

# MSM-materiaalit vedenalaisissa äänilähteissä

1.1.2024 - 30.6.2025

Kari Ullakko, Juhani Tellinen, Olavi Mattila

Tikommat Oy

Panu Maijala

Patria Oyj

Tutkimusseminaari MATINE

19.11.2024

# Tutkimuksen tausta

- Vedenalaisen sodankäynnissä käytetään esimerkiksi [sonareita ja akustisia raivaimia](#). Sonareilla paikallistetaan ja seurataan vedenalaisia kohteita, kun taas akustisilla raivaimilla pyritään laukaisemaan vedenalaisia miinoja jäljittelemällä alusmelua. Näissä tarvitaan hyvin kontrolloituja ja tehokkaita vedenalaisia äänilähteitä.
- Perinteiset vedenalaiset äänilähderatkaisut ovat yleensä [pietsosähköisiä, magnetostriktiivisiä](#), tai sähkömagneettisella kentällä liikuteltavaan [\(puhe-\)kelaan perustuvia](#) ja niillä on vaikea tuottaa vaadittavia äänenpaineita riittävän laajalla taajuusalueella. Lisäksi kehitys kulkee kohti autonomisia laitteita, jolloin laitteiden hyötysuhde nousee tärkeäksi valintakriteeriksi.

# Hankkeen tavoite ja tieteellinen merkittävyys

- Tällä tutkimuksella **selvitetään**, voisiko perinteiset äänilähteet korvata **magneettisiin muistimateriaaleihin (MSM)** perustuvilla aktuaattoreilla. Niiden voimantuotto on merkittävästi suurempi kuin puhekelatyypisellä ratkaisulla ja kiihtyvyyden on suurempi. Tässä tutkimuksessa tavoitteena on myös hakea simuloinnin keinoin optimoitu muoto laajan taajuusalueen ja mahdollisimman suuren äänenpaineen tuottamiseksi.
- **Tavoitteena** on kehittää laajakaistaisia vedenalaisia äänilähteitä, joissa liike tuotetaan MSM-materiaalien avulla.
- **Hankkeen tieteellinen merkittävyys:** Ensimmäisenä maailmassa kehitämme vedenalaisia äänilähteitä, joissa käytetään MSM-materiaaleja liikkeen tuottamiseen.

# Mahdolliset sovellukset

- **Akustisilla raivaimilla** pyritään tuottamaan yli 200 dB @1 m äänenpainetasoja erittäin laajalla taajuusalueella 10 Hz – 100 kHz. Aktiivisonareissa voidaan käyttää hyvin suuria taajuuksia, ja on täysin kiinni vedenalaisesta kohteesta ja halutusta erotteluresoluutiosta, mitä taajuuksia tulee käyttää. Suurtaajuiset aktiivisonarit toimivat taajuusalueella 10 – 50 kHz ja keskitaajuiset 3 – 10 kHz alueella. E erityisen vaativat, paljon tehoa tarvitsevat sotilaskäyttöön tarkoitetut sukellusveneentorjunta-aktiivisonarit saattavat toimia myös suhteellisen pienillä taajuuksilla, alkaen taajuudesta 1 kHz.
- **Vedenalaiset digitaaliset puhelimet** toimivat 8 – 40 kHz taajuuksilla. Hyvin pitkän kantaman yhteyksissä on käytetty taajuuksia alkaen 300 Hz.

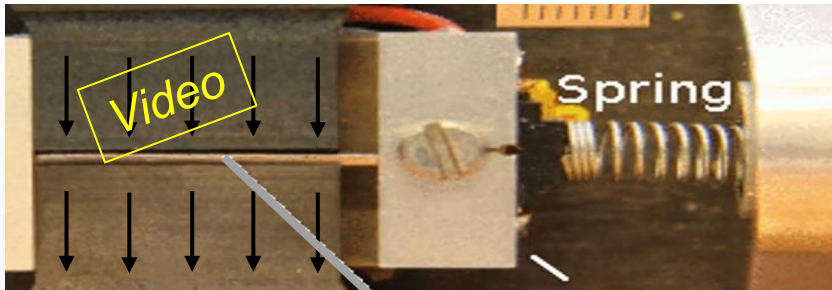
# MSM-metallit tuottavat liikettä ilman pyörää

