

Mikromagneettikuvaukseen perustuva kehitys- ja innovaatioympäristö  
materiaalitutkimuksen teollisiin sovelluksiin, kehitys (MikroMRI), A73998



## Kuvantamistekniikat tarkentavat käsitystä männyn siementen rakenteesta

### *Männyn siementen $\mu$ MRI*

*Teemu Tuomainen, FM (UEF)*

*Katri Himanen, MMT (Luke)*

*Pekka Helenius, MMT (Luke)*

*Mikko Kettunen, FT (UEF)*

*Mikko J. Nissi, FT (UEF)*

Pohjois-Savon liitto tukee  
maakunnan  
menestystä

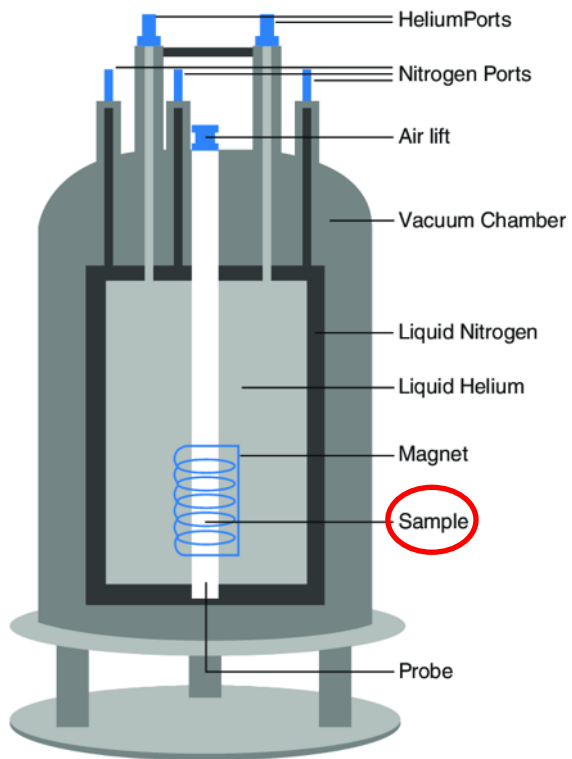


Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020

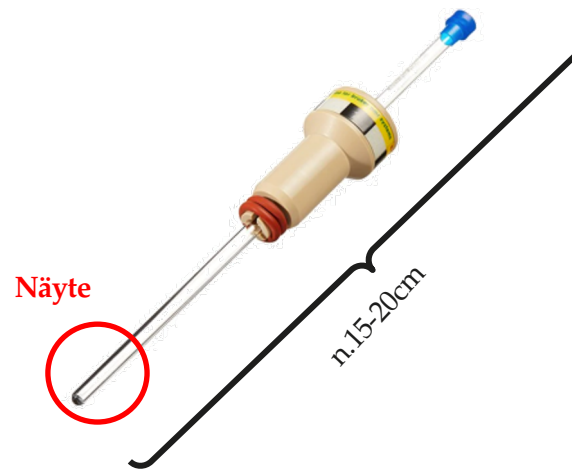


Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

# $\mu$ MRI-laitteisto



n. 2 m



Metabonomics and Intensive Care - Scientific Figure on ResearchGate. Available from: [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-detailing-the-main-components-of-a-nuclear-magnetic-resonance-NMR\\_fig1\\_298906982](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-detailing-the-main-components-of-a-nuclear-magnetic-resonance-NMR_fig1_298906982) [accessed 13 May, 2020]

UEF // University of Eastern Finland

<https://www.fishersci.com/shop/products/5mm-spinner-turbine-vt-bruke/16800129>

# 11.74T?

- T = Tesla, magneettivuon tiheys, "magneettikentän voimakkuus"
- Kliinisissä magneeteissa 1.5-3T (jopa 7T)
- Jääkaappimagneetti 5mT
- Maan magneettikentän voimakkuus 30 – 60 $\mu$ T (päiväntasaaja – navat)
  - 11.74T  $\approx$  400 000  $\times$  Maan magneettikenttä
- **Magneettikentällä saadaan** näytteeseen **tasapainotila**, jota voidaan **horjuttaa** (mm.) **radioaaltopulsseilla** (RF-pulssi)
  - Erilaisia tapoja -> **Sekvenssejä**, "magneettikuvausmenetelmiä"

