

3D tulostetut akustiset rakenteet

Kirjallisuuskatsaus

3DTY muoviwebinaari 11.12.2025

Tuomo Silvast, Hannu Korhonen

UEF Teknillisen fysiikan laitos



Euroopan unionin
osarahoittama

Päivitetty 14.1.2026 10.57



Johdanto ja motivaatio

Miksi 3D-tulostetut akustiset rakenteet ovat tärkeitä?

- Perinteiset akustiset materiaalit rajoittuvat tiettyihin taajuuksiin.
- 3D-tulostus mahdollistaa **räätälöidyt rakenteet**, kevyet ja monitoimiset ratkaisut.
- Rakenteen muoto ohjaa akustista vaikutusta → laajakaistainen vaimennus.

Käyttökohteet



Rakennukset (toimistot, urheiluhallit)



Meluntorjunta (teollisuus, liikenne)



Ajoneuvot (autot, junat, lentokoneet)



Akustinen häive (ääniaaltojen ohjaus ja naamiointi)



Laitteet (kaiuttimet, koneet)



Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Ääni ja akustiikka

Ääni on aaltoliikettä, joka etenee pitkittäisinä tiheysvaihteluina väliaineessa.

Akustiikka on ääntä tutkiva tieteenala, ja arkikielessä tilassa olevan äänen laatua kuvaava termi.

Ihmiskorvan **kuuloalue** on 20 – 20 000 Hz, aallonpituutena 17 m – 17 cm ilmassa.

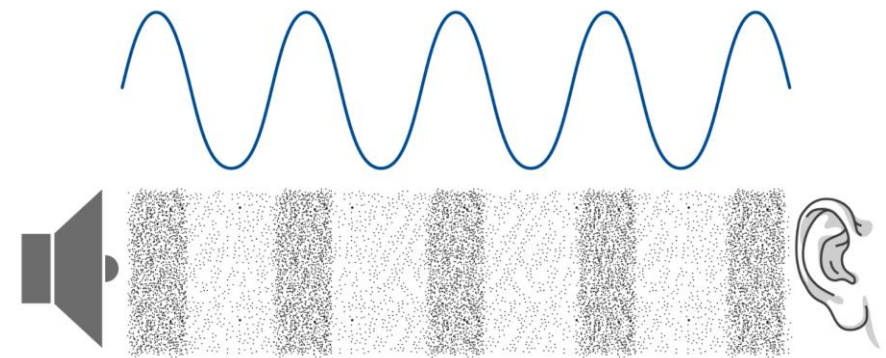
Dispersiivisessä väliaineessa korkeat taajuudet etenevät nopeammin kuin matalat. Yleensä korkeat taajuudet **vaimenevat** nopeammin kuin matalat.

Lämpötila nousee tai väliaine tiivistyy: äänen **nopeus** kasvaa. Ääni 'taipuu' kylmempää ilmaa kohti.

$$\text{aallonpituus} = \frac{\text{etenemisnopeus}}{\text{taajuus}}$$

Aaltoliikemuotoja

<https://www.acs.psu.edu/drussell/Demos/waves/wavemotion.html>



Kuva: <https://svantek.com/academy/sound-wave/>



Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Akustinen vaikutus

- Heijastuminen, suuntaus tai kohdistaminen
- Vaimennus tai absorptio
- Vahvistus
- Suodattaminen
- Sironnan hallinta
- Kohinan tai melun vaimennus
- Naamiointi, mittaus

Akustinen vaikutus perustuu usein enemmän **rakenteeseen** kuin materiaaliin:

- **Huokoiset** rakenteet → tehokas absorptio
- **Fraktaalimaiset** muodot → laajakaistainen vaimennus
- **Modulaarisuus** → muunneltavuus ja skaalautuvuus.



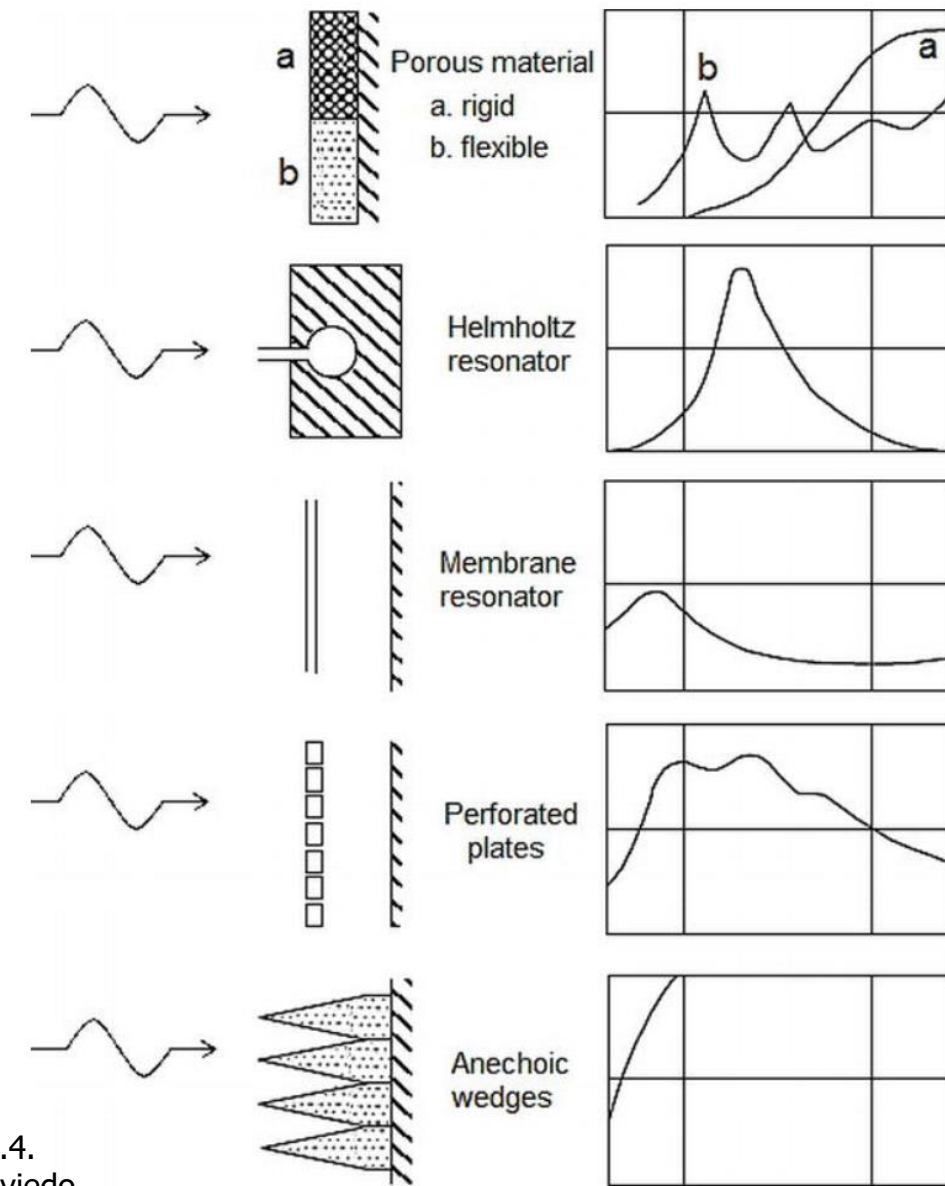
Äänen vaimentaminen

Monenlaiset **rakenteet** vaimentavat ääntä.

- Huokoinen tai kuituinen materiaali
- Kalvorakenne
- Resonaattori

Tavanomaiset akustiset materiaalit ovat tehokkaita **korkeiden äänten** vaimentamisessa.

Huoneissa vaimentava **pintaosuus** on tärkeämpi kuin yksittäisten komponenttien laatu.



Kuva: Blanco Álvarez F. Notas de Curso: Tema II.4.
Propiedades Acústicas. España: Universidad de Oviedo

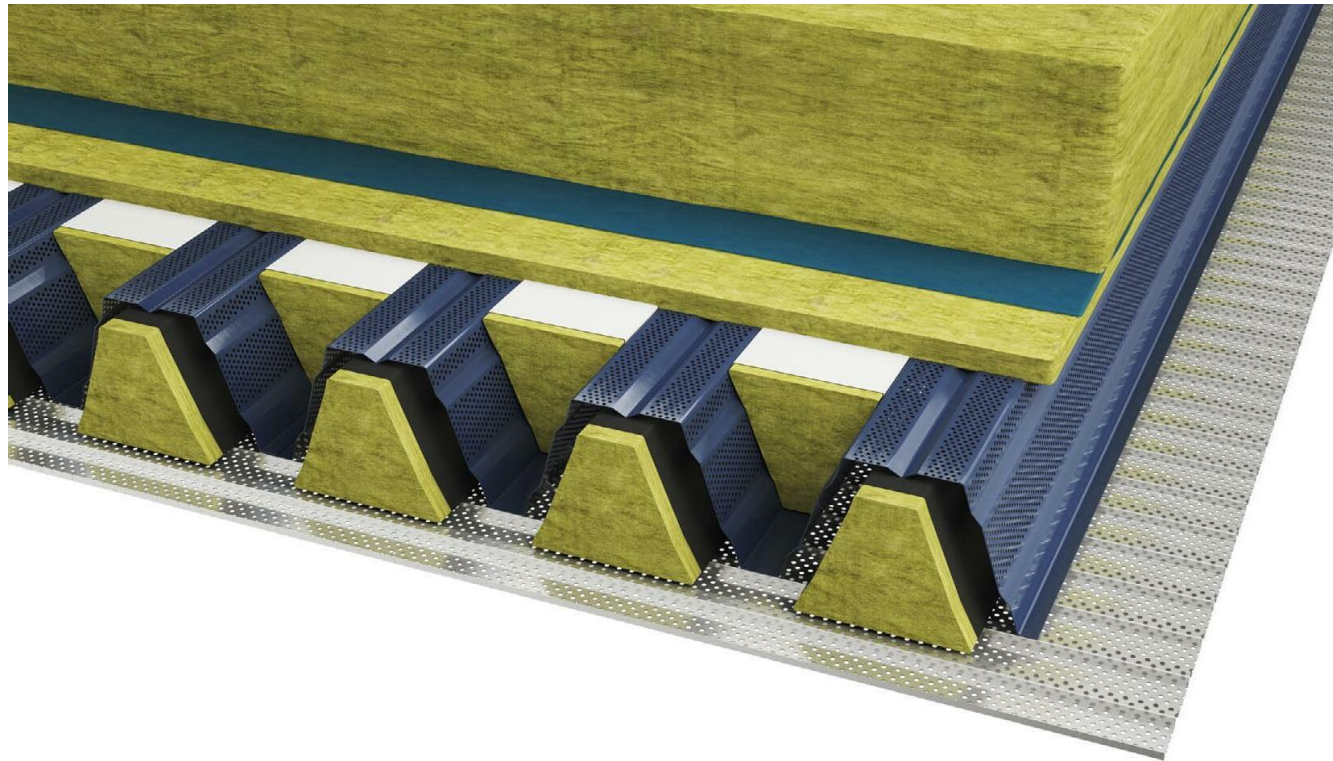


Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Äänen vaimentaminen



Kuva: Ruukki.com, ääniympäristöratkaisut

Seinäjoen padelhallin

kattorakenne (Teräsrakenne 4/2022 -lehti)

Akustointi rakennettu kattoprofiiliin "Ruukki T153 4/30", laskee äänen tasoa 10-20 dB.