**MSM-metallit (Magnetic Shape Materials)** venyvät jopa 12 %, kun niihin kohdistetaan magneettikenttä.

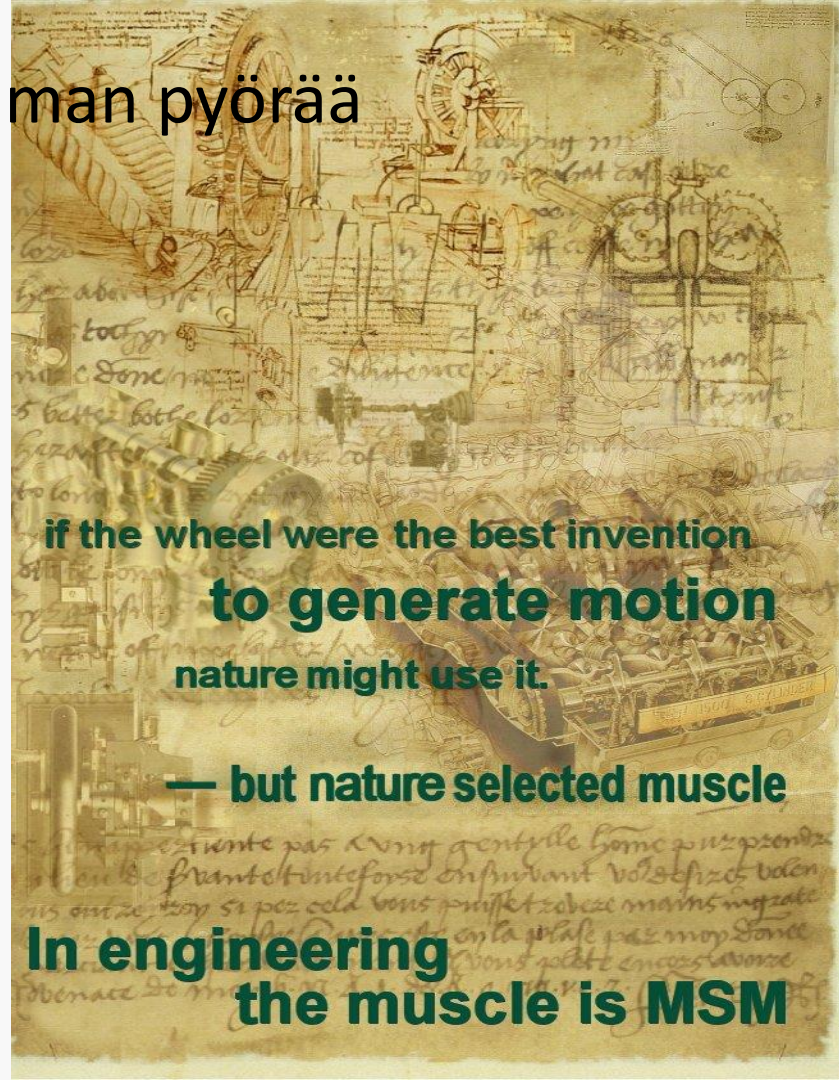
MSM-ilmiön keksi Kari Ullakko MIT:ssa vuonna 1996

*K. Ullakko, et al. Appl. Phys. Lett., Vol. 69 (13), pp. 1966-1968, 1996*

Alternating magnetic field between 0 – 0.2 T



MSM material (Ni-Mn-Ga) 1 x 2 x 20 mm<sup>3</sup>

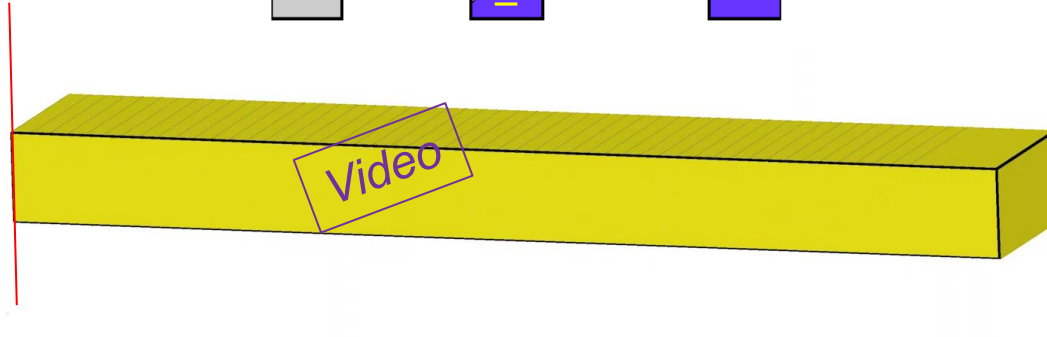
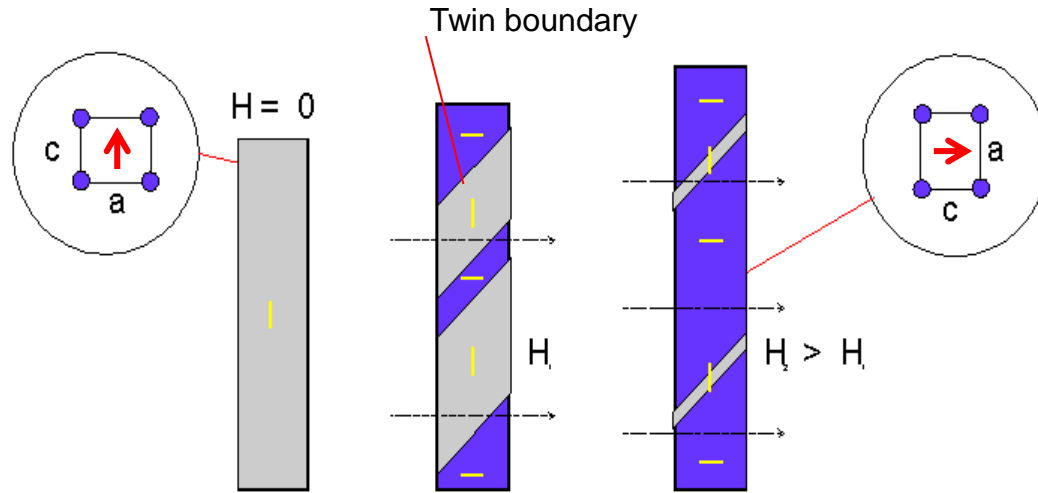