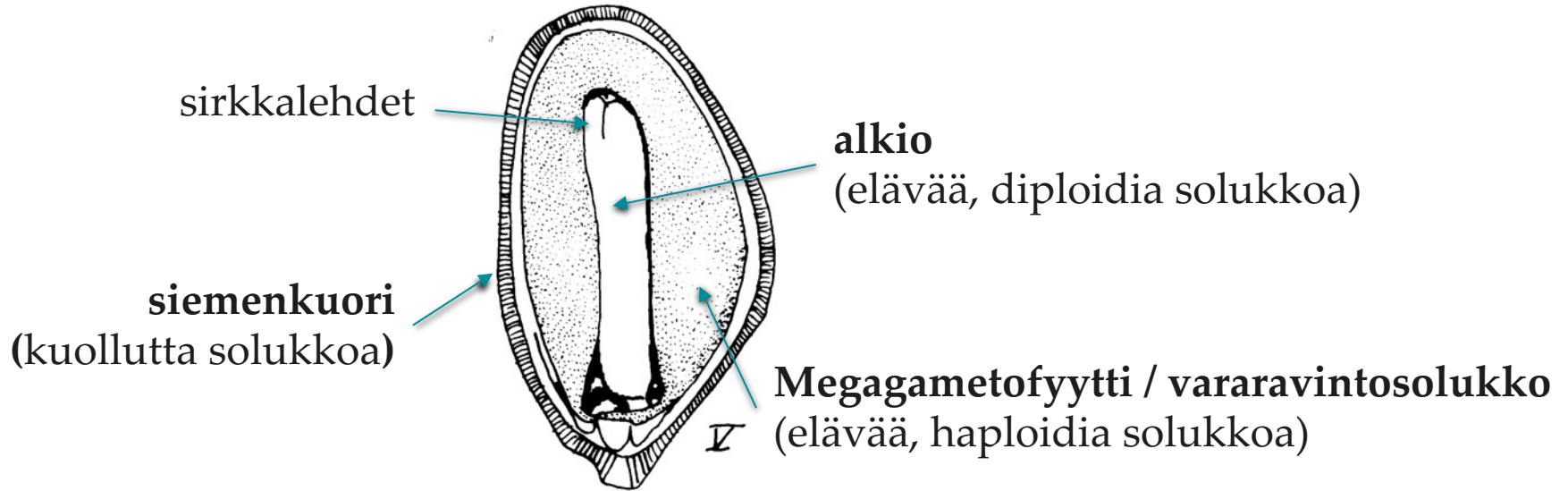


*Toshiba Medical Vantage Galan 3T*

# Männyn siementen $\mu$ MRI - taustaa

- Laatuvaatimukset ovat siemenille korkeat:
  - >95 % itävyys
  - 10–20 vuoden varastointikestävyys
- **Liian matala vesipitoisuus (<2%) altistaa siemenet mekaanisille vaurioille**
- **Liian korkea vesipitoisuus (>10%) heikentää varastointikestävyyttä**

# Männyn siementen $\mu$ MRI - taustaa



*Täysin kehittynyt metsämännyn siemen. Lähde: Nygren M, Metsäpuiden siemenopas, Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 882, 2002. & Kujala, V. 1927. Metsätieteellisen koelaitoksen julkaisuja 12:1-106*

# Männyn siementen $\mu$ MRI - taustaa

- Käytännön siementuotannossa ja siementutkimuksessa siementen laatua tarkastellaan **2D-röntgenkuvauksella**.
- Kuvauksessa **täydet ja tyhjät siemenet** ovat erotettavissa ja se paljastaa niiden **anatomisen tuleentumisasteen** sekä **osan mekaanisista vaurioista**.



Läpivalaisu;

+Nopea  
+”Vakiintuneisuus”  
+Ei vaikuta itävyyteen

-Pienet vesipitoisuuserot eivät näy  
-2D: Vauriot voivat jäädä piiloon



# Männyn siementen $\mu$ MRI

- Voiko  $\mu$ MRI-kuvaus paljastaa siemenistä **jotain uutta**?
- Onko **eri solukkojen** ja osien vesipitoisuus ja muu **koostumus sama**?
- Mihin **osiin vesi jää** siementen kuivuessa?
- Miltä **mekaaniset vauriot** näyttävät  $\mu$ MRI-kuvissa?
  - Yhden siemenen mikrokuvantaminen
  - Siemenerän mikrokuvantaminen