1. Perforoitu pelti
2. 30% perforoitu poimulevy mineraalivillatäytteellä
3. Mineraalivilla 30 mm
4. Höyrysulku
5. Mineraalivilla 150+ mm



Euroopan unionin
osarahoittama

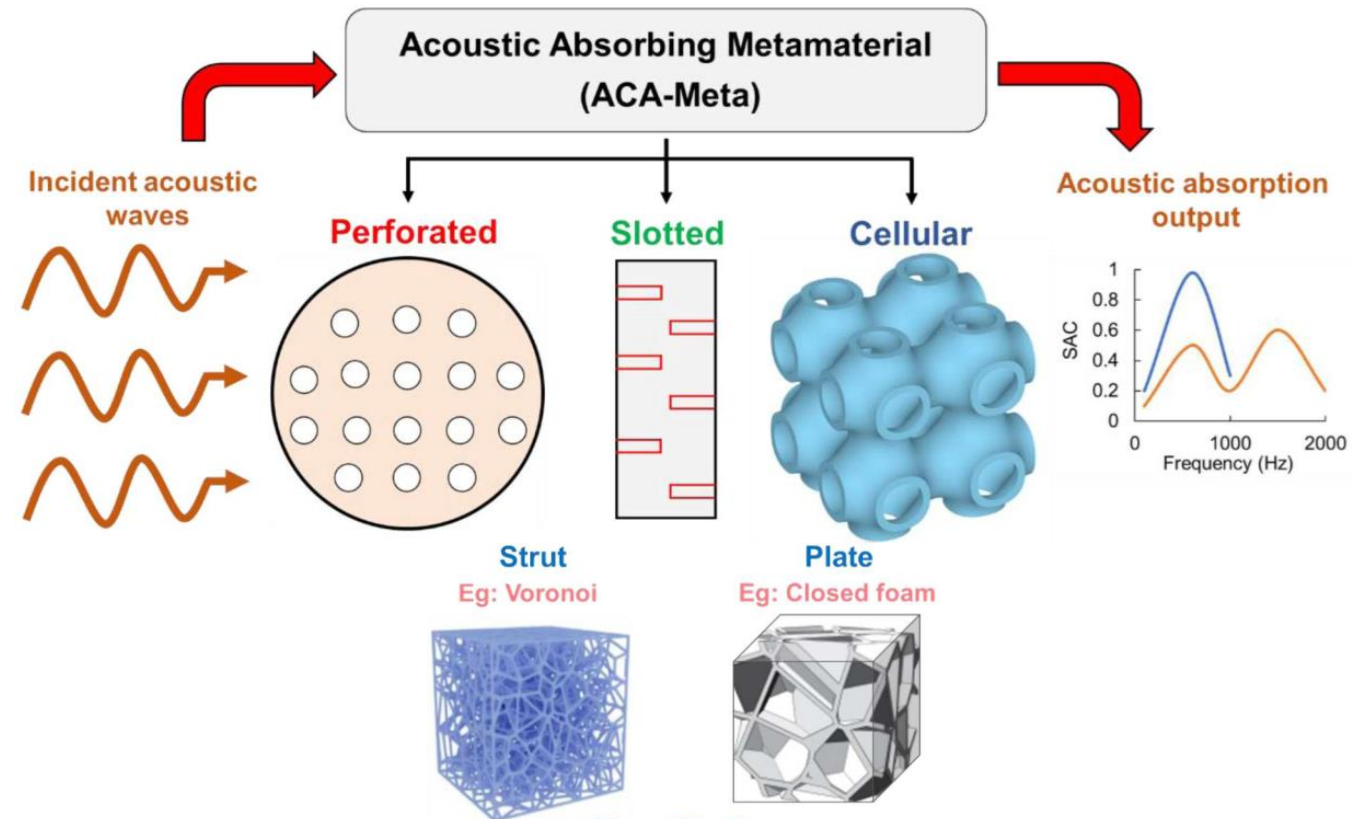
Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Metamateriaali

- **Keinotekoisia** esim. 3D-tulostettuja materiaaleja, joiden ominaisuudet pohjautuvat rakenteeseen.
- Ominaisuuksia ei yleensä esiinny luonnonmateriaaleissa.
- Tyypillisesti **toistuva rakenne**.
- Suunniteltu aaltoja manipuloimaan.
- **Rakenteen yksityiskohdat** ovat tyypillisesti aallonpituutta pienempiä, $\frac{1}{10} - \frac{1}{30}$ aallonpituudesta.
- Sekoittamalla rakenteita saadaan laajempia akustisia vasteita.

Kuva: V Sekar ym. *Virtual Phys Prototyp*, vol. 19, no. 1, p. e2435562, Dec. 2024

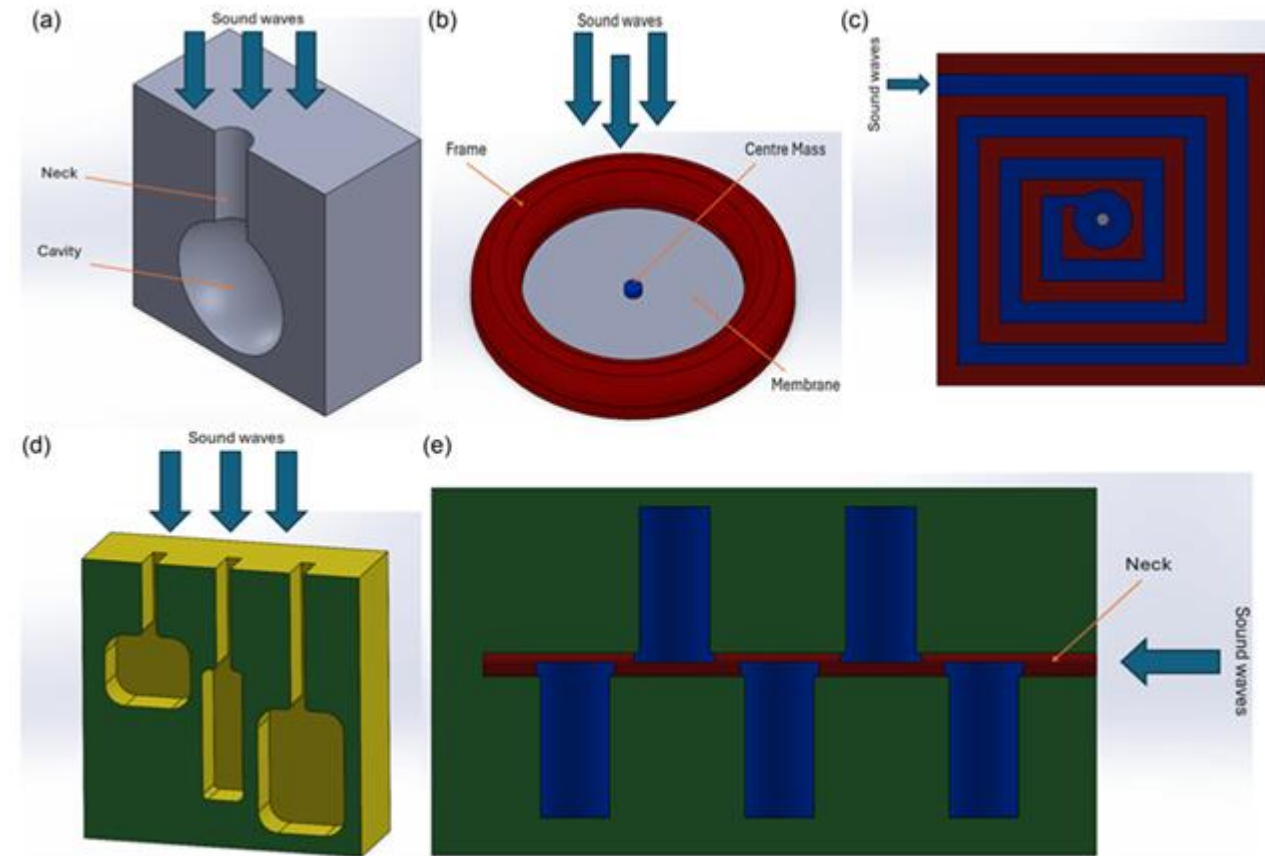


Yksikkörakenteita

- a) Helmholtz-resonaattori
- b) Kalvomassa-tyyppinen resonaattorielementti
- c) Labyrinttielementti
- d) Useita Helmholtz-elementtejä yhdessä rakenneyksikössä

Vaihtelevalla yksikkörakenteella saadaan leveäkaistaisempi vaimennusvaste, kuvat d) ja e).

Kuva: Akram S ym. *Adv Eng Mater*, vol. 27, no. 5, p. 2402270, Mar. 2025



Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



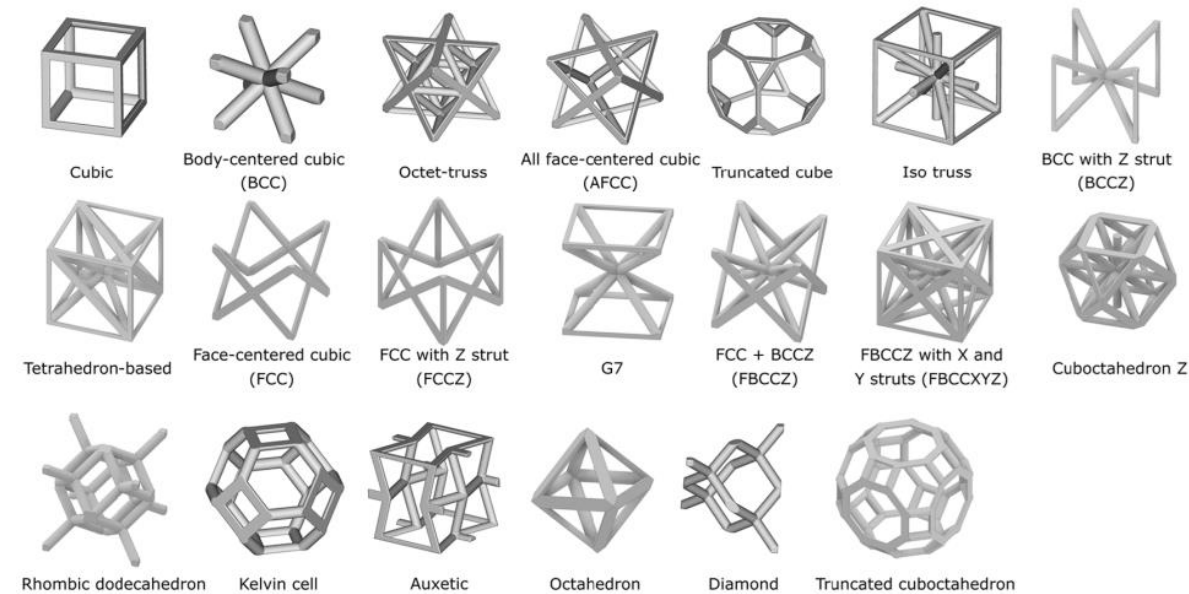
Hilarakenteita

- Sauvamaisia (*strut*)
- Tankorakenteisia (*skeletal*)
- Levyrakenteisia (*sheet*)

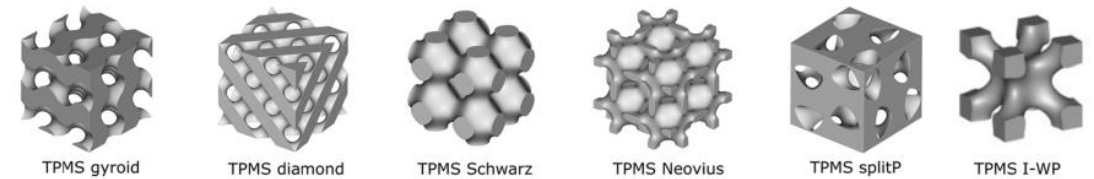
TPMS = *triply periodic minimal surfaces*, kolmeen suuntaan toistuva minimipintarakenne.

Mitä **koukeroisempi** hilarakenne sen parempi äänen absorptio.

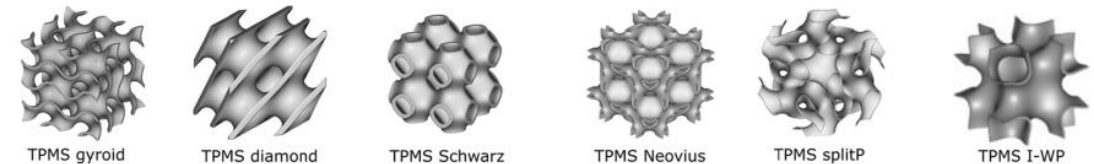
Kuva: A du Plessis ym. *Prog Mater Sci*, vol. 125, p. 100918, 2022



(A) Strut-based lattices



(B) Skeletal-TPMS based lattices



(C) Sheet-TPMS based lattices



Euroopan unionin
osarahoittama

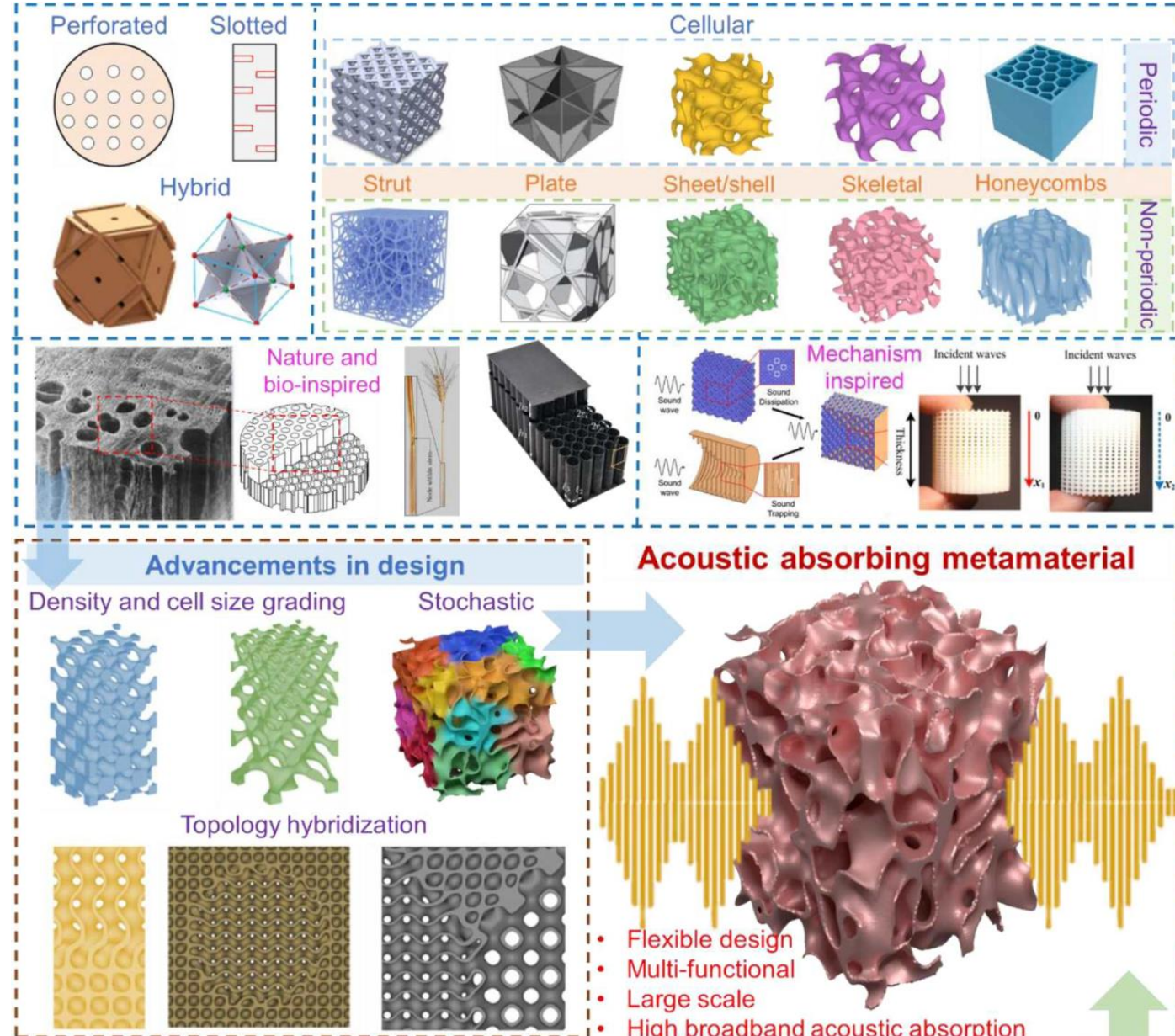
Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Akustisia rakenteita

- Yksinkertainen reikä- tai rakolevy.
- Jaksollinen solurakenne.
- Epäsäännöllinen solurakenne.
- Useita erilaisia kerroksia.
- Solurakenne muuttuu kerroksittain ja eri suunnissa.
- Rakennepiirteiden muuttuminen vähitellen, topologisten ominaisuuksien muuttuminen kappaleen eri osissa.