**if the wheel were the best invention  
to generate motion  
nature might use it.**

**— but nature selected muscle**

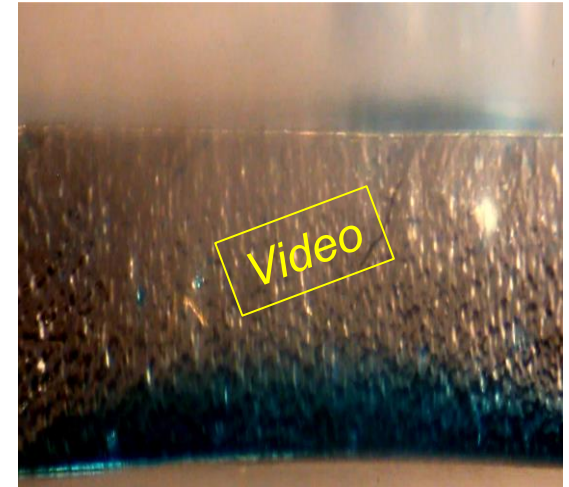
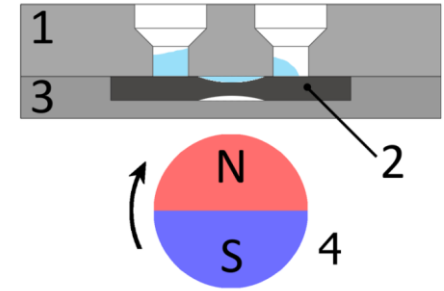
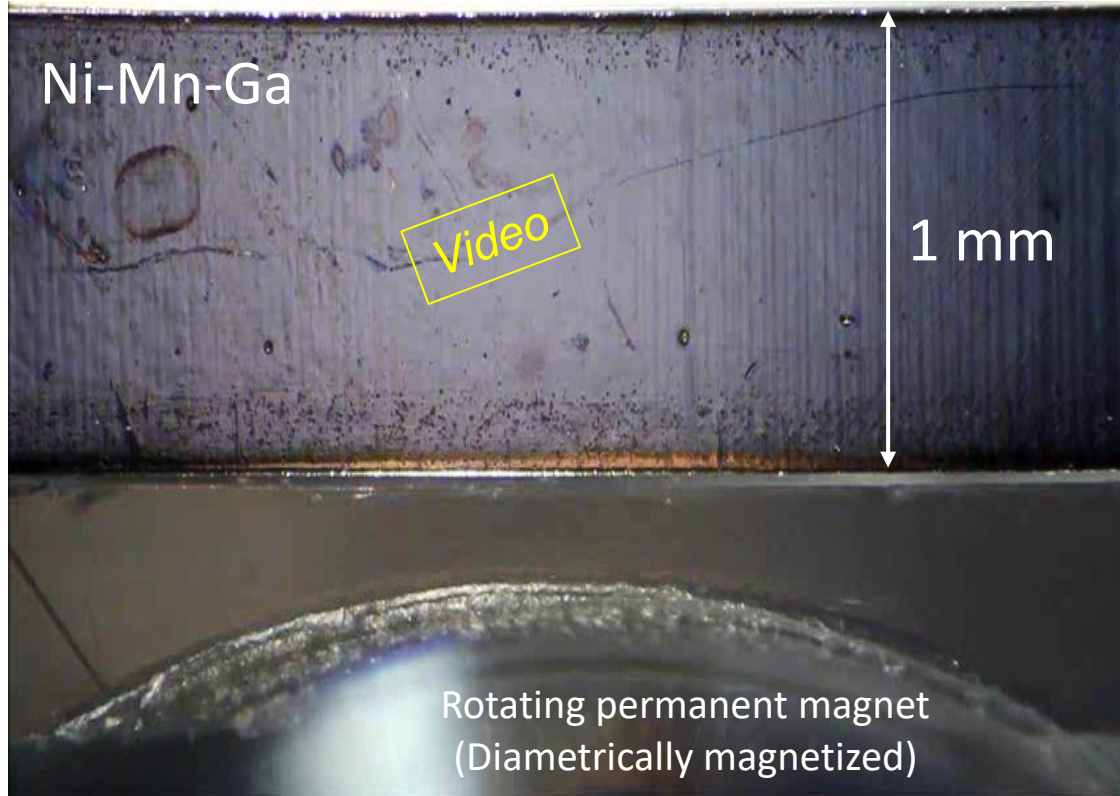
**In engineering  
the muscle is MSM**