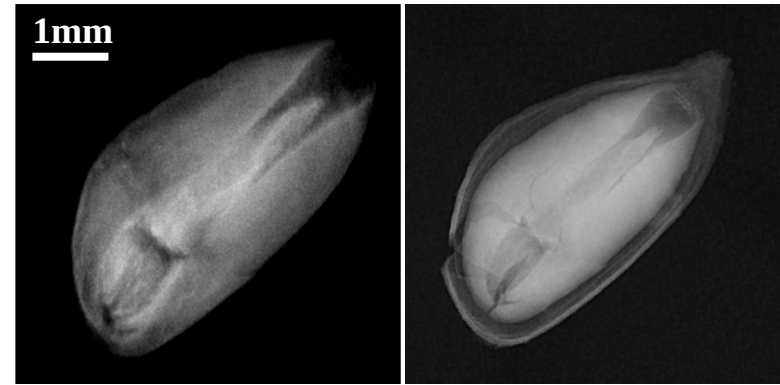
# Kuvausnäytteet

- Käpyjen keruu siemenviljelykseltä sv404 (Suhola, Joroinen) 30.9.2019.
- Käpyjä kerättiin kolmesta kloonista (K393, K682 ja K942) kolmesta vartteesta
- Luken metsäpuiden siemenlaboratoriossa
  - Käpyjen ja siementen tuorevesipitoisuus
  - Käpyjen karistus
  - Kuvausnäytteiden (10 siementä per varte) 2D-röntgenkuvaus
  - Rinnakkaisnäytteiden idätys ja yksittäisten siementen varastovesipitoisuuden määrittäminen



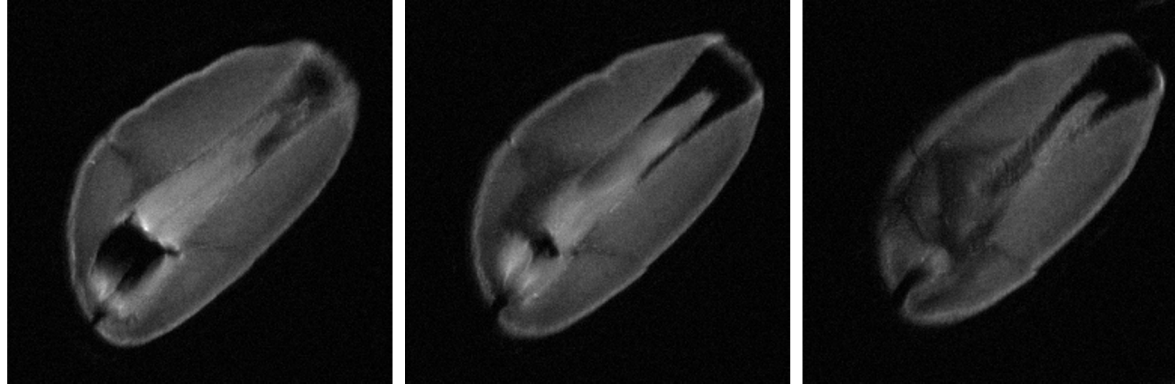
# Yhden siemenen $\mu$ MRI

- Mekaanisesti vaurioitunut siemen
- Resoluutio n.  $16 \mu\text{m} \times 16 \mu\text{m}$  (leikepaksuus  $150 \mu\text{m}$ )
- Alkion ja megagametofyytin erottelu!
- Kuiva siemenkuori ei näkyvissä