Kuva: V Sekar ym. *Virtual Phys Prototyp*, vol. 19, no. 1, p. e2435562, Dec. 2024



Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Akustinen vaikutus

RAKENTEITA JA AKUSTISIA PIIRTEITÄ



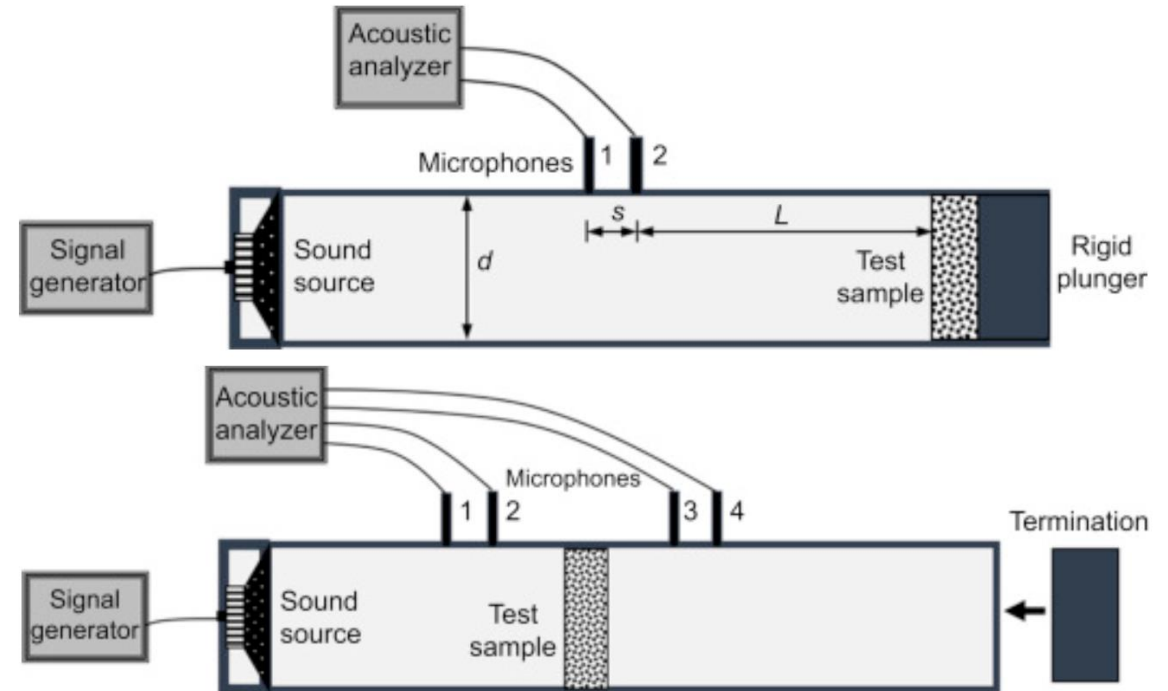
Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Impedanssiputki

- Akustisten materiaalien absorption, impedanssin tai admittanssin laboratoriokokeet yleensä **standardoiduilla** impedanssiputkilla, sisähalkaisija 15-100 mm.
- Tyypillisesti taajuusalue 50-10 000 Hz ja testimateriaalin paksuus 80-250 mm.
- Testimateriaali joko putken päässä tai keskellä mikrofonien välissä.
- Pieni kappale, tyypillisesti yksikkösolukokoluokan testejä.



Kuvat: H Koruk ja G Genc, *Mechanical and Physical Testing of Biocomposites, Fibre-Reinforced Composites and Hybrid Composites*, kappale 17, Woodhead Publishing 2019.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102292-4.00017-5>



Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Reikälevy ^{1/2}

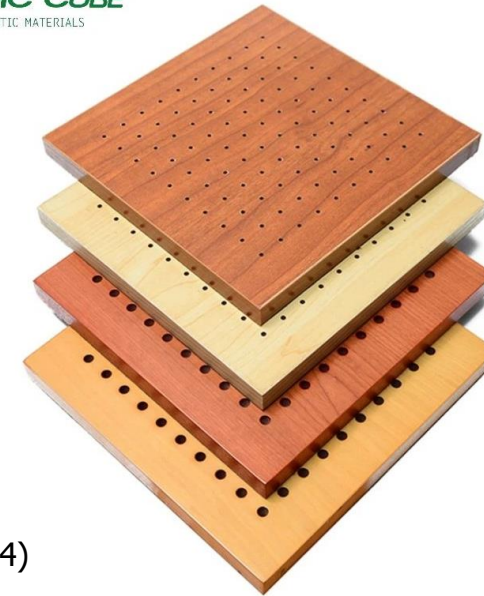
- Suosittu vaimennusrakenne seinä ja kattolevyinä. **Kolmioreikä** parempi kuin pyöreä tai neliö.
- Peruslevyllä kapea kaistanleveys.
- Reiät halkaisijaltaan **millimetriluokkaa**, reikäisyys tyypillisesti **5-10% pinta-alasta**. Myös monenkoisia reikiä epäsäännöllisesti aseteltuna.
- Ilmakammiot reikien takana parantavat akustisia ominaisuuksia.
- Monikammioisen reikälevy-ilmakammio – rakenteen absorptiokerroin 0,8 mittakaavalla $\frac{1}{10} - \frac{1}{18}$ aallonpituudesta.



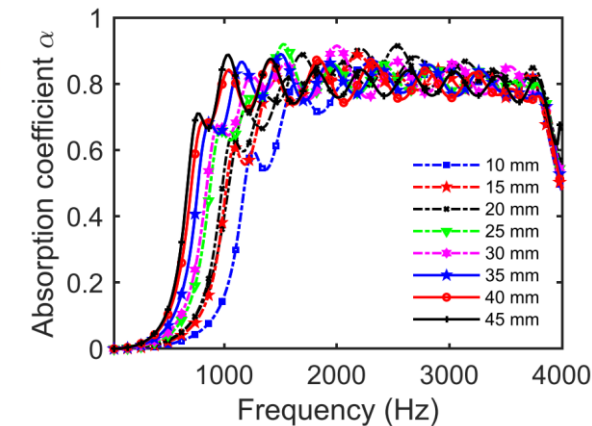
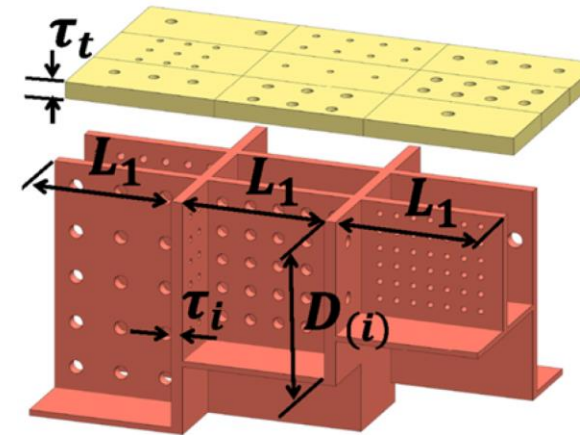
Kuva: mq-acoustics.com

Kuva: formatwood.com

MAGIC CUBE
ACOUSTIC MATERIALS



Kuvat: J Wang ym. *AIP Advances* 14, 015009 (2024)



Euroopan unionin
osarahoittama

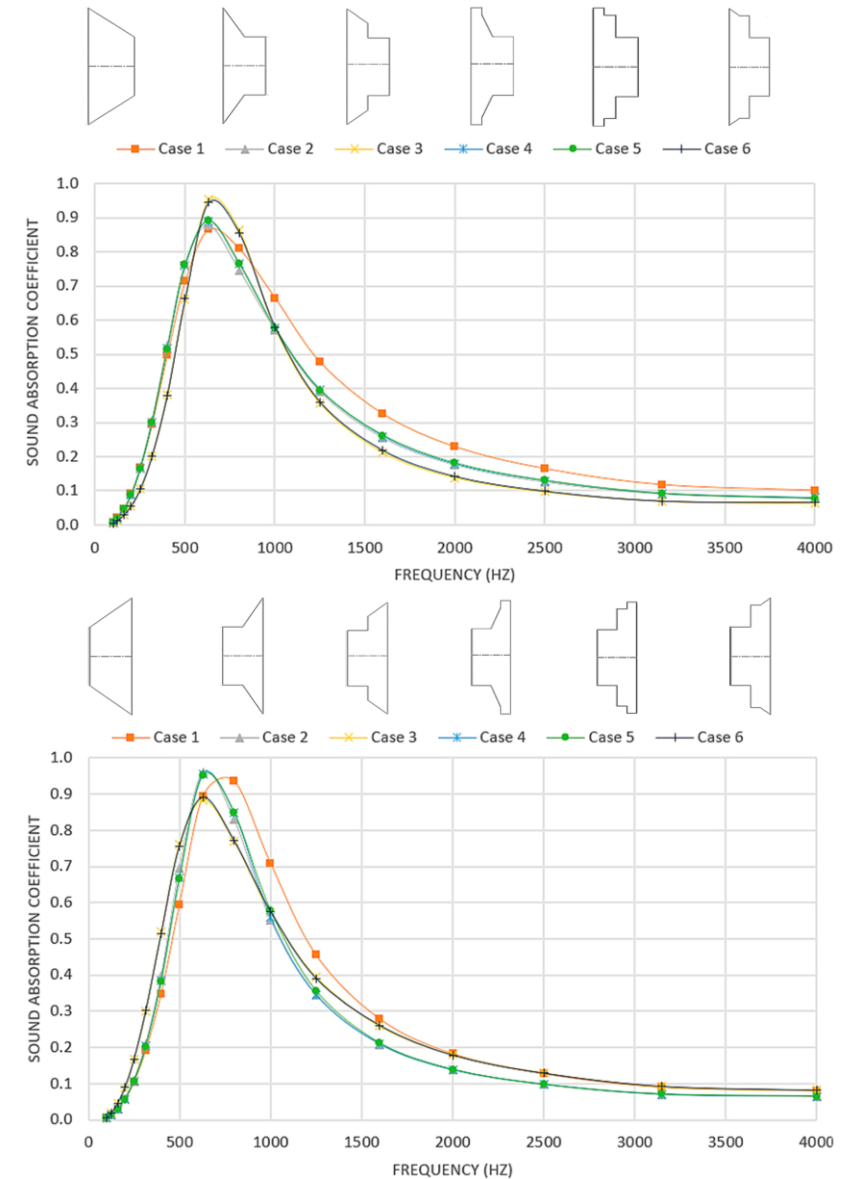
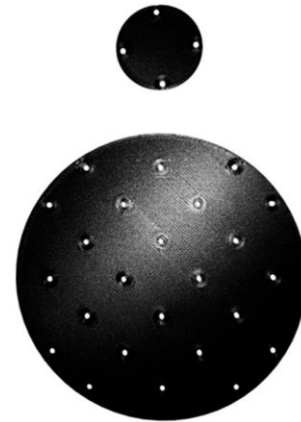
Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Reikälevy 2/2

- Mitattu absorptiokerroin kun **kapeneva tai levenevä** reikä.
- Reikäväli 18 mm, levypaksuus 1 mm, levyn takana 24 mm polyuretaani.
- Reikämuutos **4** → **2 mm**.
- Markforged II –tulostin, Onyx hiilikuitu-nylon materiaali.
- Mittaukset 30 ja 100 mm impedanssiputkissa.
- Taajuusväli 100-4000 Hz