# MSM-ilmion toimintaperiaate



$\vec{H}$

# Paikallinen magneettikenttä luo elementtiin kurouman





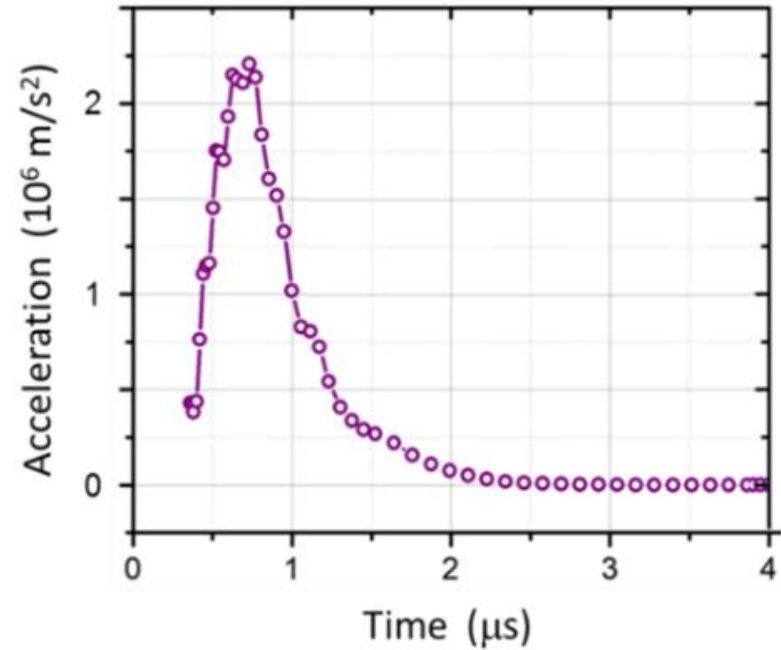
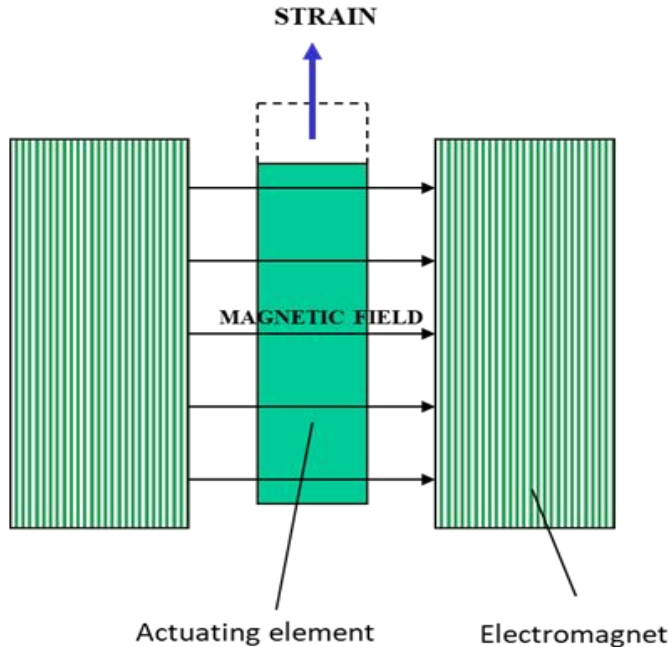
# MSM-elementin suoritusarvot



- Tarvittava magneettikenttä jopa vain **8 mT**
- Vasteaika **< 0.5  $\mu$ s**
- Muodonmuutosnopeus jopa **4 m/s** ja kiihtyvyys **2 000 000 m/s<sup>2</sup>**
- Paikannustarkkuus **muutama nanometri**
- **Hyötysuhde** yli 90 % ja muodonmuutos säilyy ilman lisäenergiaa
- **Langaton** energiansiirto aktuaattoriin

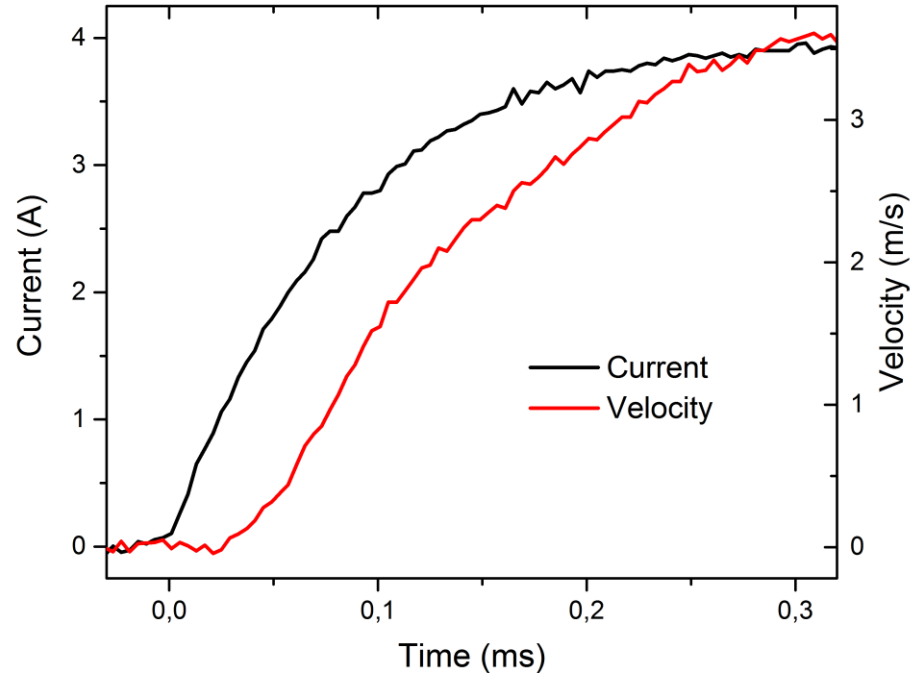
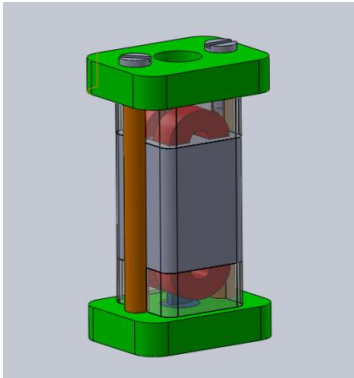


# MSM-elementin muodonmuutoksen kiihtyvyyys yli **2 000 000 m/s<sup>2</sup>**



# Esimerkkiaktuaattorin suoritusarvot

- MSM-elementin koko  $20 \times 2.5 \times 1.0 \text{ mm}^3$
- MSM-elementin maksimivienymä 0.9 mm
- Maksimivoima 5 N

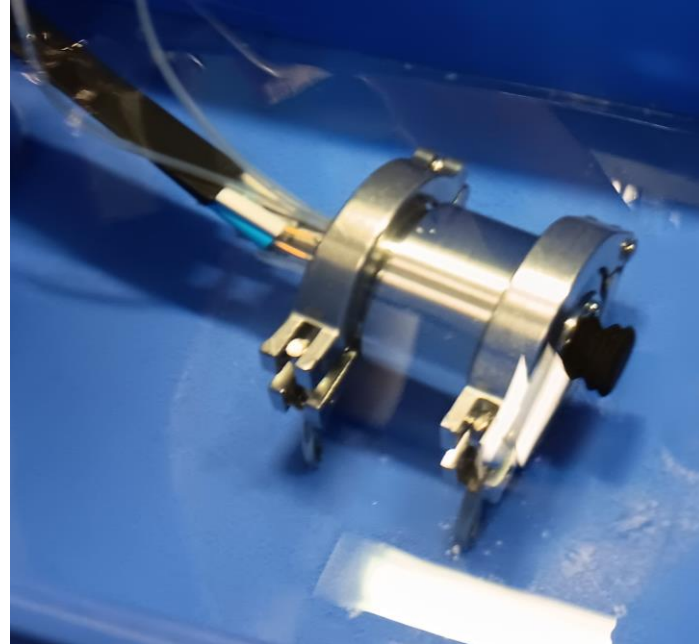


## Miksi MSM-materiaalit soveltuvat erinomaisesti vedenalaisiin äänilähteisiin?

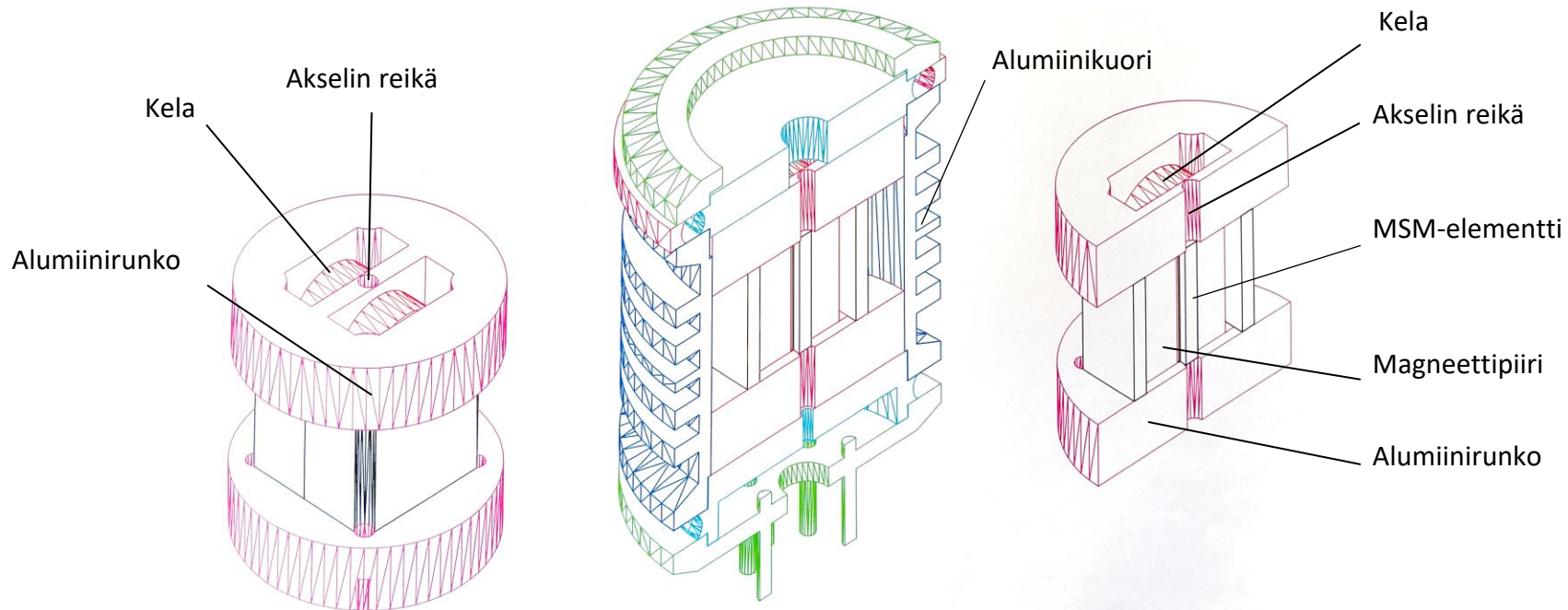
- MSM-aktuaattorit tuottavat **suuren liikkeen ja tehon laajalla taajuuskaistalla.**
- MSM-aktuaattoreiden tuottama **mekaaninen teho siirtyy meriveteen hyvin.**
- Aktuaattorit soveltuvat sekä **analogisen** signaalin että **digitaalisten** pulssien lähettämiseen.