Spin echo  
summa kaikista leikkeistä

röntgen



Spin echo  
Peräkkäisiä leikkeitä

# Kvantitatiivinen MRI, esimerkki: T2-kartoitus

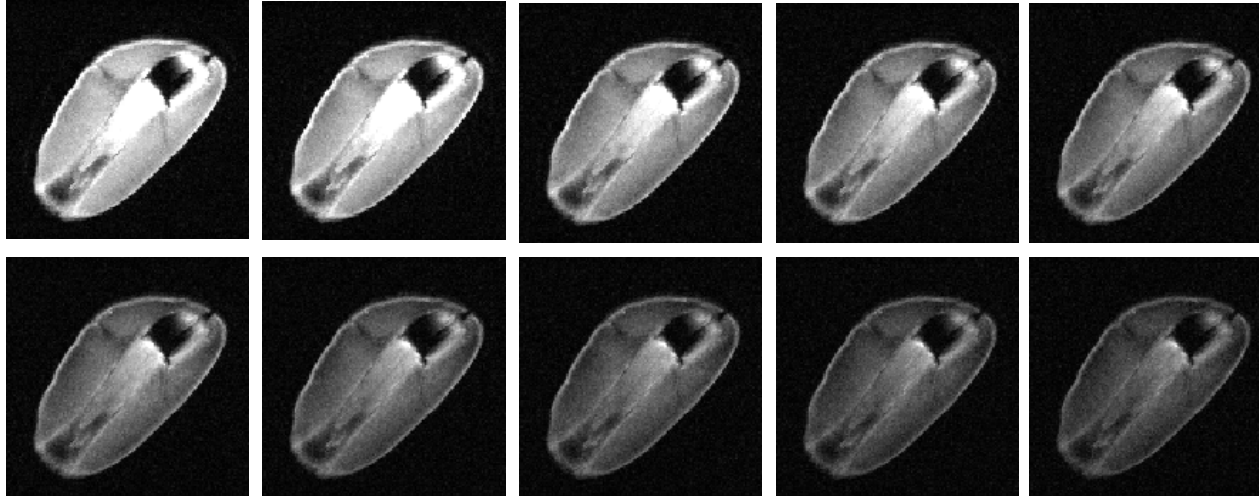
TE = 2.8ms

5.5ms

8.3ms

11.0 ms

13.8 ms



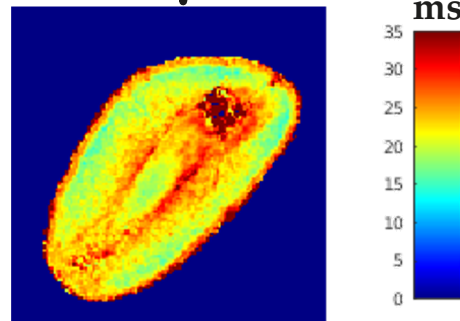
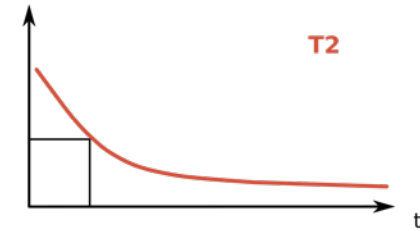
16.6 ms

19.3 ms

22.1 ms

24.8 ms

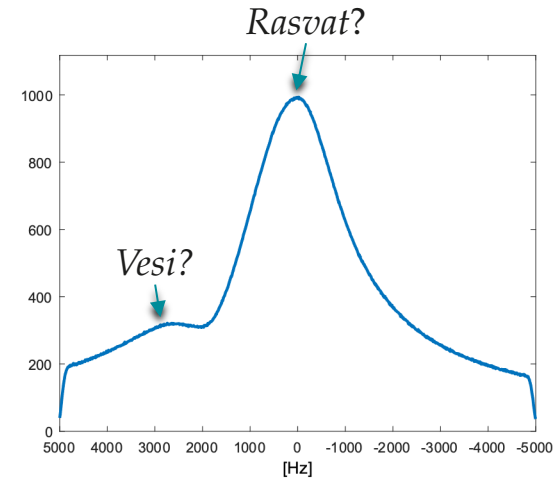
27.6 ms



# Koostumus

- Koostumuksen tarkastelu
  - Useat ”piikit” spektrissä aiheuttavat MRI-kuvaan häiriöitä.
  - On olemassa rasvan ja veden erottelevia tekniikoita!

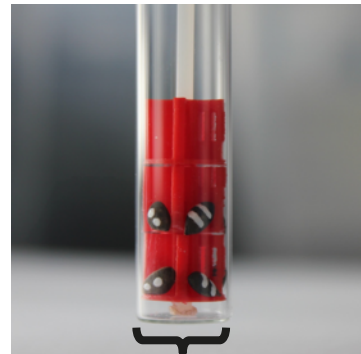
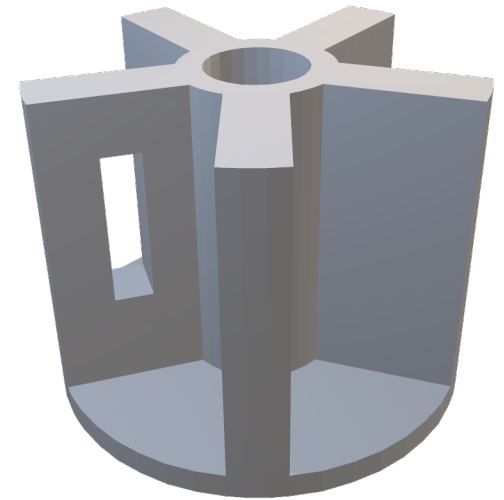
Aine	%	ref
Rasvat	28 - 33	<i>P. Tammela, et al. 2005. E. Tillman-Sutela, et al. 1995.</i>
Vesi	~6	<i>Tutkimuksessa määritetty</i>