Kuvat: C Patil ym. *Modelling* 2024, 5, 969–989



Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos

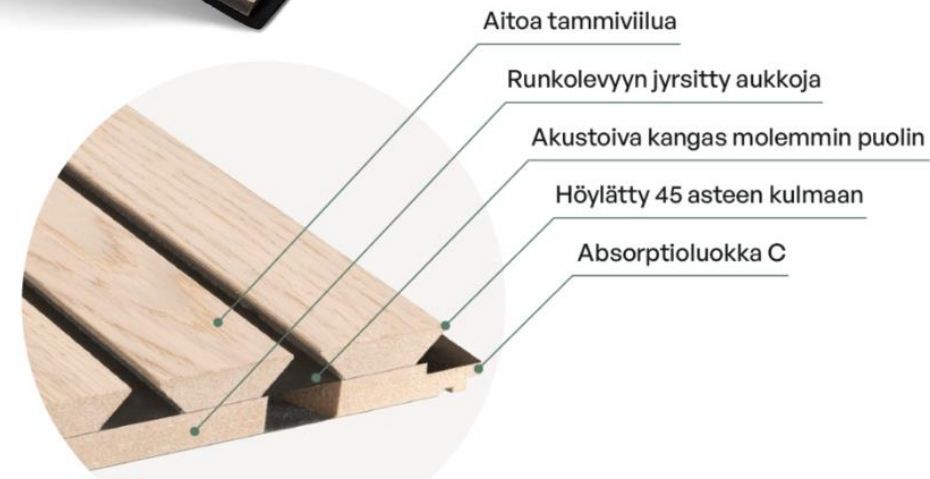
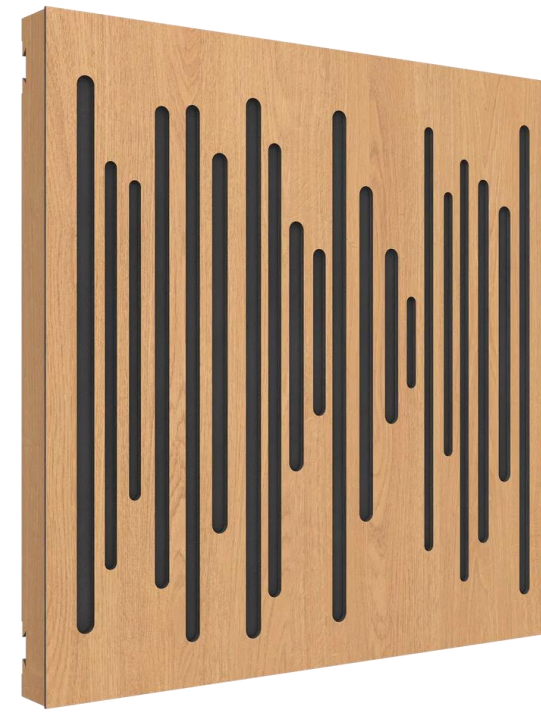


Kuva: vicoustics.com

Rako- tai rimalevy

- Rakoleveys tyypillisesti 5-10 mm
- Rimat luokkaa 1-2 x 3 cm, **rimaväli** tyypillisesti 1-2 cm, aukkoisuus tyypillisesti luokkaa 20 %.
- Rimoja ei suoraan kovalle pinnalle, taustana useimmiten kuitulevy tai 4-10 cm ilmaväli.
- **Absorptiokerroin** luokkaa 0,2

Kuva: modernfurniture.com.au,
woodflex



Kuva: botniapanelis, akustiikkapaneelit



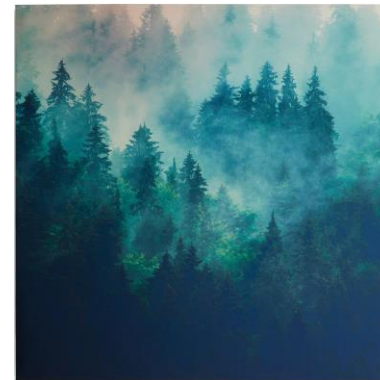
Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Kuitupaneeli

- Ääntä absorboiva ja vaimentava materiaali.
- Huokoinen (hengittävä), yleisimmin kivi-, lasi-, muovi- tai lastuvillaa, tai huopaa.
- Paksuja kivivillalevyjä käytetään **bassoansoina**.
- Levymuoto voi olla hyvin vaihteleva.
- Akustiikkapaneelin saa myös kuvalla.
- Satunnaistettu ohutkuitutulostus mahdollista? Taloudellinen kannattavuus?



Kuvat: audiovideo-bassoansat; ewona.fi; edella.fi; AJ-tuote; hificentre.fi



Euroopan unionin
osarahoittama

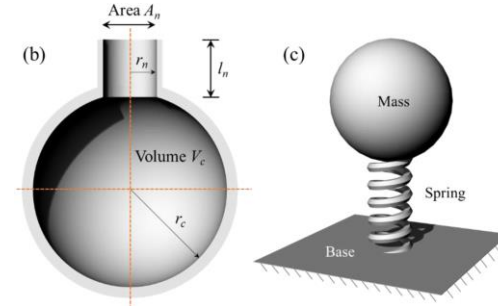
Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



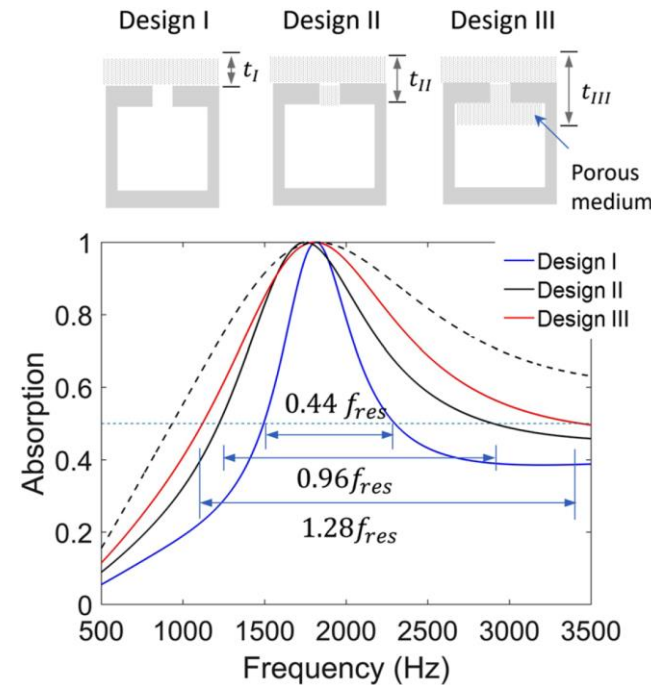
Resonaattori ^{1/2}

- Matemaattisesti resonaattorin **kaulan ilmatilavuus** käyttäytyy kuten vaimentava massa jousi-massa -systemissä.
- Yksikkörakenteella kapea taajuusvaste.
- **Kaulan** piteneminen mataloittaa resonanssitaajuutta.
- Usean **erikokoisen** kammion yksikkörakenne leventää absorptiokaistaa.
- **Huokoisen** materiaalin lisäys resonaattoriin leventää absorptiokaistaa.

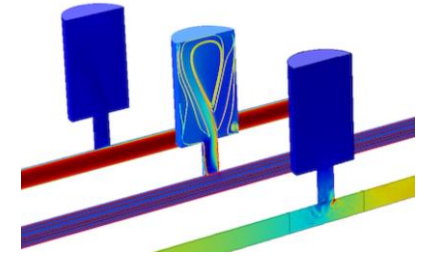
Kuva: Z Chen ym. *Int.J.Mech.Sci.* 266 (2024)



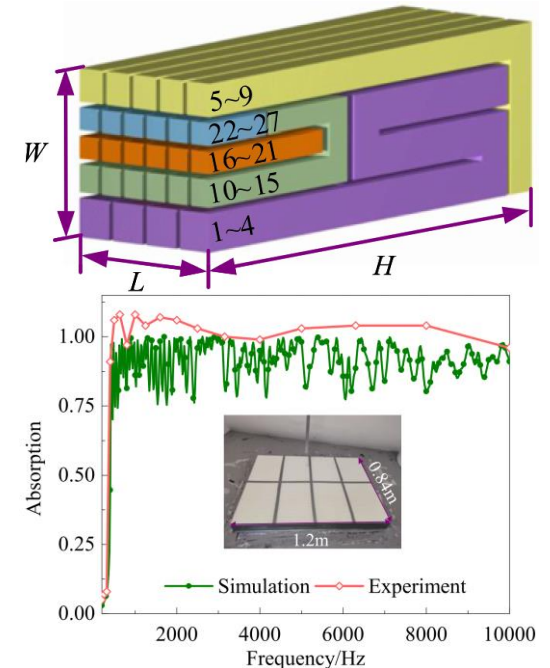
Kuva: T Lee ym. *Nature Sci Rep* 9:13077 (2019)



Kuva: Comsol.com



Kuva: C Liu ym. *APL Mater.* 11, 101122 (2023)



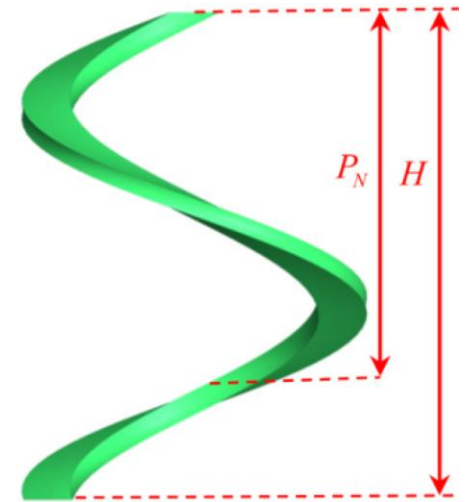
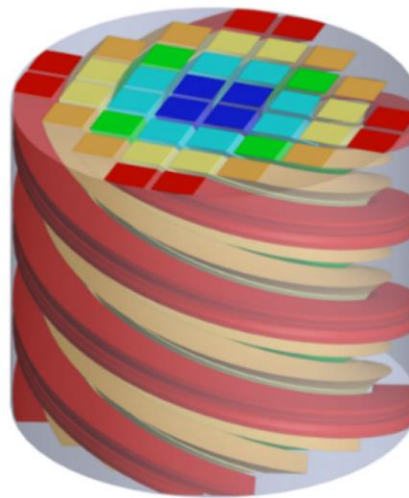
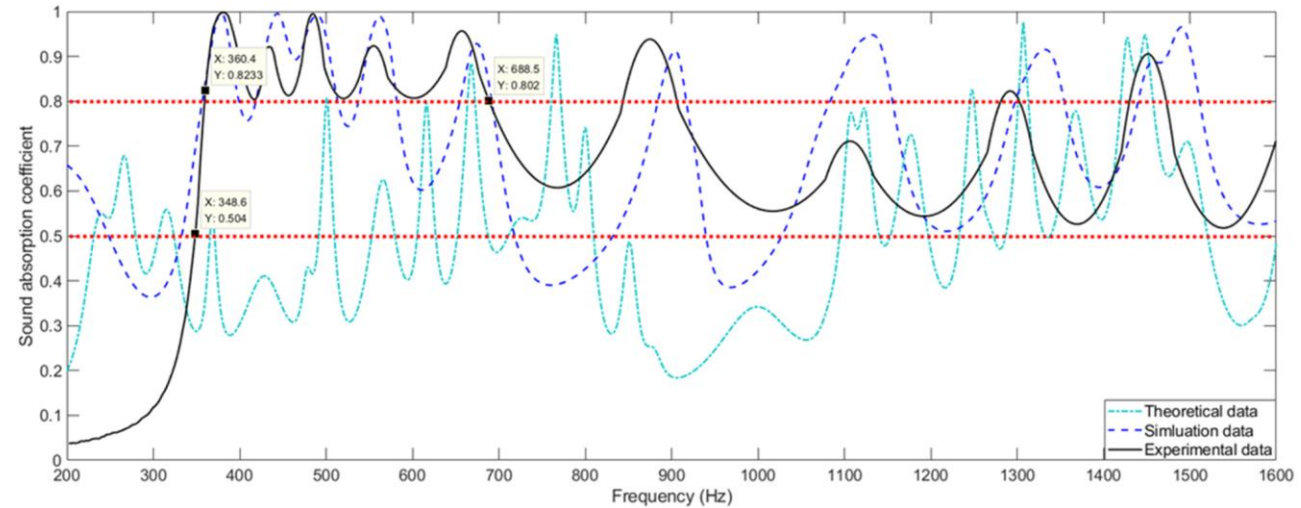
Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Resonaattori 2/2

- Spiraaleita 40 kpl yhdessä sylinterisolussa ($H = 8\text{ cm}$, $\varnothing = 10\text{ cm}$).
- Low force **stereolitography** (LFS) – tulostus, Form3-resiinitulostin, $100\text{ }\mu\text{m}$ kerrospaksuus
- Käyrissä vaalea = teoreettinen, katkoviiva = simuloitu (FEM), ja **musta** = mitattu absorptiokerroin.
- Mitattu taajuusväli 200-1600 Hz (altto-sopraanolaulaja)
- Hyvä absorptio noin $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ ja $\frac{3}{4}$ aallonpituuksilla.