# Valmistettu pienitehoinen äänilähde

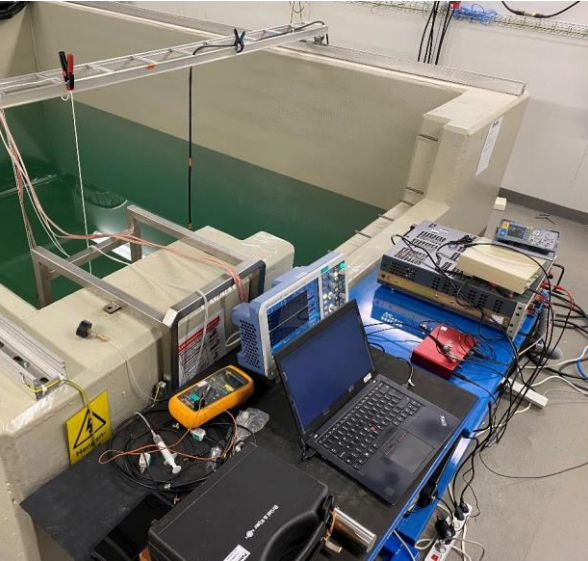
- Amplitudi 0 – 0,4 mm
- Voimantuotto 4 N



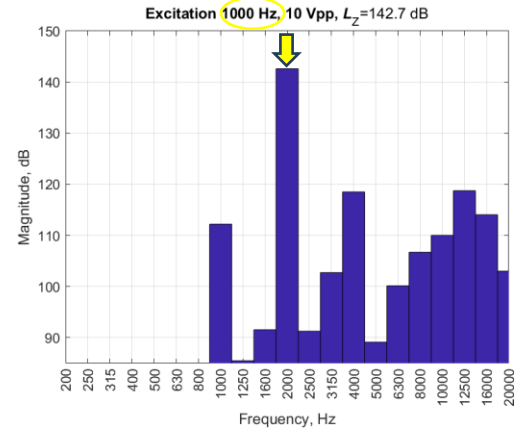
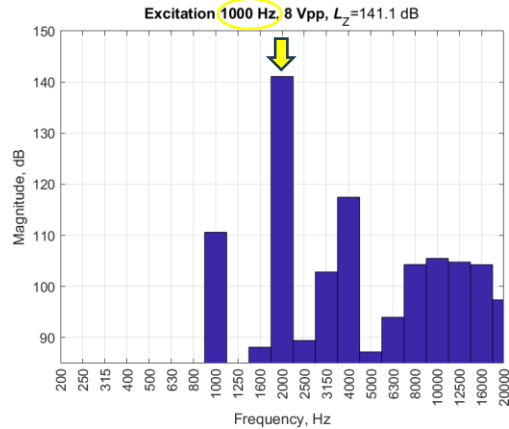
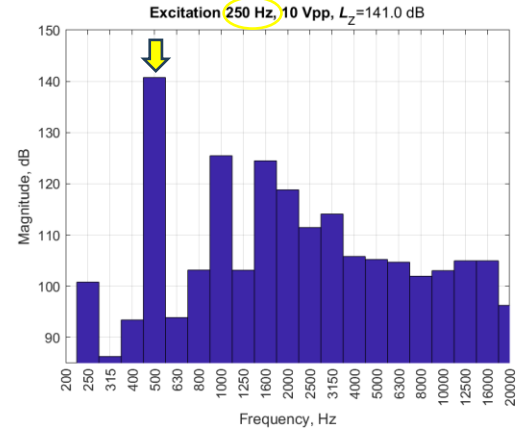
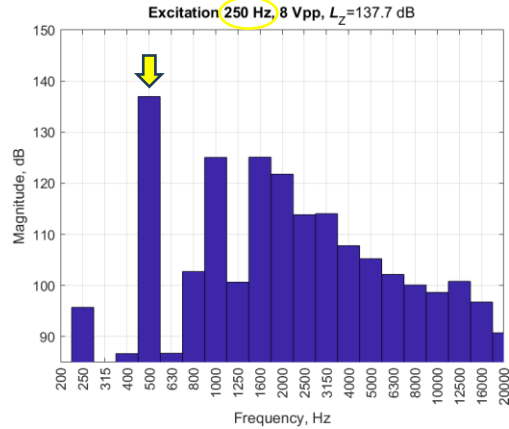
# Kaaviokuva valmistetusta äänilähteestä



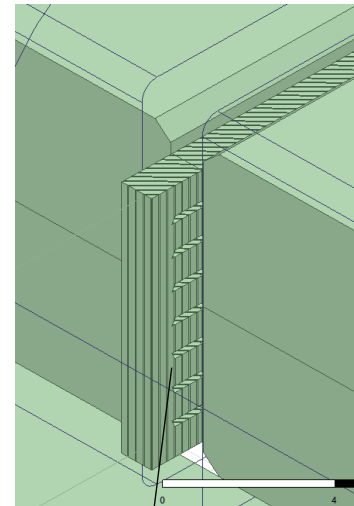
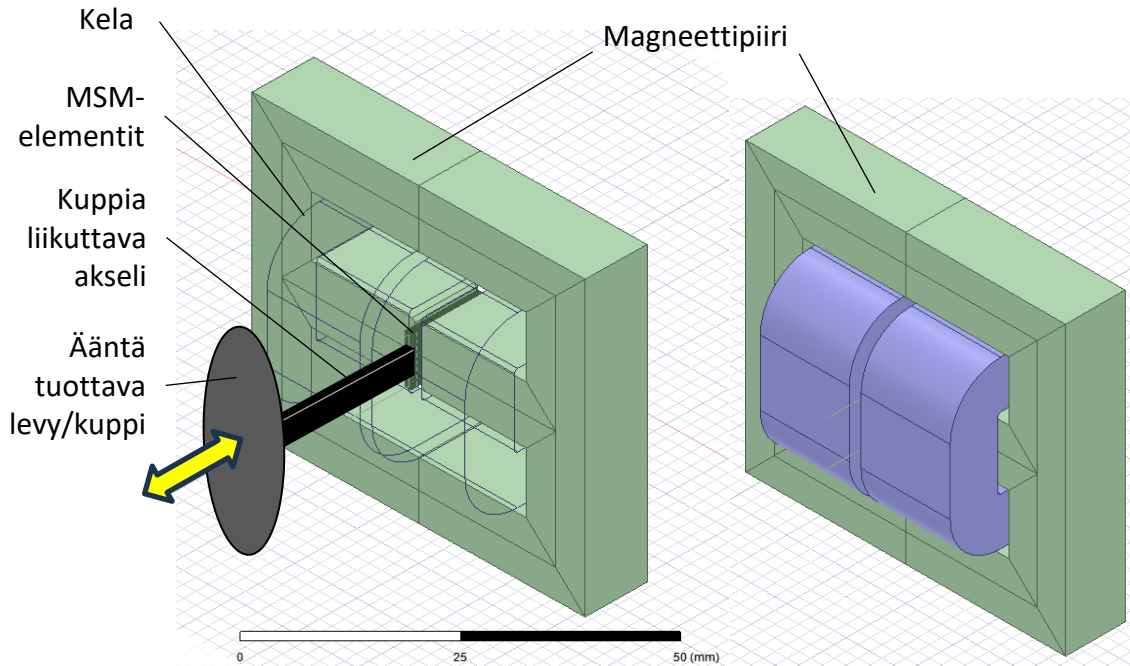
# Vastemittaukset Patrian altaassa



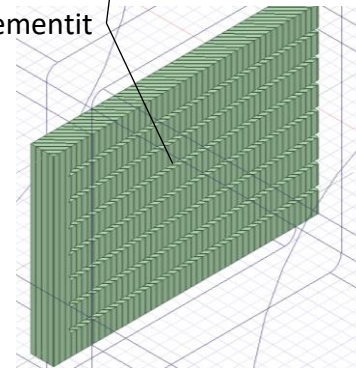
Äänilähteen ja hydrofonin etäisyys 840 mm  
 Syvyys 1000 mm



# Valmisteilla oleva äänilähde taajuusalueelle 0 – 30 kHz



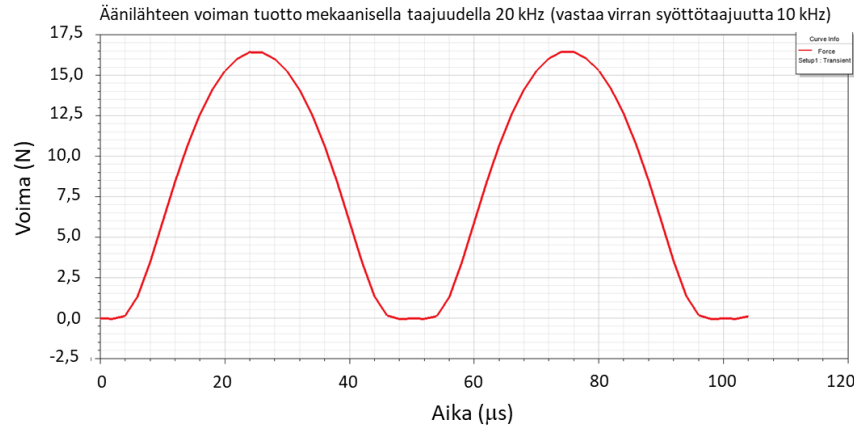
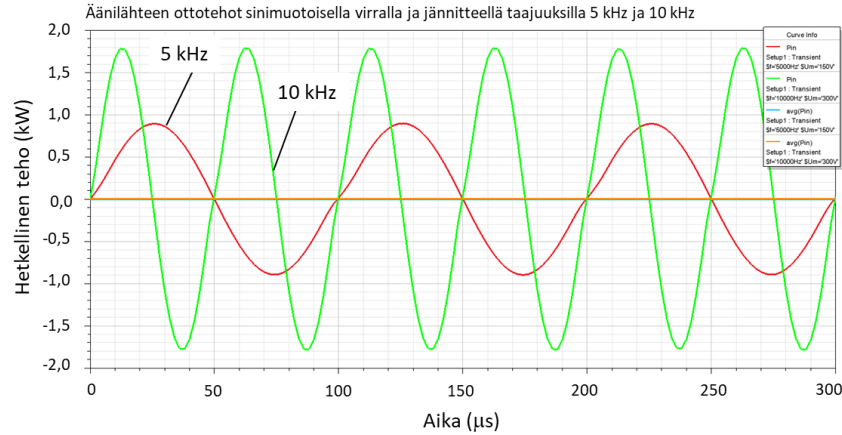
MSM-elementit



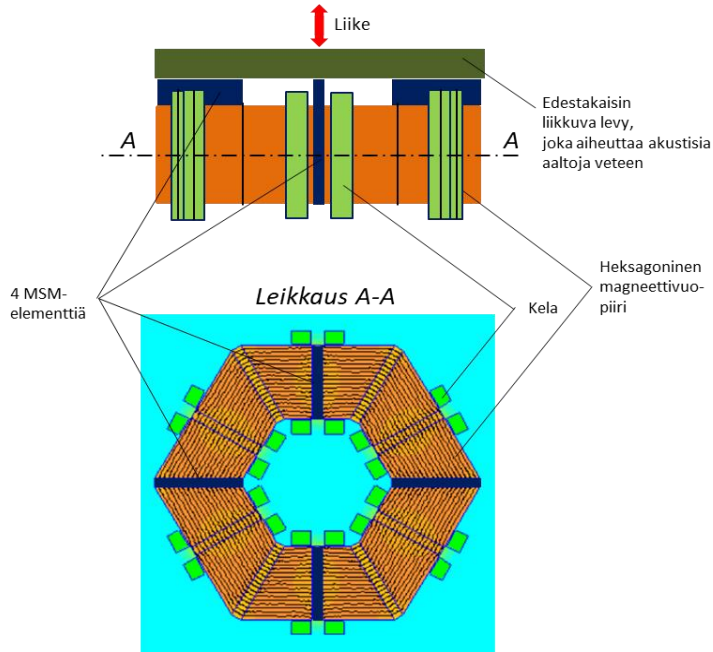
- MSM-elementit  $8 \times 1 \times 12\text{mm}^3$ .
- Magneettiipiiri koostuu kahdesta amorfisesta rautalevypakasta.
- Magneettikentän tuottaa kaksi käämiä a' 100 kierrosta. Virta 0 - 3 A.
- Häviöteho MSM-elementeissä on 7 W taajuudella 20 kHz ja 1,6 W taajuudella 10 kHz.



# Äänilähteen ottoteho ja voimantuotto

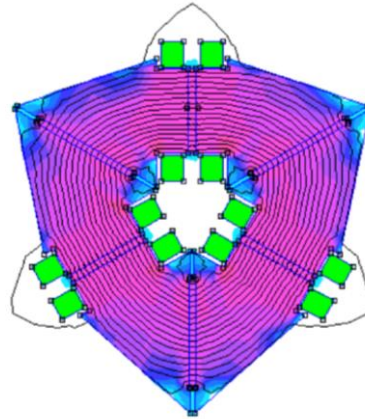


# Mallinnettuja suuritehoisia MSM-äänilähteitä

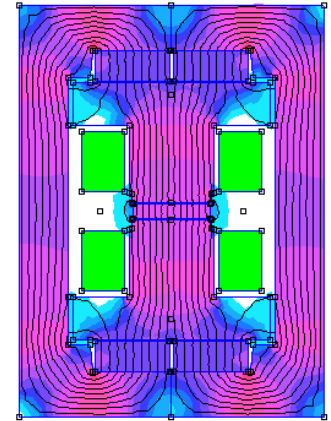


- Voima 20 kN
- Liike 3 mm
- Mekaaninen teho 3 kW
- Akustinen teho veteen >1 kW
- Halkaisija 700 mm ja korkeus 200 mm
- Massa 100 kg

Kun vuopiireihin luodaan magneettikenttä kelaparien avulla, niin MSM-elementit pitenevät ja nostavat kansilevyä ylöspäin.



- Voima 500 N
- Liike 3 mm
- 3 paria MSM-elementtejä 4x45x100 mm
- Halkaisija 200 mm ja korkeus 150 mm



- Voima 500 N
- Liike 3 mm
- Mitat: 200 x 270 x 150 mm<sup>3</sup>

# Yhteenveto

- MSM-materiaalit tuottavat jopa 12% venymän magneettikentässä, ja magneettikentän aiheuttaman venymän nopeus on jopa 4 m/s ja kiihtyvyys jopa 2 miljoonaa  $\text{m/s}^2$  (pienissä elementeissä).
- MSM-materiaalien voimantuotto on merkittävästi suurempi kuin puhekelatyypisellä ratkaisulla, ja liikkeen pituus on noin 50 kertaa suurempi kuin piezosähköisillä ja magnetostriktiivisillä materiaaleilla, joita nykyisin käytetään vedenalaisissa äänilähteissä.
- Valmistimme MSM-äänilähteen ja mittasimme sen vasteen vedessä taajuuksilla 250 Hz ja 1 kHz jännitteillä 8 V ja 10 V. Vaste kaksinkertaisella<sup>1</sup> taajuudella oli noin 140 dB, mikä on kohtuullisen hyvä pienelle MSM-elementille. Ensimmäisen harmonisen vaste oli noin 25 dB pienempi.
- Suunnittelimme ja mallinsimme suuremman MSM-äänilähteen, jonka on määrä valmistua tammikuussa.
- Mallinsimme myös suuritehoisia MSM-äänilähteitä, jotka voivat tuottaa jopa yli 3 kW mekaanisia ja yli 1 kW akustisia tehoja.

<sup>1</sup> Tämä johtuu siitä, että MSM-elementti venyy samalla tavalla sekä + että – virralla