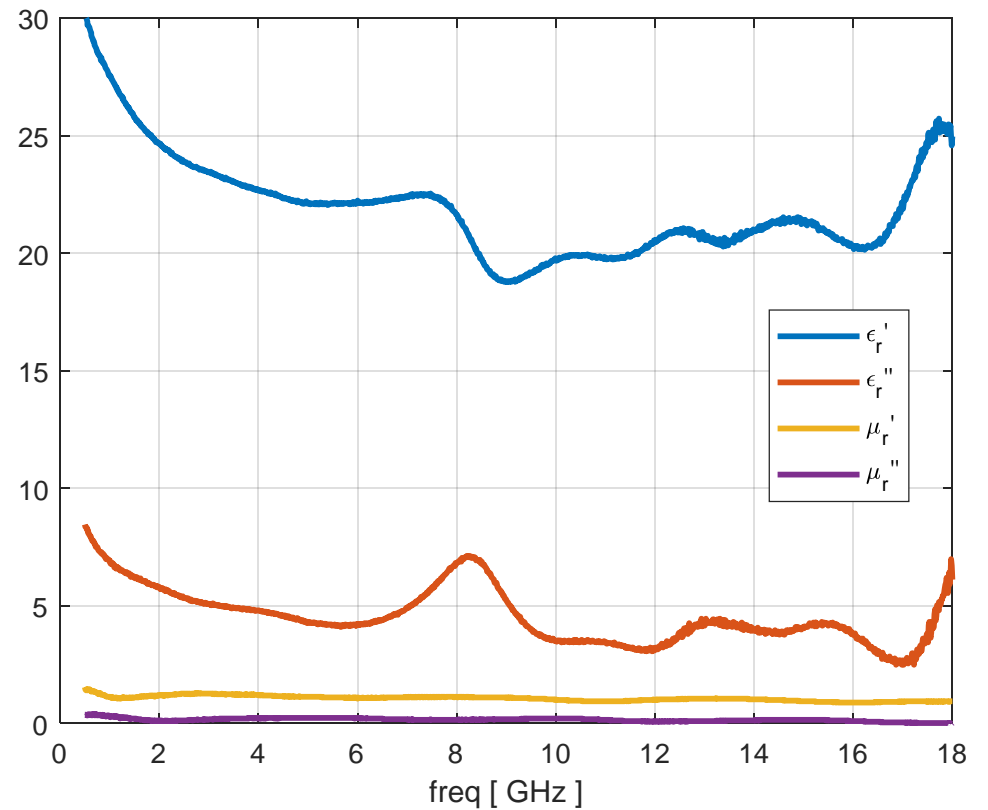
# Mittausesimerkki



Mittauksissa käytettiin koaksiaalista näytteenpidintä

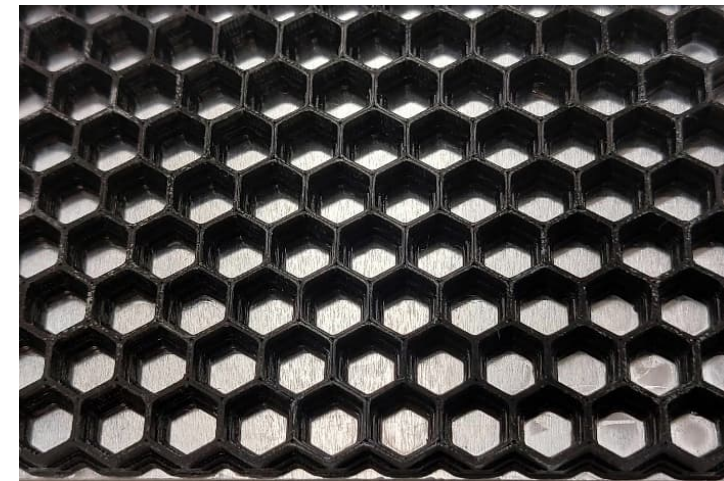
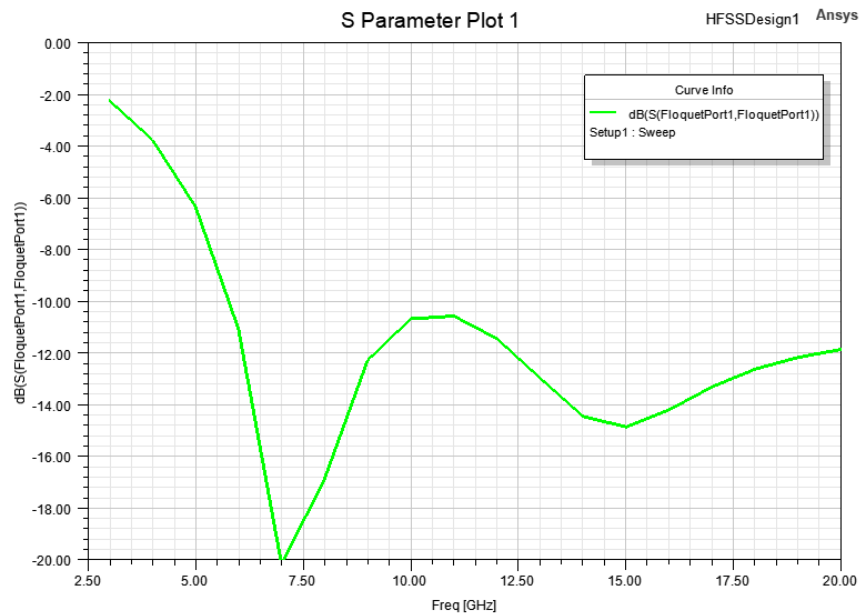
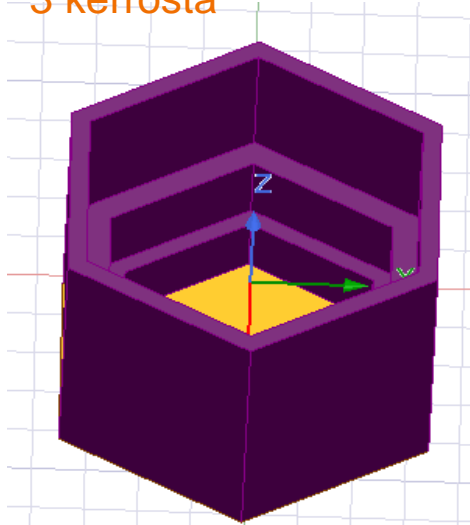


## G10 Mitatut aineparametrit



# Simuloitu ja tulostettu rakenne I- versio

Hunajakkeno  
"Unit Cell"  
3 kerrosta

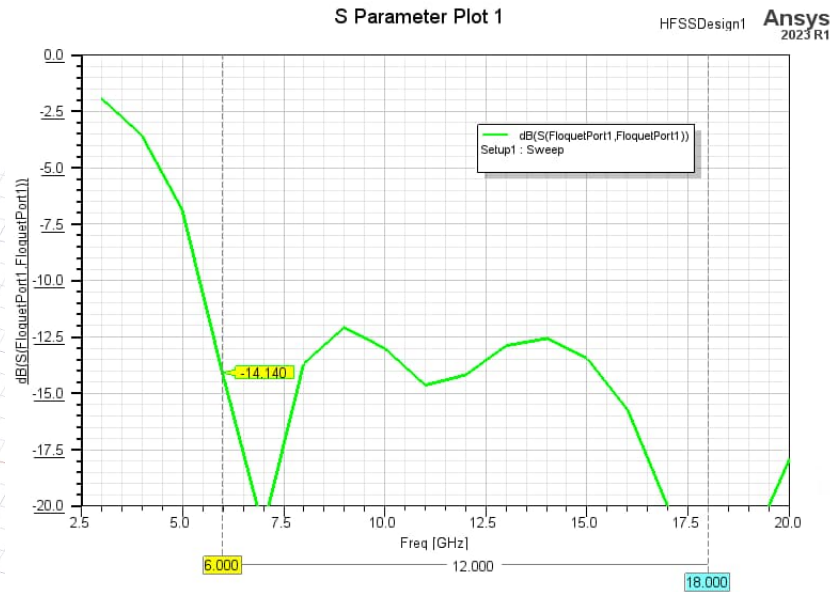
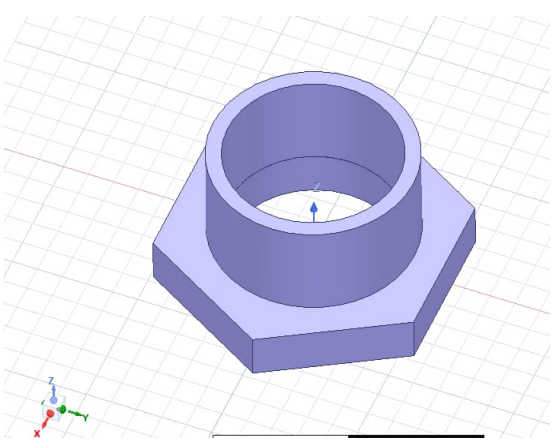


Demokappale 100x100 mm tulostettuna



# Simuloitu ja tulostettu rakenne II- versio

Hunajakkeno  
"Unit Cell"  
2 kerrosta



**Neliöpaino: 3.5 kg/m<sup>2</sup>**

Demokappale 125x150 mm tulostettuna



# Yhteenveto

## Tulostusmateriaalinen valmistus:

- Grafiittiseosteisen lankojen valmistus onnistui tasalaatuisena
- Fe- seostus aiheuttaa filamenttilankaan helposti paksuusvaihtelua mikä ylittäessään langan tavoitepaksuuden aiheuttaa tulostuksessa keskeytyksiä
- Jatkossa siirryttiin korkean Fe- seosteisen materiaalin tapauksessa granulien valmistukseen

## 3D tulostus, FDM ja FGF:

- Grafiittiseosteisen lankojen tulostus onnistui tasalaatuisena
- Fe- seosteiset haasteellisempia, tulostus keskeytyy herkästi -> siirryttiin granulitulostukseen
- Granulitulostuksessa myös haasteita runsaasti Fe- seosteisten materiaalin tapauksessa

## Simuloidut rakenteet ja tulostus:

- Vaimennusta optimoitiin rakenteen kautta tavoitteena mahdollisimman pieni ainetilavuus ja sen myötä mahdollisimman kevyt rakenne.
- Lähdettiin liikkeelle kartiomaisilla kerrosrakenteilla, joilla oli mahdollista saavuttaa kevyt ja laajakaistainen rakenne.
- Havaittiin että, tarkka rakenne on haasteellista tulostaa seostetuilla materiaaleilla.
- Projektin loppupuolella rakennetta optimoitiin tulostuksen kannalta helpommaksi: kartiomainen rakenne muutettiin sylinterimäiseksi sekä seinämävahvuutta kasvatettiin-> neliöpainoksi tuli 3,5 kg/m<sup>2</sup> ja simuloitu suorituskyky säilyi riittävänä.

# bey<sup>0</sup>nd

## the obvious

Pertti Lintunen