Kuvat: H Duan ym. *Materials* 2022, 15, 3882



Euroopan unionin
osarahoittama

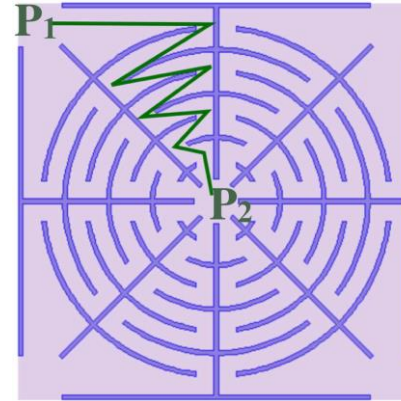
Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Labyrintti

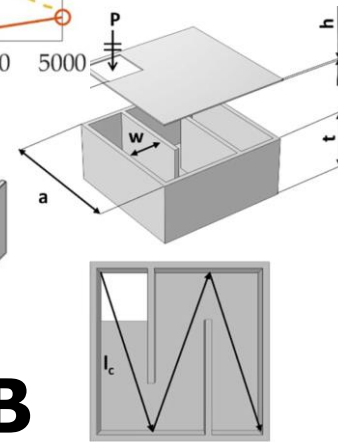
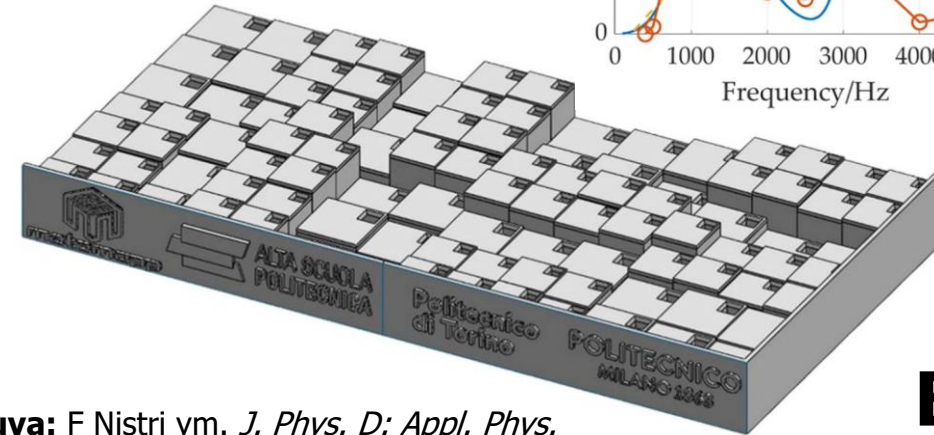
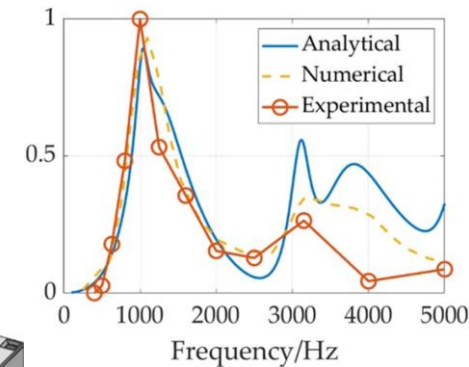
- A. Verkkorakenteen **yksikkösolu**, jossa ääni kulkee nurkista keskelle päin. Nurkka-aukon koko sekä kanavien **lukumäärä ja leveys** vaikuttavat vaimennustaajuuksiin.
- B. Yksinkertainen **laatikkolabyrintti** ja sen yksikkösolu, $\frac{1}{4}$ aaltoresonaattori sekä kaiuntahuoneessa mitattu absorptiokäyrä. (Selective laser sintering, SLS, polyamidia)

Labyrinttimäisen rakenteen on sanottu soveltuvan leveäkaistaiseen akustiseen hallintaan.



A

Kuva: A O Krushynska ym. 2017
New J. Phys. 19 105001



B

Kuva: F Nistri ym. *J. Phys. D: Appl. Phys.*
57 (2024) 245111



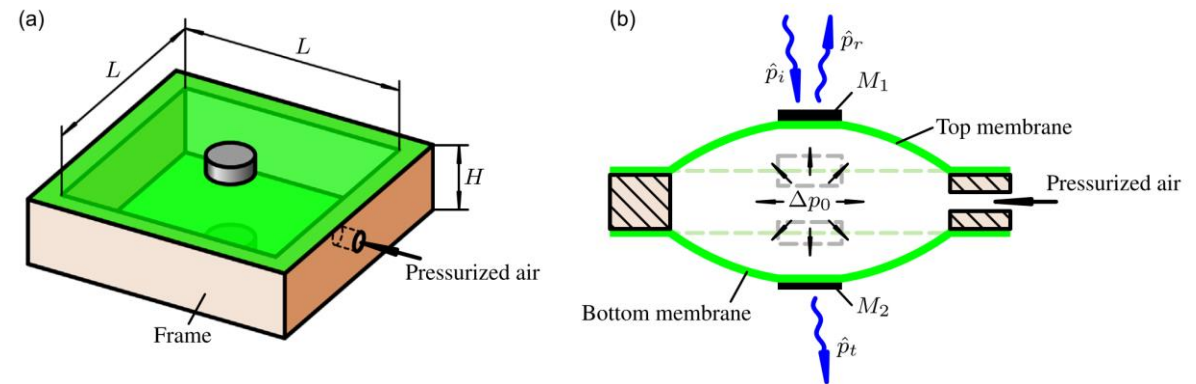
Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos

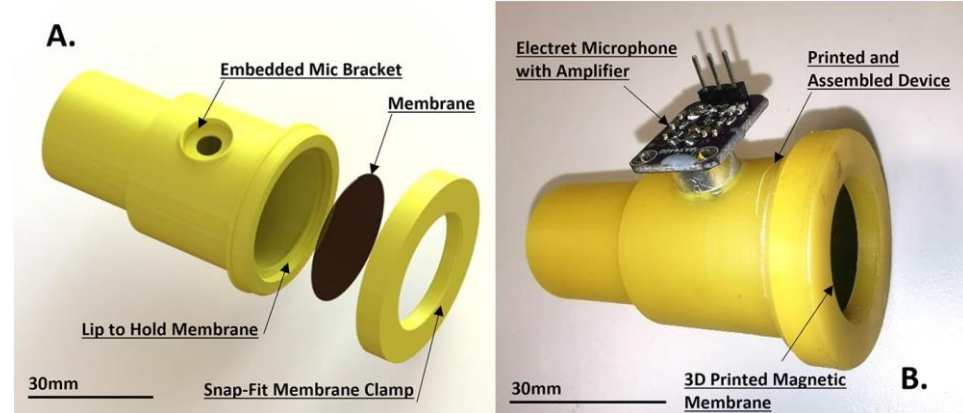


Kalvomassa

- Kiinteä massa elastisella kalvolla. Yksikkörakenteella **kapea** taajuuskaista mutta **hyvä absorptiokyky**.
- Vaimennusalue 20-1000 Hz, tyypillinen halkaisija 100-20 mm.
- Absorptiota muutettavissa **kalvokireydellä** ja massajakaumalla.
- **Epäsymmetrinen** massa parempi.
- Sarjarakenne **leventää** absorptiokaistaa.
- Kalvopaksuus millimetritluokkaa, mutta ohut kalvo hankala tulostaa.
- **Magneettinen kalvo** 3D-resiinitulostuksella



Kuva: Langfeldt F, *Journal of Sound and Vibration* 373 (2016) 1-18.



Kuva: A Gardiner, *Nature Scientific Reports* (2024) 14:15044



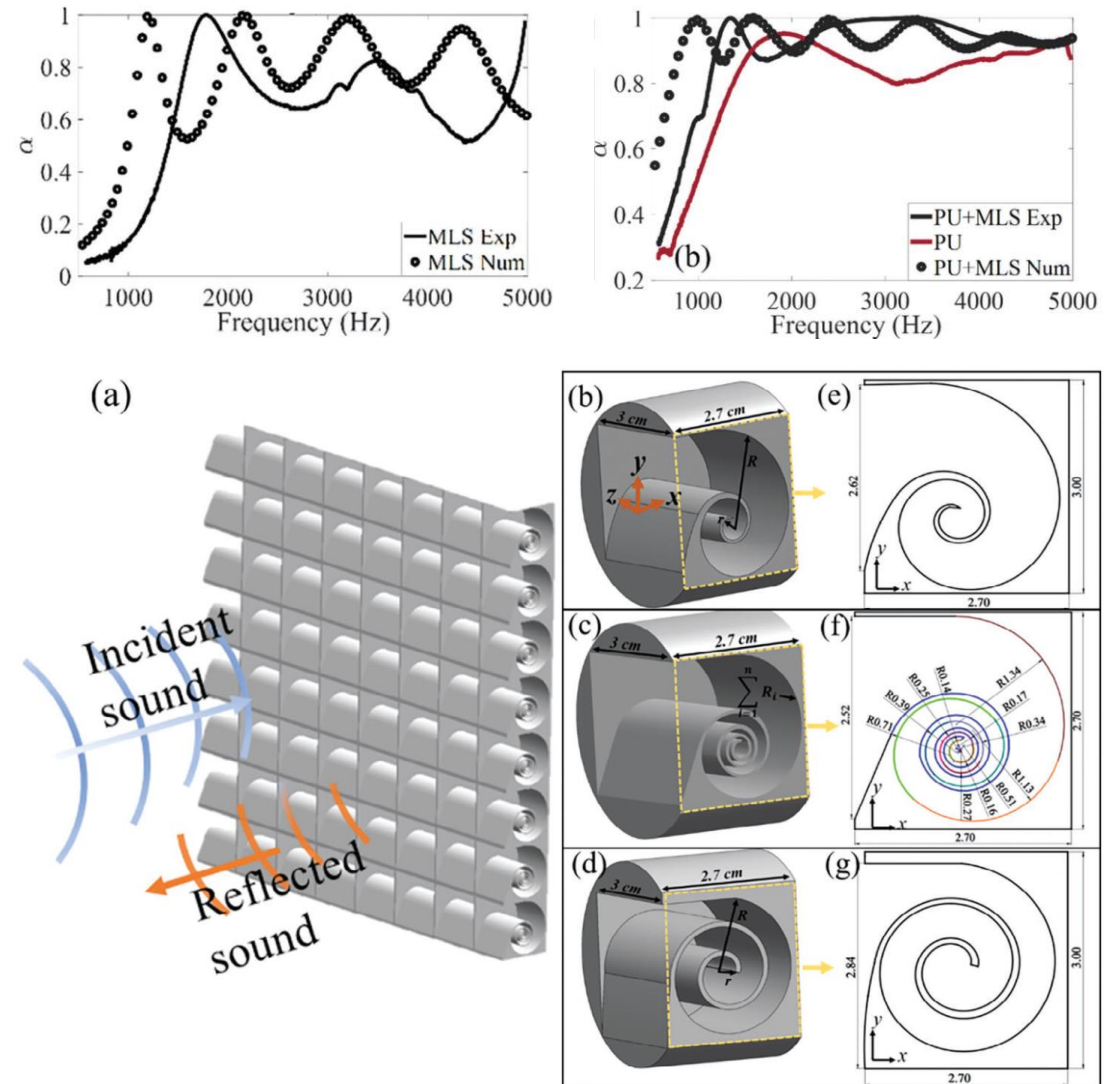
Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Soluseinämä

- 3D-tulostetut testikappaleet, *fused deposit modeling* (FDM), materiaalina *polylactic acid* (PLA)
- Erilaisia spiraalirakenteita
- **Yksikkösolu** 4x4 cm ja syvyys 2,7 cm.
- **Absorptiokerroin**-mittaukset impedanssiputkissa 40 ja 100 mm (kuvan käyrät 40 mm).
- Polyuretaanivaahtolevy 27 mm (PU) spiraalin edessä.
- MLS = *modified long spiral* (keskimäinen spiraali)



Kuvat: S B Gebrekidan ym. *Adv. Mater. Technol.* 2024, 9, 2301239



Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos

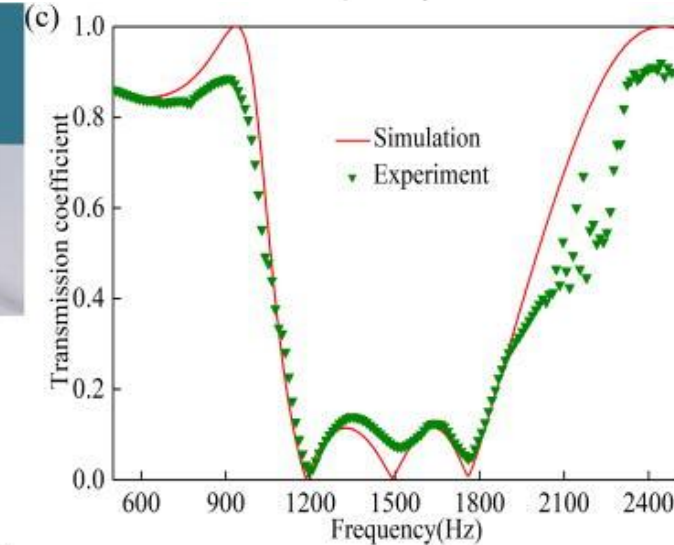
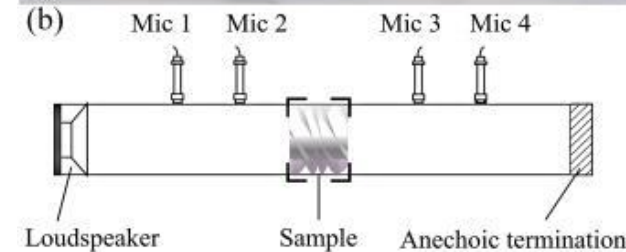
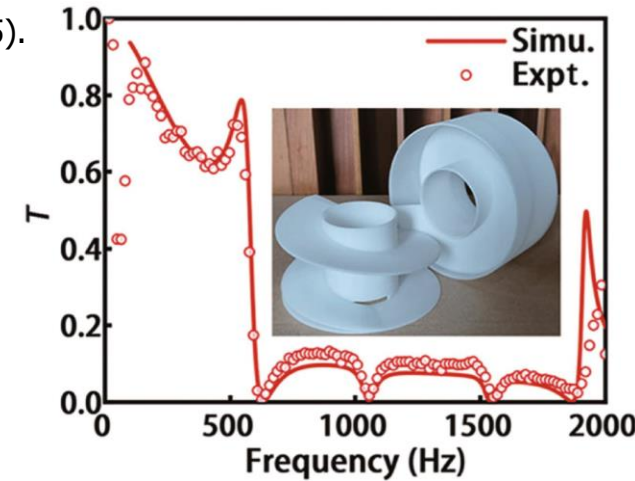
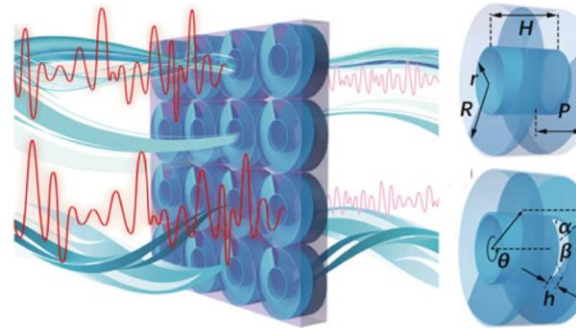


Väliseinämä

Yksikkösoluista rakennettu väliseinämä äänen vaimentamiseksi.

- Soluissa keskireikä ja spiraalisiivekkeet.
- Ilma pääsee kulkemaan keskireikien läpi.
- Vaimentaa yli 90% taajuusvälillä 600-1900 Hz

Kuvat: N Zhen ym. *npj Acoustics* 1:7 (2025).



Kuvat: Y Tang *J. Acoust. Soc. Am.* 152, 2412–2418 (2022)



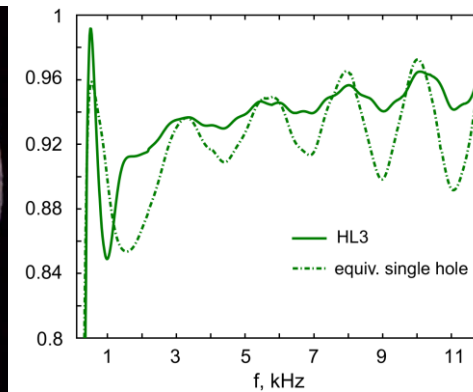
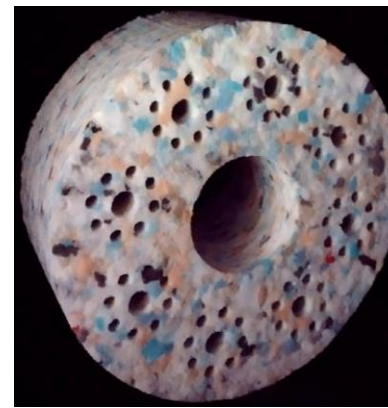
Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos

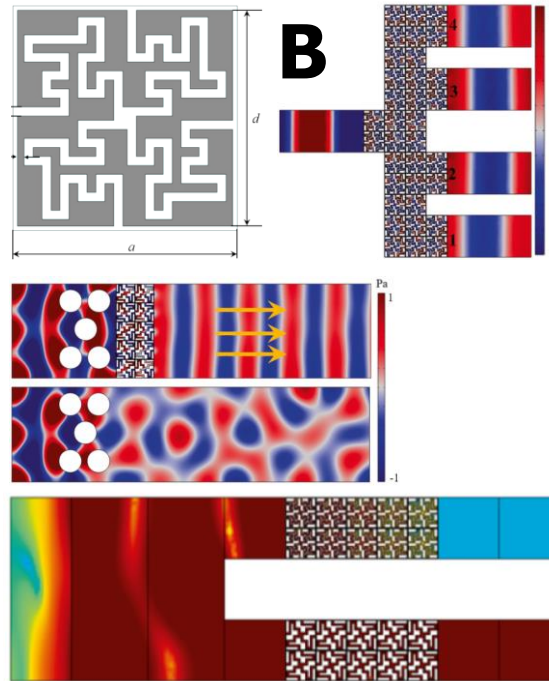


Fraktaalirakenne

- A. Sierpinski-fraktaalireikäisen** materiaalin absorptiokerroinkäyrä, ja alaltaan vastaavan kokoisen yksireikäisen materiaalin käyrä.
- B.** Kaavio yksikkörakenteesta, jolla muodostettiin useita **mallinnettuja äänimanipulaatioita**.
- Aaltorintaman muokkaus,
 - monistus ja jakaminen,
 - Rakennetta testattiin **epoksi-resin** – tulosteilla, yksikkökuutio 1 cm^3 .
- C. Fraktaalilabyrintti**, resiinituloste, reikä 5 mm, levy 3 mm, ontelotila 12 mm syvä.



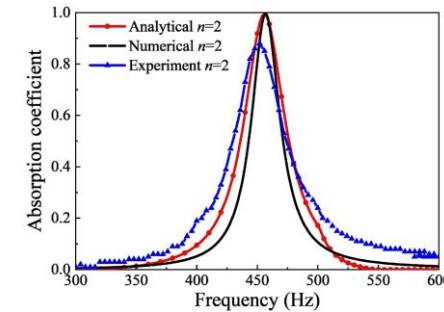
Kuvat: C He ym. *Applied Acoustics* 242 (2026)



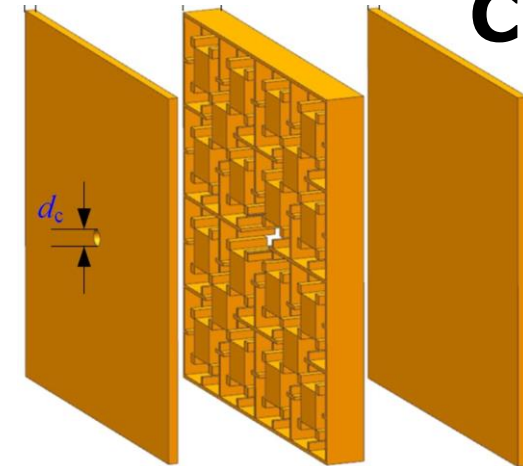
A

Kuvat: S Kuznetsova ym. *npj Acoustics* 2025

Kuvat: D Cao ym. *Acta Mechanica Sinica*, Springer 3.7.2025.



C



Euroopan unionin
osarahoittama

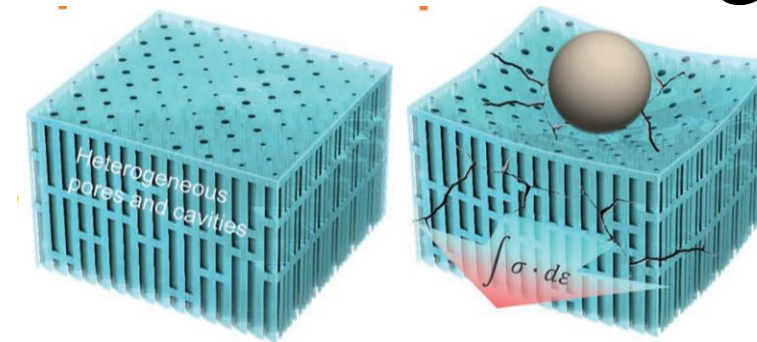
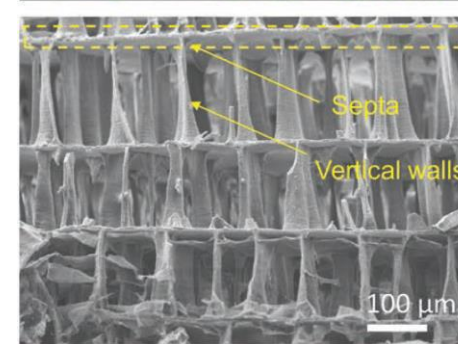
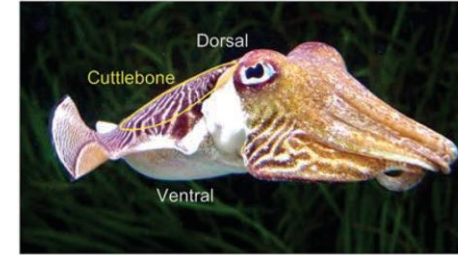
Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Biorakenteita ^{1/2}

- A. Yöperhosen siipi absorboi lepakoiden **ultraääniä**.
- B. Seepiansuomu (*cuttlebone*), reijitetty monikerroksisen aaltopahvin kaltainen **kerrosrakenne** absorboi hyvin ääntä (ja iskuenergiaa).
- C. Sekakoosteinen seepiansuomurakenne koostuu **erimittaisista onteloista** (2-10 mm) ja erikokoisista reijistä (0,5-1 mm). Asiga Max X27 –tulostin, NovaStan-resiini.

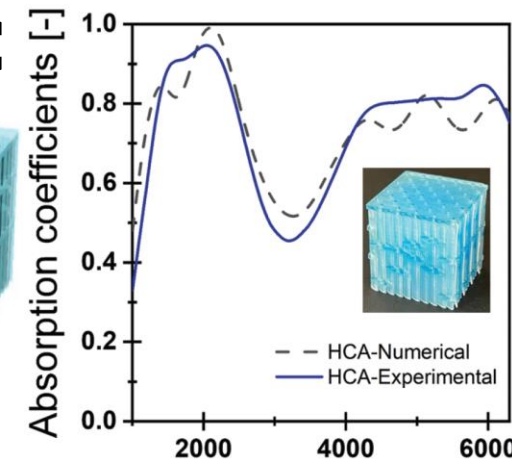
Standardi 30 mm impedanssiputki absorptiokerroinmittauksissa.



B

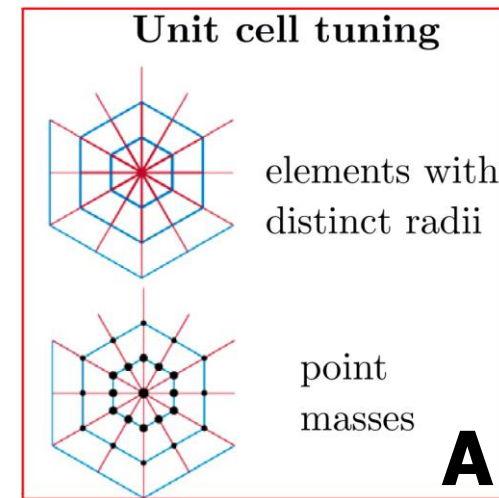
Kuvat B ja C: . Li X ym. *Adv.Funct.Mater.* 2023, 33, 2210160

C

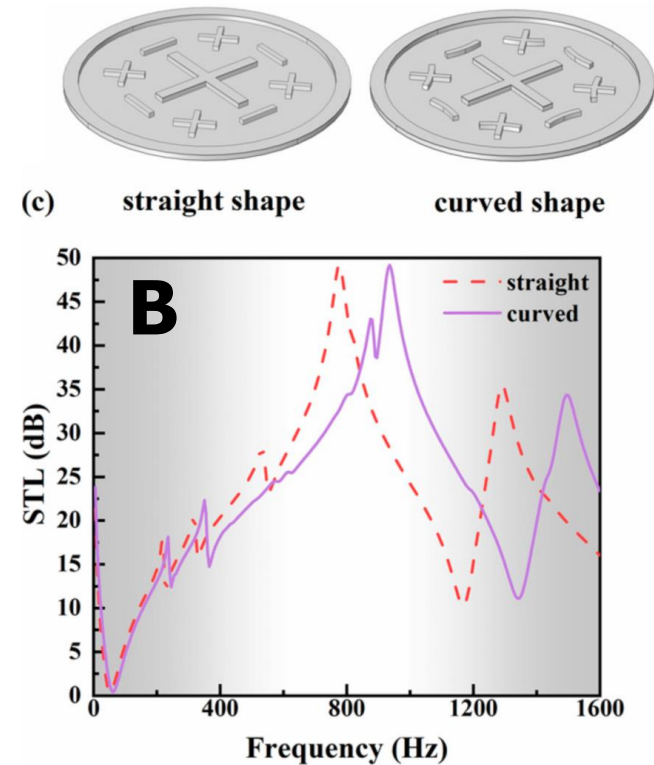


Biorakenteita ^{2/2}

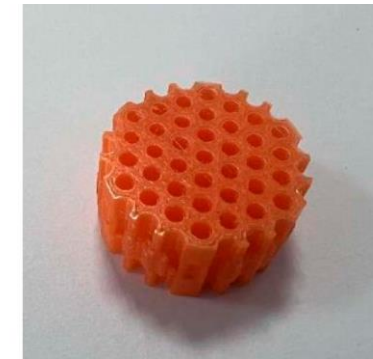
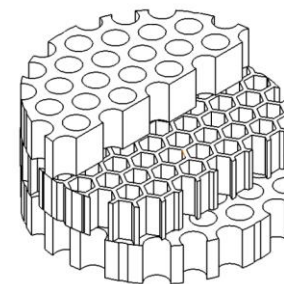
- A. **Hämähäkkiseitin** inspiroiman kalvomassarakenteen kaavio.
- B. Äänenvaimennuskäyrät suorareunaisille ja käyrille **kalvomassoille**. STL = *sound transmission loss*.
- Polyimidikalvo 0,2 mm
 - Kehä ja massat **tulostettu** etyleeni-vinyyliasetaatti-kopolymeerista (EVA)
 - 10 cm impedanssiputki
- C. Puusolujen kaltainen reikärakenne
- Reiät – hunajakkenno – reiät
 - FDM/FFF tulostus
 - ABS-muovia



Kuva: VFD Poggetto
Front.Mater. 5.4.2023



Kuva: H Huang *Polymers* 2021, 13, 1146



C

Kuva: Y Ma *Materials* 2023, 16, 7148.

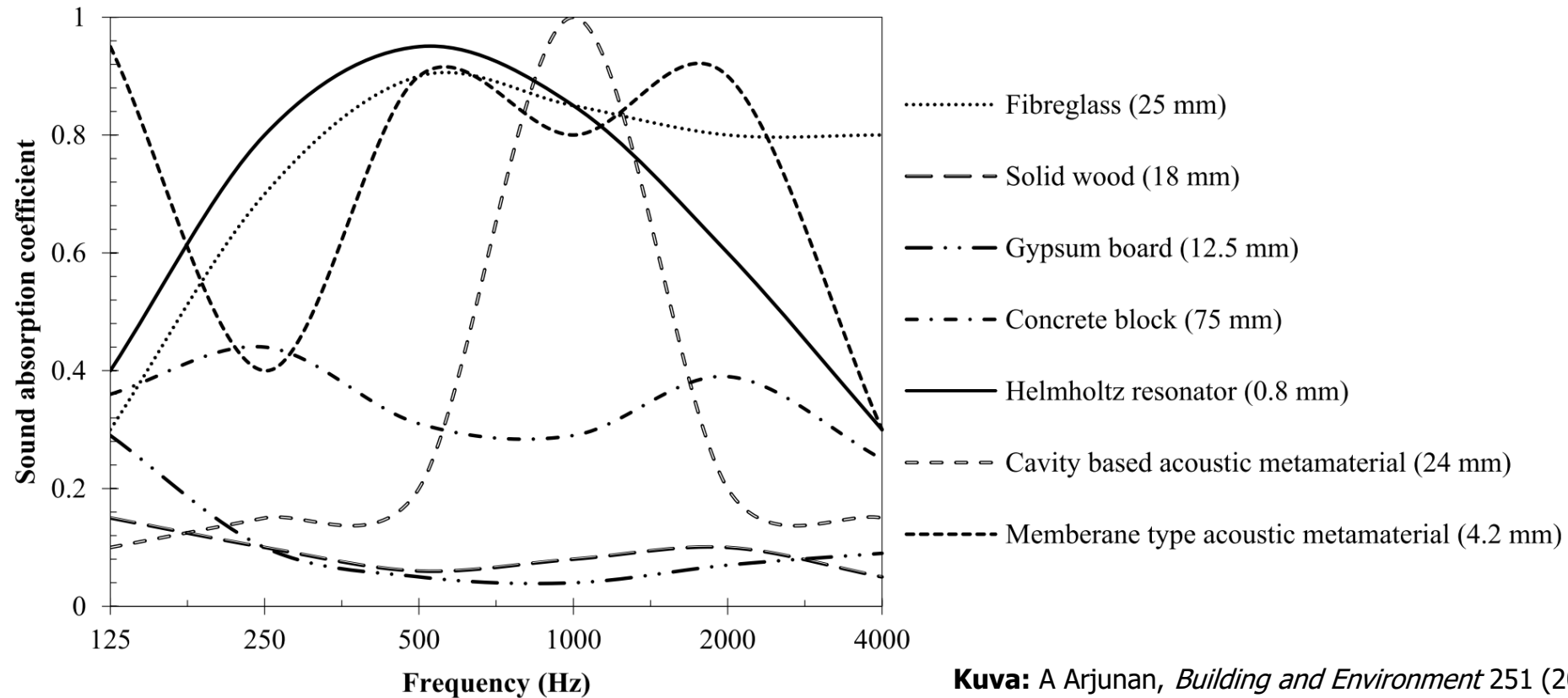


Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



Absorptiovertailu



Kuva: A Arjunan, *Building and Environment* 251 (2024) 111250



Euroopan unionin
osarahoitama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



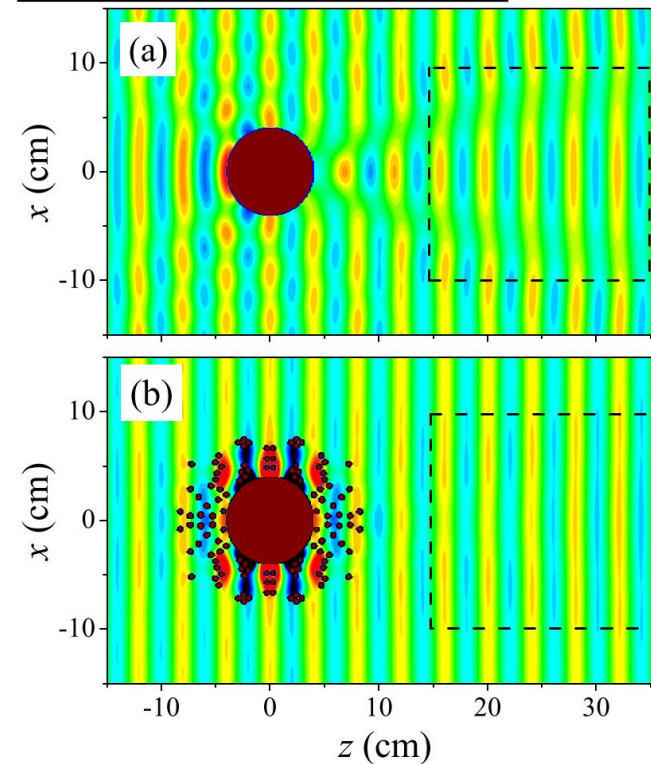
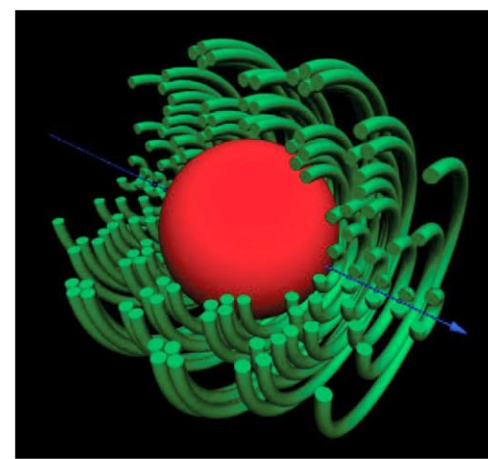
Häive-esimerkki

Yläkuvat: Kiinteän muovipallon ympärille on tulostettu muovista 60 samankeskistä rengasta.

- Pallon halkaisija 4 cm, rakenteen pituus 17 cm.
- Renkaiden halkaisija 0,53 cm

Alakuvat: Rakenne kumoaa 90% pallon aiheuttamasta sironnasta kapealla taajuuskaistalla.

- Äänen aallonpituus 4,0 cm, taajuus 8,62 kHz (+22 °C).



Äänenpaine-
mittaukset
katkoviivalla
rajatulla
alueella.

Kuvat: Sanchis L ym.
Phys.Rev.Lett. 110
124301 (2013)



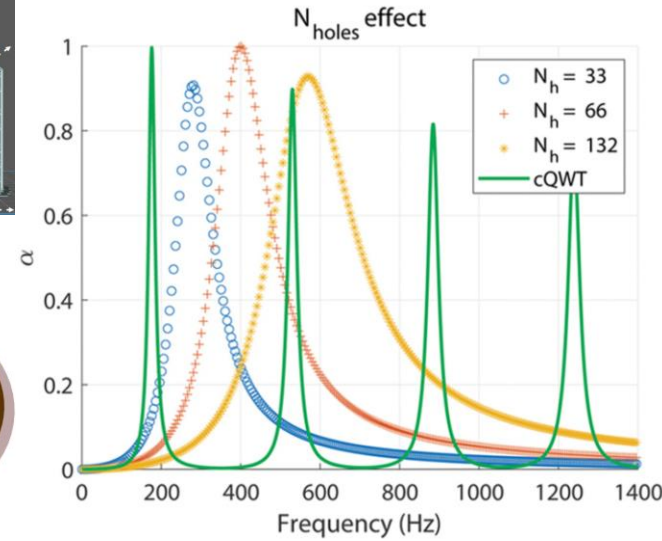
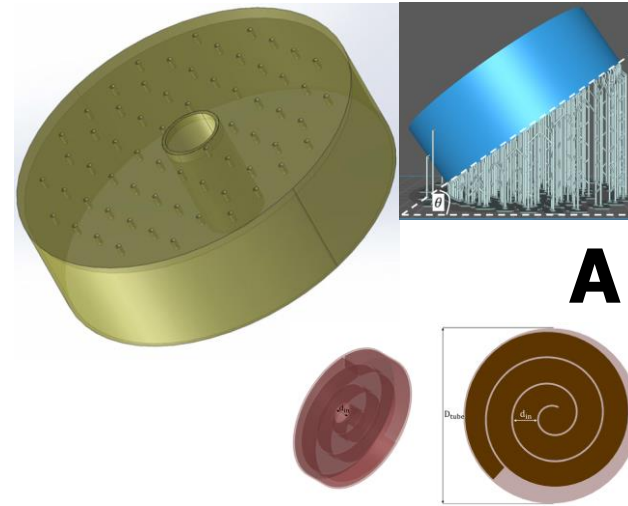
Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos

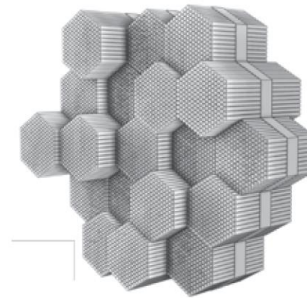


Malleja

- A. 3D-tulostettu reikälevy
- Reiät 1 mm noin 33-66-132 kpl
 - Yksikkökappale Ø 10 cm
 - Levypaksuus 1-3-6 mm, PLA ja resin
 - Absorptiokäyrät mallinnettu
- B. Muovipillirakenne
- **Juomapilleistä** rakennettuja kuusikulmaisia pilliryhmiä
 - Suurin syvyys noin 30 cm
 - Yksikköpilli **muovia** Ø 7 mm
 - Eri mittaisia pillejä ryhmittäin
 - **Mallinnettu** Matlabilla ja yksittäispillejä **mitattu** impedanssiputkessa, hyvä vastaavuus absorptiokertoimilla.



Kuvat A : G Catapane ym. *J. Acoust. Soc. Am.* 154, 3027–3040 (2023)



- $\frac{1}{4}$ wavelength tubes, open side
- $\frac{1}{2}$ wavelength tubes

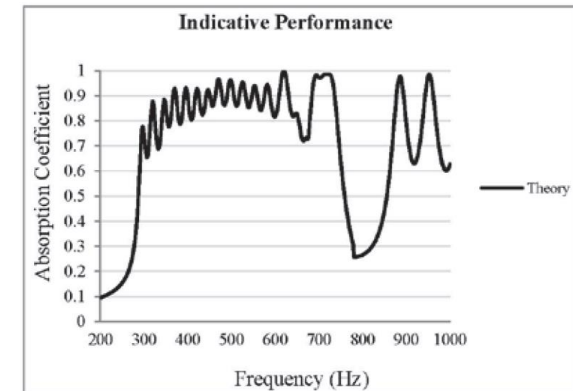


Figure 12 – design proposal

Kuvat B: I Christia ym. *Proceedings 23rd Int Cong Acoustics*, Aachen.



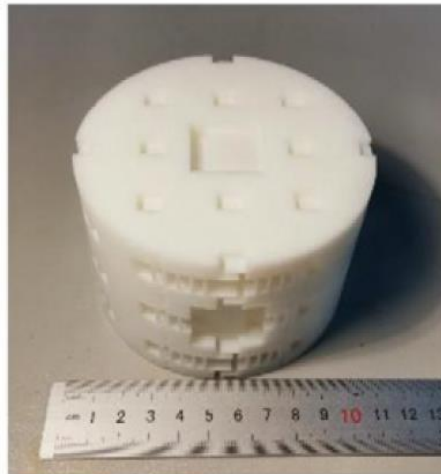
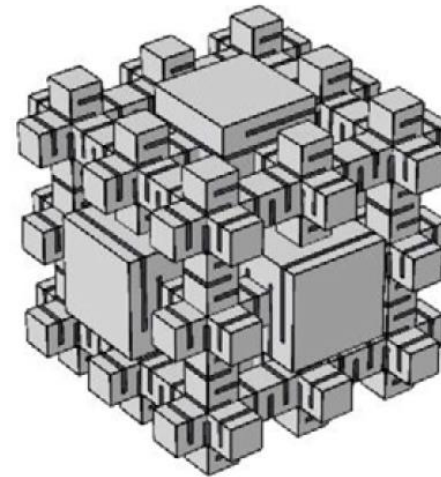
Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos

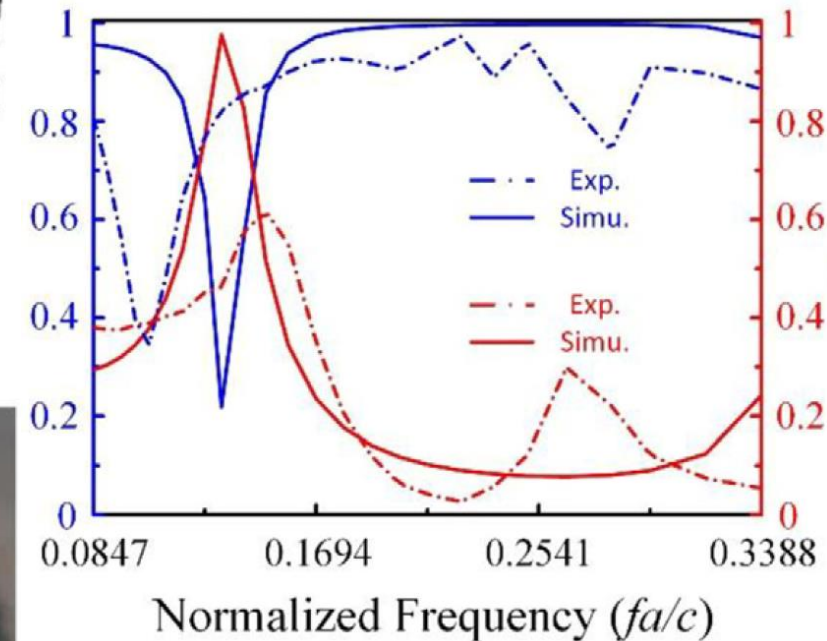


3D- fraktaalirakenne ^{1/2}

- **Menger**-fraktaalirakenne, jossa kanaviin lisätty **levyjä** (mustat viivat)
- COMSOL-mallinnus
- Impedanssiputkeen testikappale Ø 10 cm
- Sininen käyrä heijastuskerroin, punainen käyrä transmissiokerroin.



Kuvat: Y Liu ym. *Materials and Design* 188 (2020)



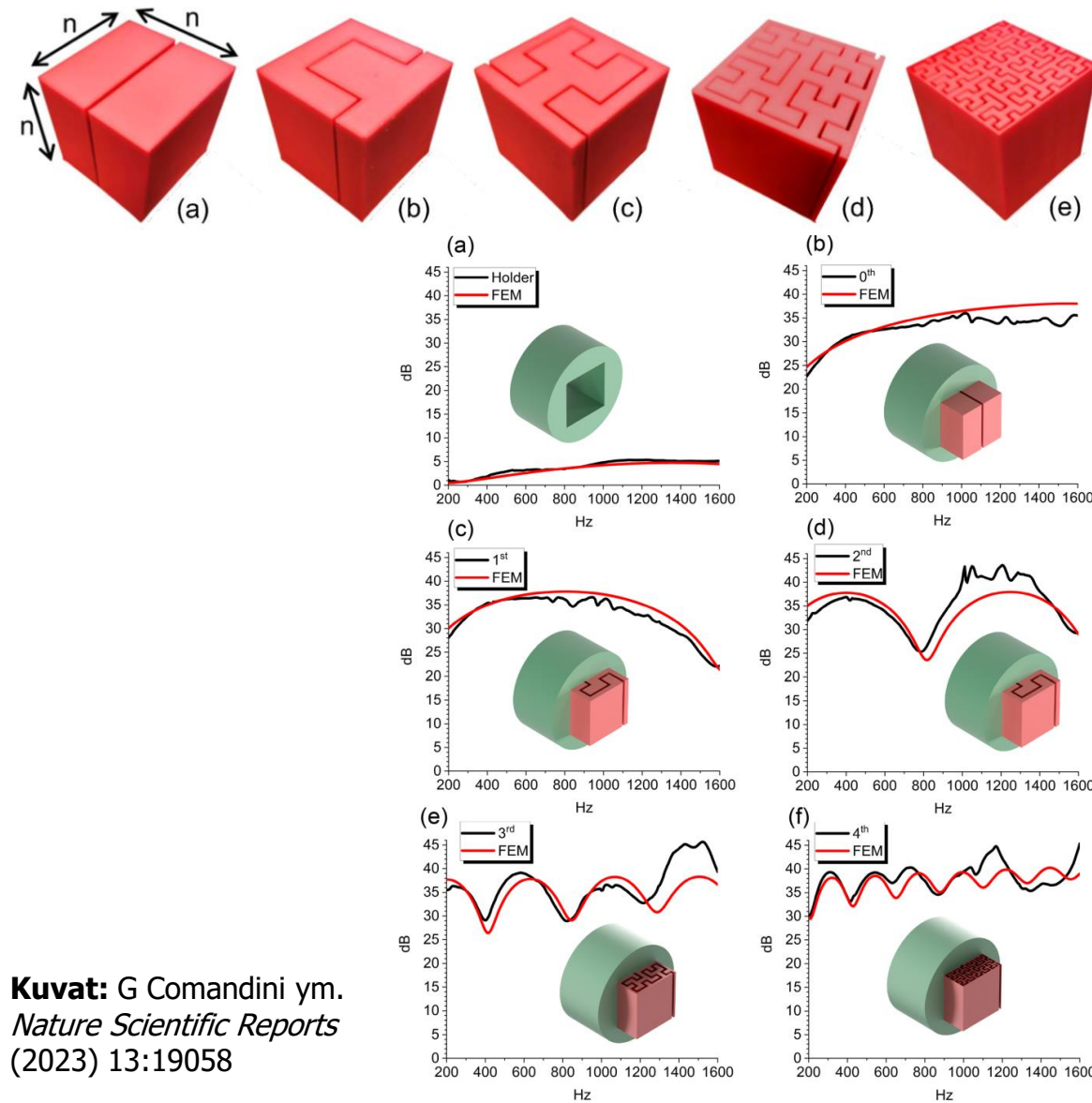
Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



3D-fraktaalirakenne 2/2

- **Hilbert**-fraktaalirakenne
- Kuution sivu 50 mm, rako 1 mm
- Mallinnus (FEM, Comsol) ja kokeelliset mittaukset **200-1600 Hz**
- Käyrät: **musta** kokeellinen läpäisyhäviö, mitattu 10 cm impedanssiputkessa.
- **Kierrätetty** 3DJake-PLA -filamentti, Raise3D Pro3+ -tulostin, kerrospaksuus 0,1 mm.
- Suurempi ilmarako fraktaalissa pienentää läpäisyhäviötä.



Kuvat: G Comandini ym.
Nature Scientific Reports
(2023) 13:19058



Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos

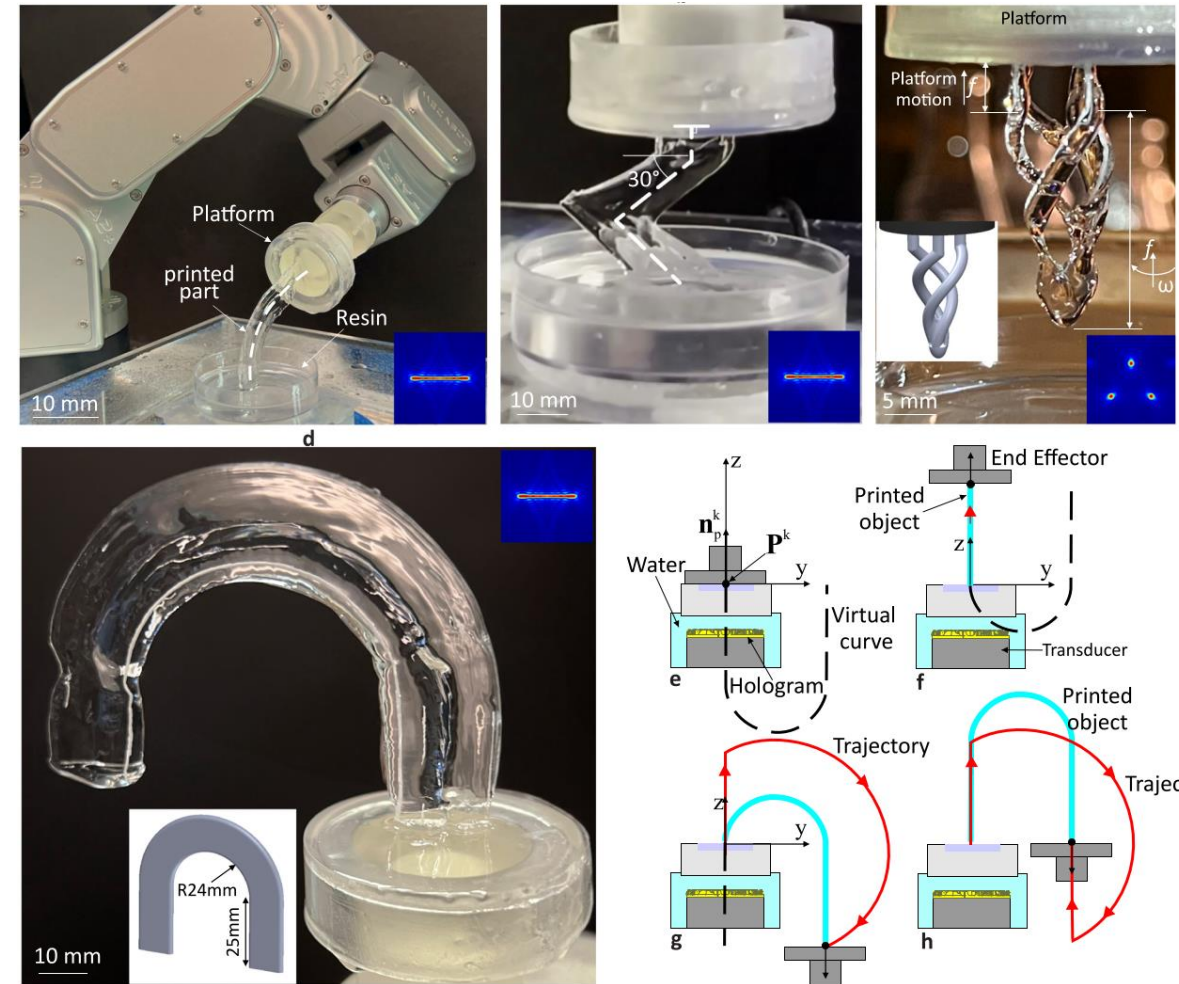


Ääniaalloilla tulostaminen

DSP = *Direct Sound Printing*

HDSP = *Holographic Direct Sound Printing*

- Sähkö-akustisia muuntimia 3 kpl, noin 2 MHz, liikkuvia
- Lisäaine reagoi kuplavyöhykkeellä ja kovettaa materiaalin ultraäänikentän polttopisteessä.
- Tulostusmateriaali SYLGARD 184 (silikoni-elastomeeri), on värjättävissä
- Akustiset hologrammikuviot laskettu pikselitasoittain Matlabilla



Kuvat: M Derayatifar ym. *Nature Communications* | (2024)15:6691



Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos



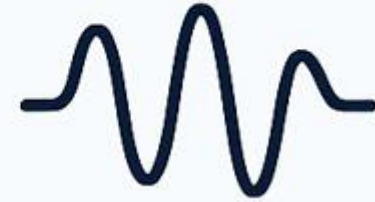
ENNEN



NYT



TULEVAISUUS



- Perinteiset akustiset materiaalit: mineraalivilla, huokoiset levyt, perforoidut paneelit.
- Vaimennus perustui pääasiassa materiaalin ominaisuuksiin.
- Rajoitettu taajuus alue, ei muunneltavuutta

- 3D-tulostetut rakenteet: reikälevyt, labyrintit, fraktaalit, TPMS-hilarakenteet.
- Akustinen vaimennus perustuu rakenteeseen → räätälöitävä taajuusvaste
- Mallinnus (COMSOL, FEM) ja mittaukset (impedanssiputki) ohjaavat suunnittelua.

- **Ääniaalloilla tulostaminen** (DSP, HDSP).
- **Biomimeettiset rakenteet** (esim. yöperhosen siipi, hämähäkinseitti).
- **Älykkäät metamateriaalit:** säädettävä absorptio, kevyet ja monitoimiset rakenteet.
- Laajakaistainen vaimennus ja akustinen häive.



Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos





UNIVERSITY OF
EASTERN FINLAND

Kiitos kun kuuntelit.



Euroopan unionin
osarahoittama

Akustiset rakenteet
Tuomo Silvast, Hannu Korhonen
UEF Teknillisen fysiikan laitos