*Esimerkki metsämännyn siementen NMR-spektristä. Erilaisissa ympäristöissä olevat vetyatomit resonovat eri taajuuksilla (rasvalla ja vedellä molekyyliympäristö erilainen).*

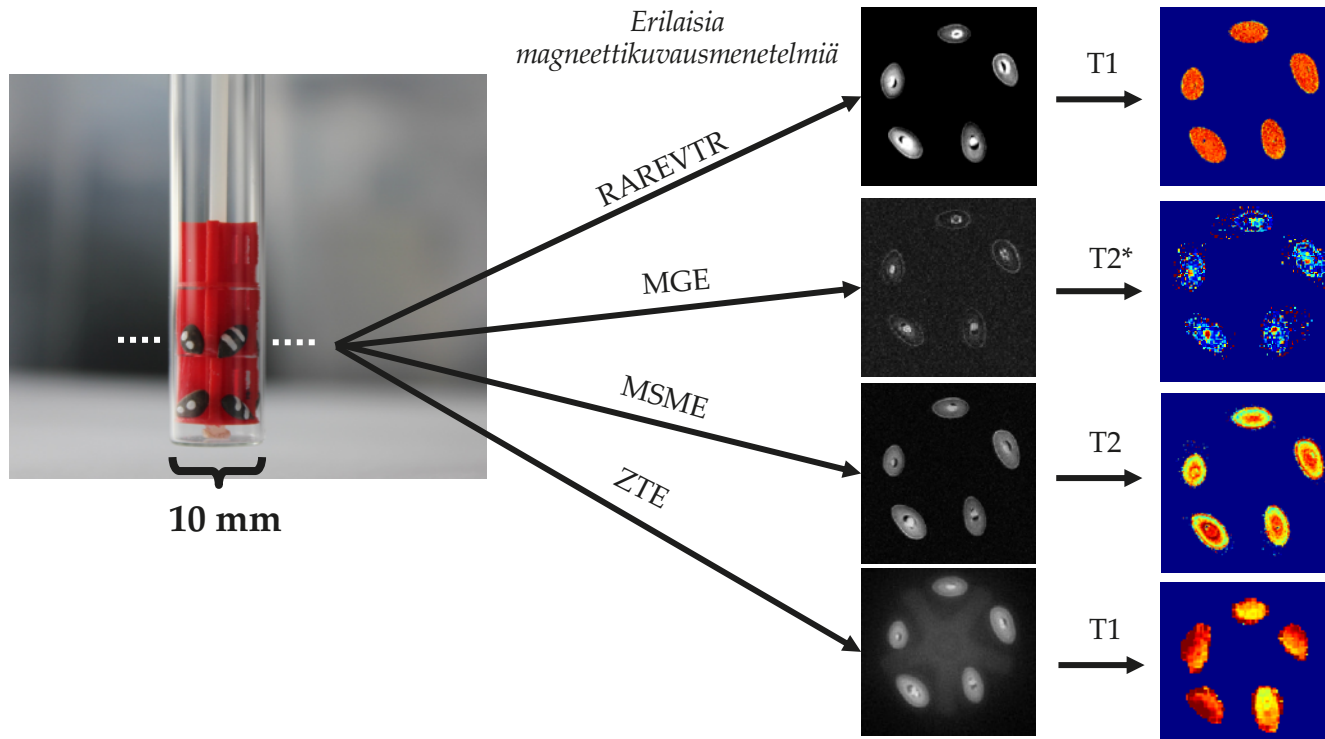
# Mittausasetelma (Siemenerän kuvaaminen)

- 3D-tulostettu asymmetrinen pidike
- Siemenet yksilöitävissä
  - pidike näkyy tietyillä menetelmillä
  - geelimaalilla siemeniin tunnustekuvio
- Kaksi päällekkäin (5kpl siemeniä/kerros)
  - 90 siementä. 9 mittauskertaa, 10 siementä / mittaus



10 mm

# Siemenerän kuvaaminen



# Pohdinta

- Magneettikuvaus mahdollistaa siementen eri osien erilaisten vesi-/rasvapitoisuuksien suhteellisen havainnoinnin.
  - Ravintosolukon reunoilla kirkkaampi alue
  - Alkio kirkas
- Kovat alueet (siemenkuori) eivät ole havaittavissa
- Klooniin välillä ei havaita merkittäviä eroja T1, T2 ja T2\* relaksaatioajoissa

# Kiitos!

Euroopan aluekehitysrahasto

Pohjois-Savon liitto

Siemen Forelia Oy



Pohjois-Savon liitto tukee  
maakunnan  
menestystä



Leverage from  
the EU  
2014–2020



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto