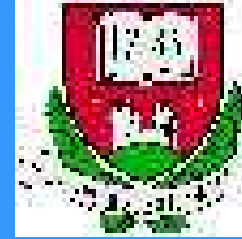




ÚRNAP 2008



A

MICAST HUNGARY

űr-anyagtudományi projekt

**** Roósz András, **Rónaföldi Arnold , ***Kovács Jenő***

*** Miskolci Egyetem, Fémtani és Képlékenyalakítástani Tanszék**

**** Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai és Elektronikai Tanszék**

***** MTA-ME Anyagtudományi Kutatócsoport**



Űr-anyagtudományi kísérletek lényege

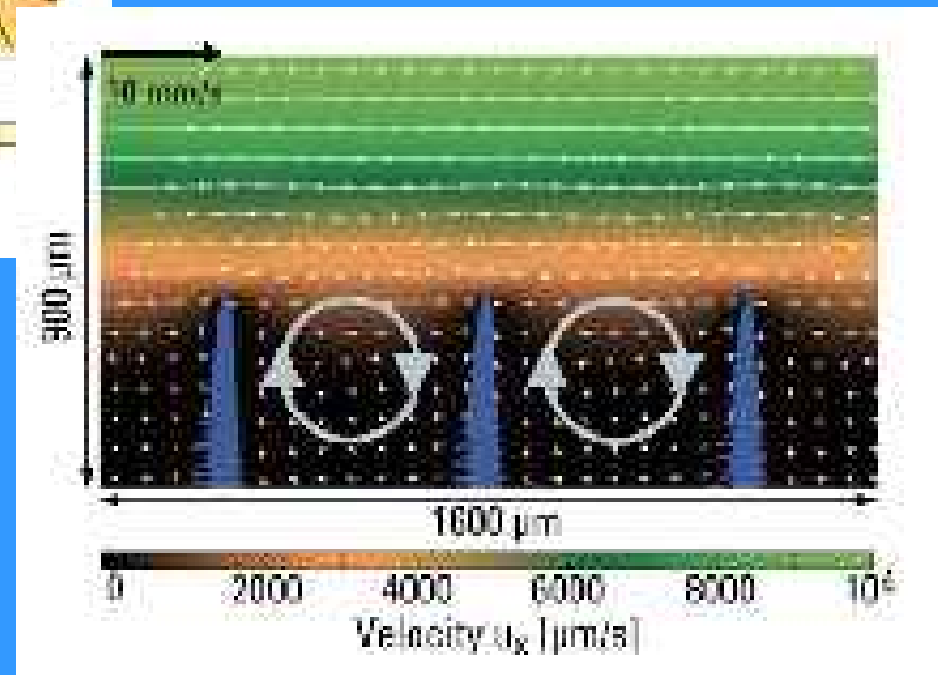
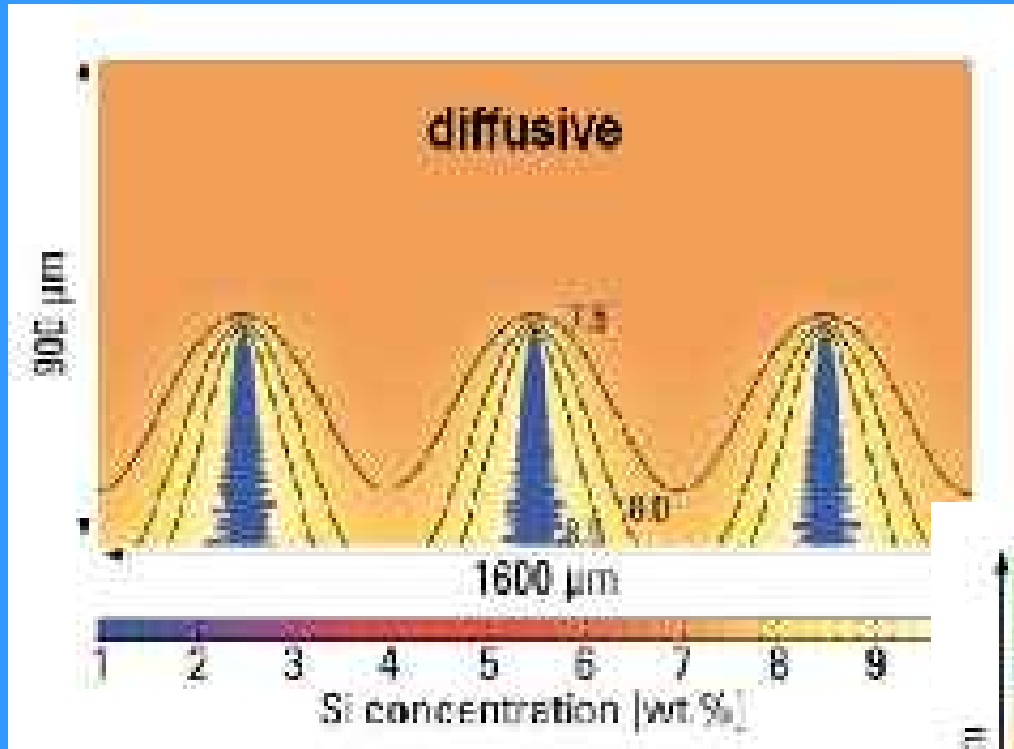
Kristályosodás során koncentráció és hőmérsékletkülönbség alakul ki, ami sűrűségkülönbséget okoz.

Olvadékot és/vagy gázt tartalmazó rendszerekben a sűrűségkülönbség áramlást okoz a földön.

Nem tanulmányozható a diffúzió és az áramlás hatása külön-külön (a hatás egymásra lapolódik).

Űrállomáson, mint szabadon eső testben súlytalanság van, nincs áramlás, tanulmányozható a diffúzió hatása.

Kontrollált áramlást létrehozva az űrállomáson az áramlás hatása is tanulmányozható.



ESA - MICAST Nemzetközi Projekt:
Microstructure Formation in Casting of Technical Alloys under Diffusive and Magnetically Controlled Convective Conditions

A projekt tárgya:

Technikai ötvözetek öntése és kristályosodása közben a diffúzió, valamint a mágneses tér indította olvadékáramlás hatásának vizsgálata a kialakult mikroszerkezetre földi körülmények között és a világűrben

6 kutatócsoport: 3 német, 2 francia és 1 magyar

ÚRNAP 2008

Részvevők:

Projekt vezető: prof. Lorenz RATKE (DLR, Köln, Németország)

Kutatócsoportok:

DLR, Köln, Németország

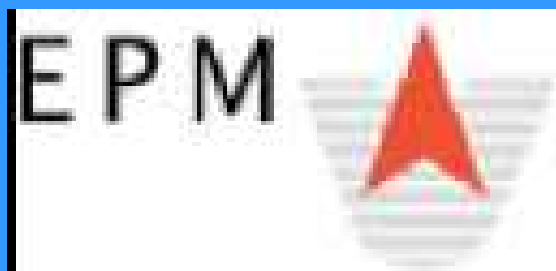
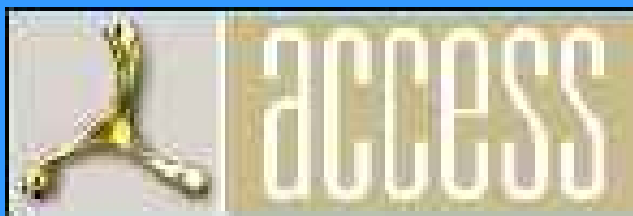
ACCES, Aachen, Németország

Crystal Growth Laboratory, Erlangen, Németország

EPM-Madylam, Grenoble, Franciaország

CIRIMAT, Toulouse, Franciaország

SGMU, Miskolc, Magyarország



Történet:

1999 Erlangen, indító megbeszélés

2000 – 2002 MICAST I (MICAST HUNGARY I, PRODEX)

2002 – 2005 MICAST II (MICAST HUNGARY II, PRODEX)

Zárókonferencia: SOLGRAV 2004, Lillafüred

2005 – 2008 MICAST III (MICAST HUNGARY III, PECS)

Zárókonferencia: SOLGRAV 2008, Lillafüred

2009 – 2012 MICAST IV (MICAST HUNGARY IV, ?)

Zárókonferencia: SOLGRAV 2012, Lillafüred

A MICAST HUNGARY feladatai:

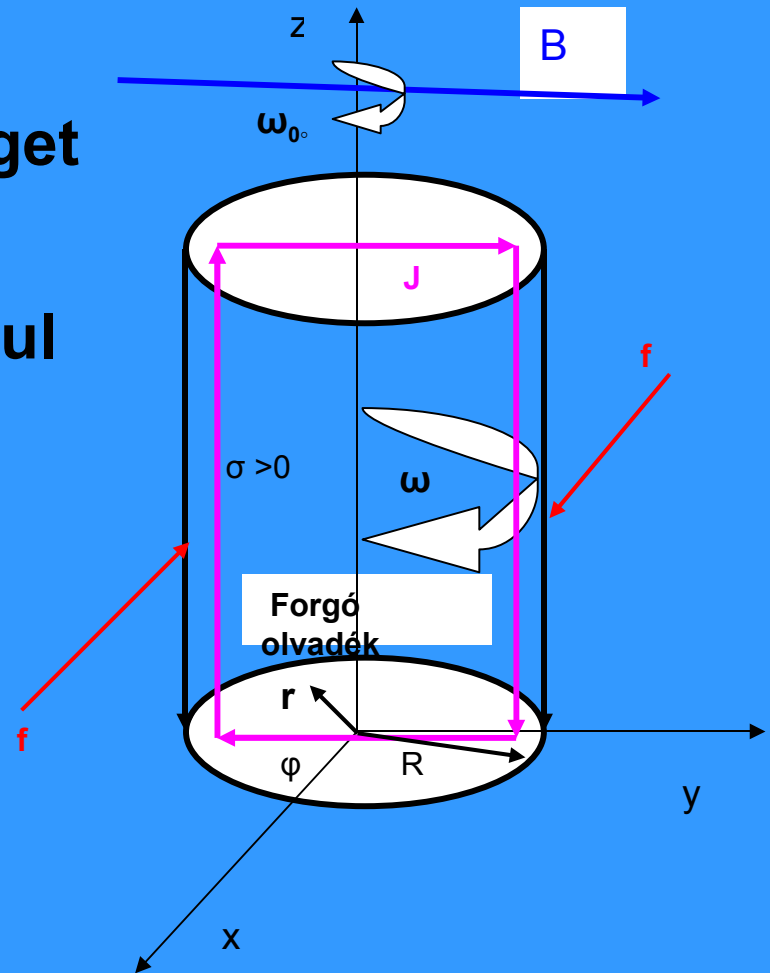
- 2. Szilárdoldatok kristályosodásának szimulációja**
- 3. A szimuláció alapjául szolgáló egyensúlyi fázisdiagramok számítása**
- 4. Irányított kristályosodási kísérletek végzése kontrollált olvadék mozgással (mágneses keveréssel)**

A mágneses keverés elve

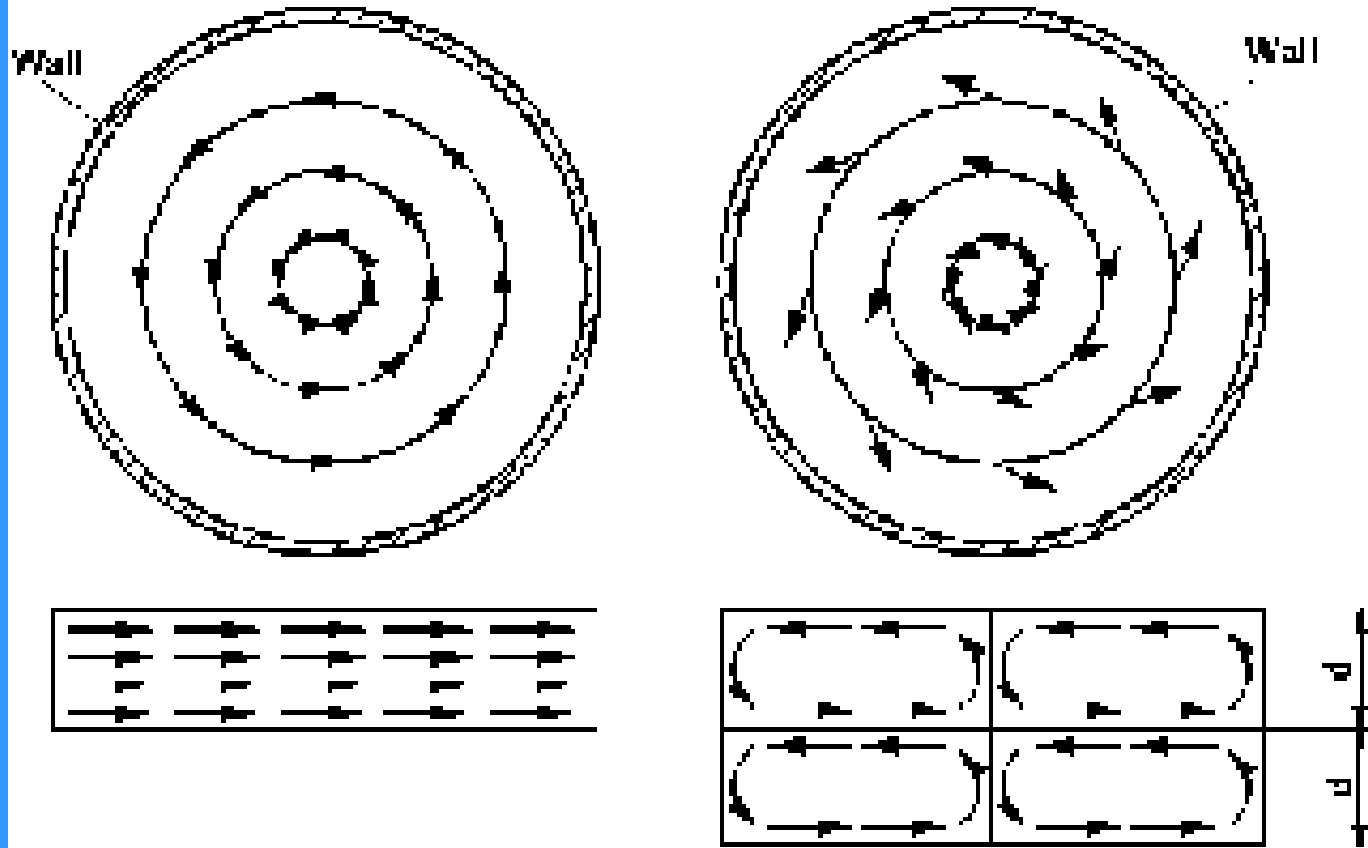
A forgó mágneses tér feszültséget indukál az olvadékban

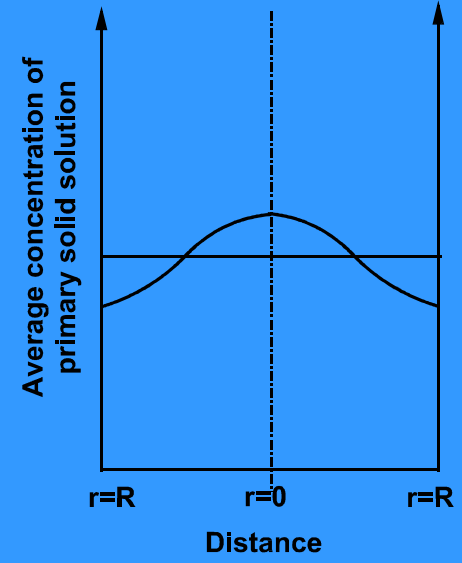
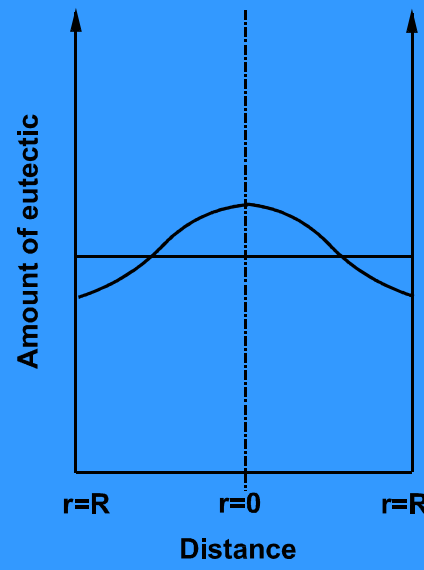
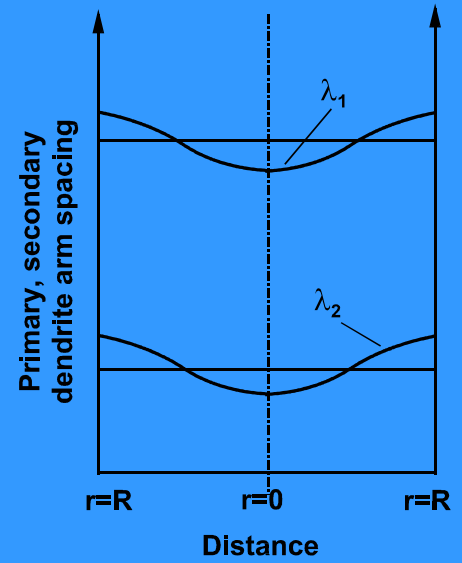
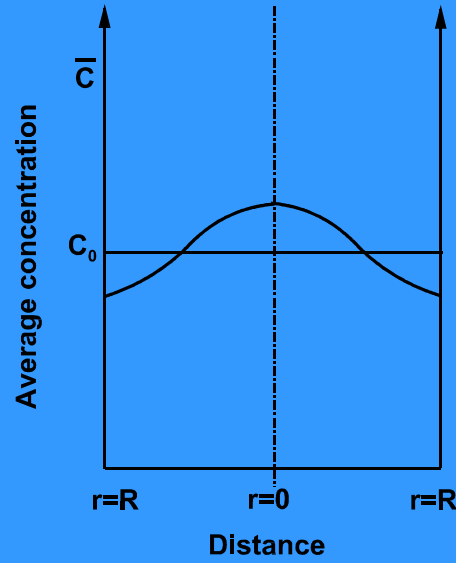
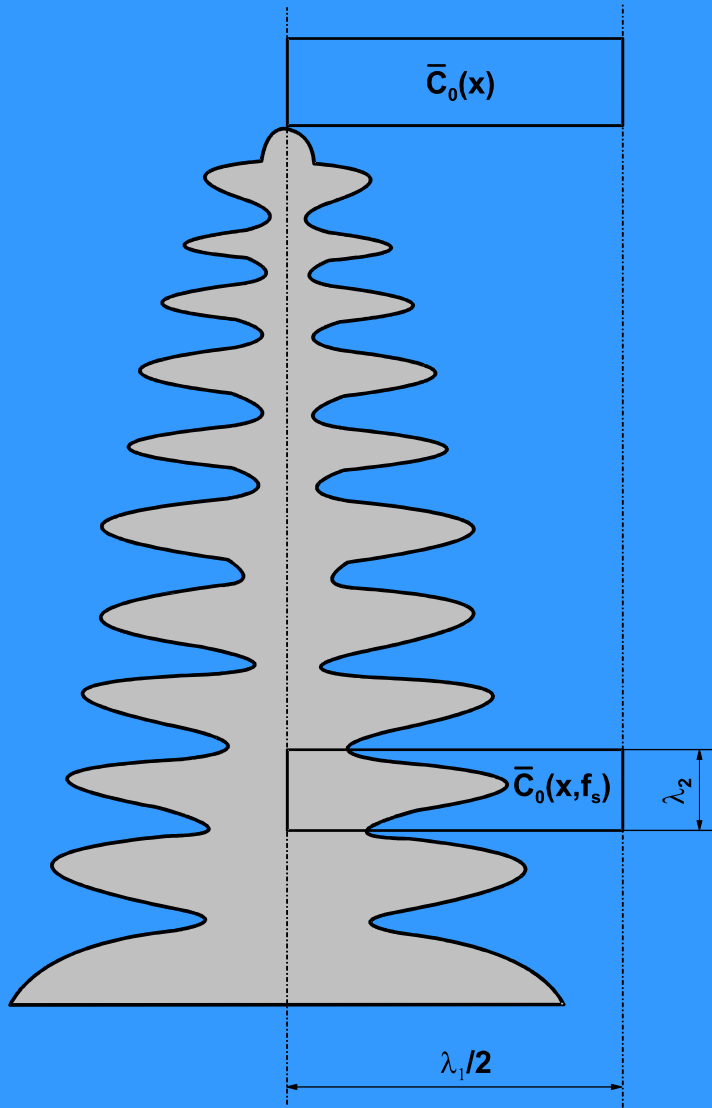
Ennek hatására örvényáram indul az olvadékban amely mágneses teret gerjeszt

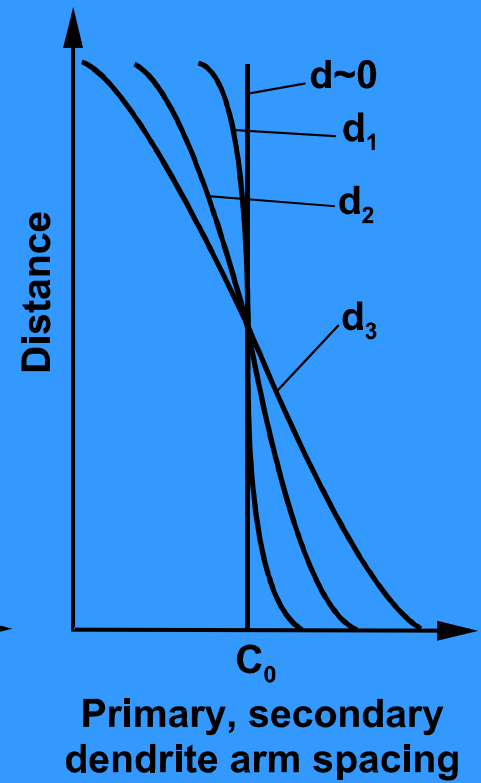
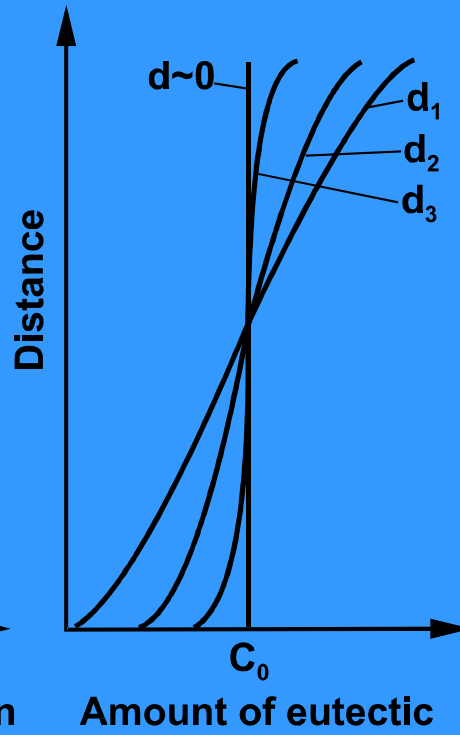
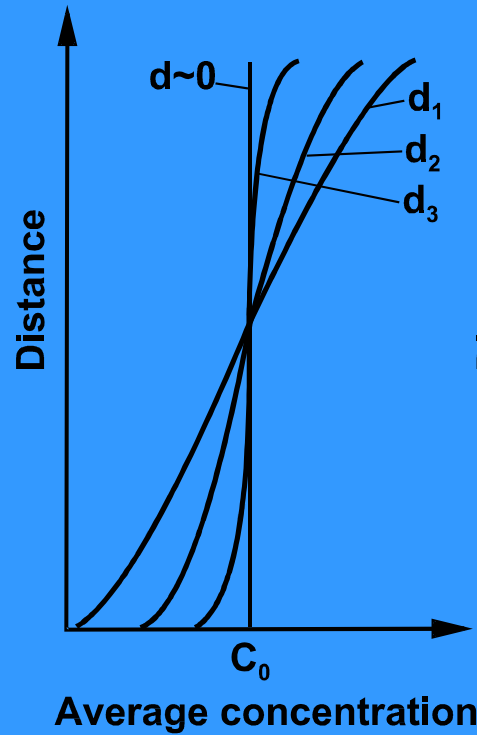
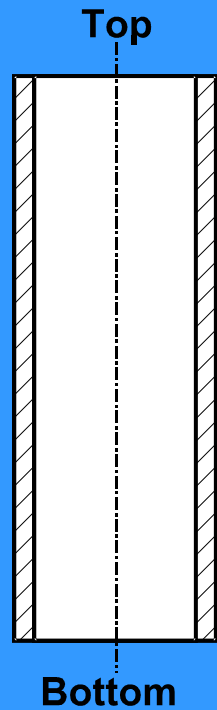
A két mágneses tér között kialakuló Lorenz erő forgásba hozza az olvadékot



Melt flow





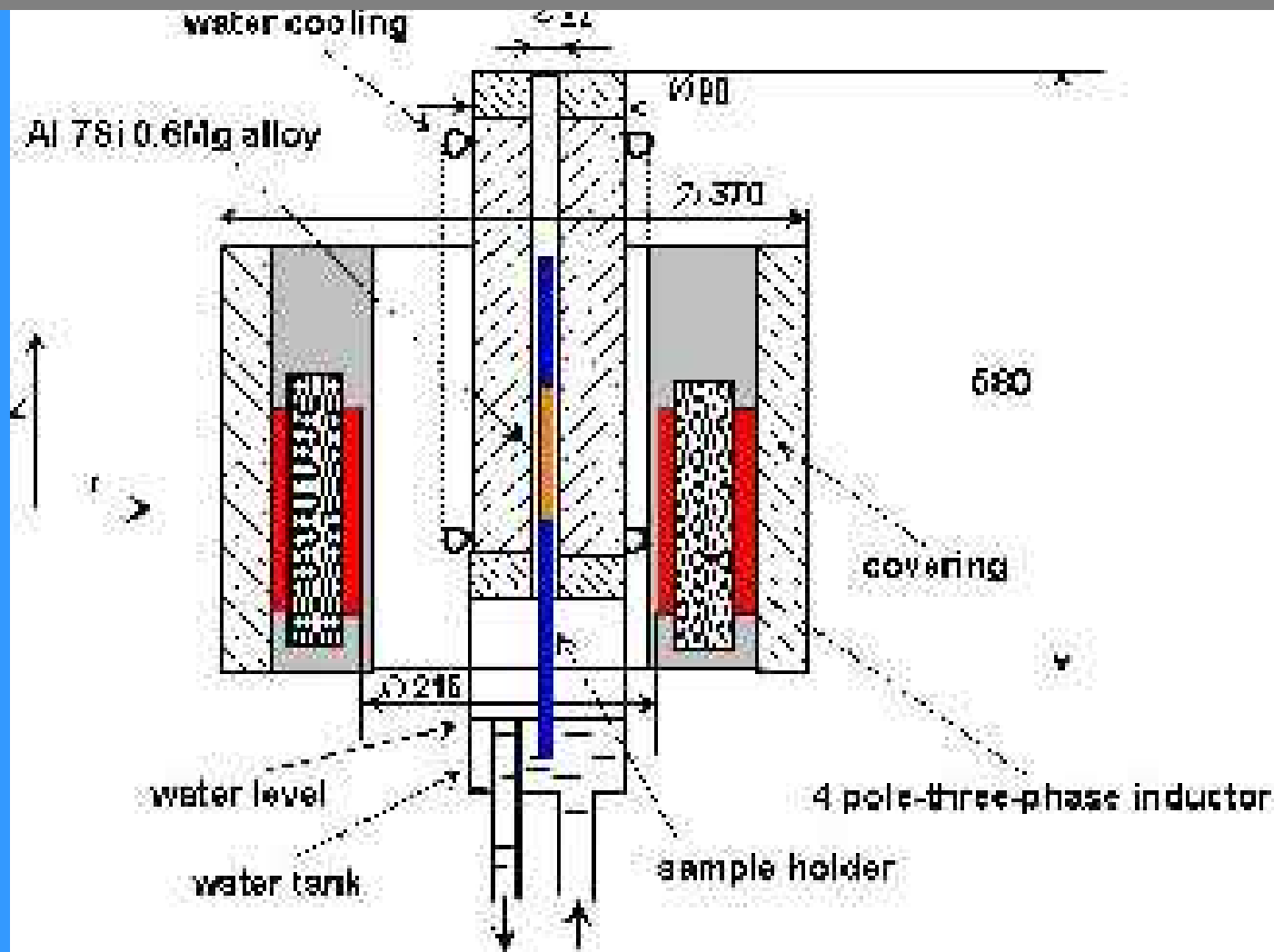


Az első mágneses keverő a Bridgman-típusú függőleges helyzetű csőkemencével

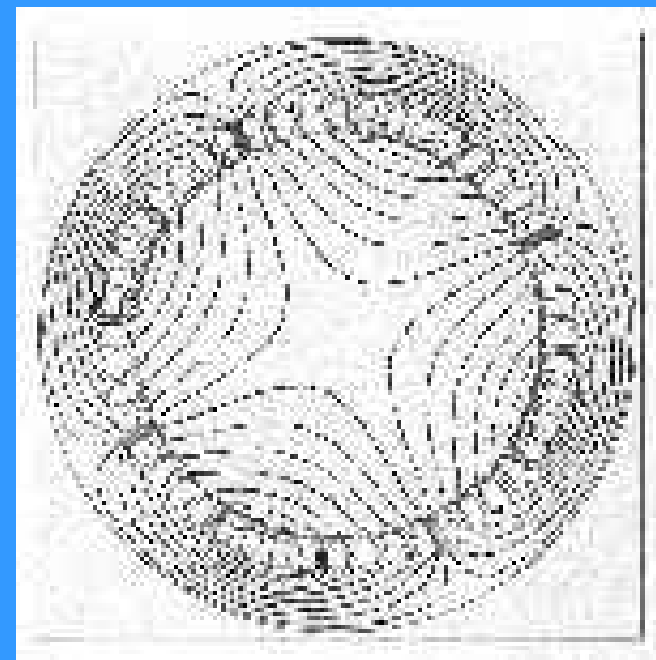


4 pólusú, 3 fázisú induktor

Az első egyirányú kristályosító berendezés vázlatja



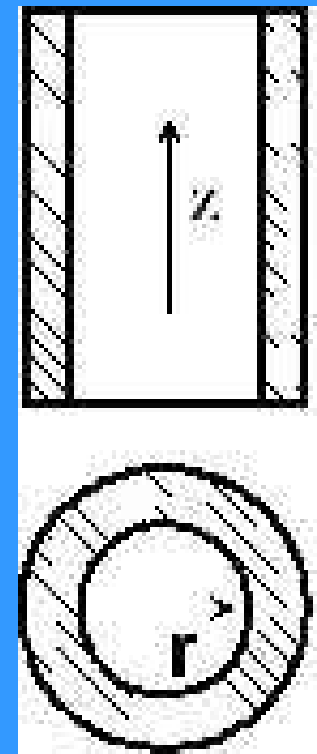
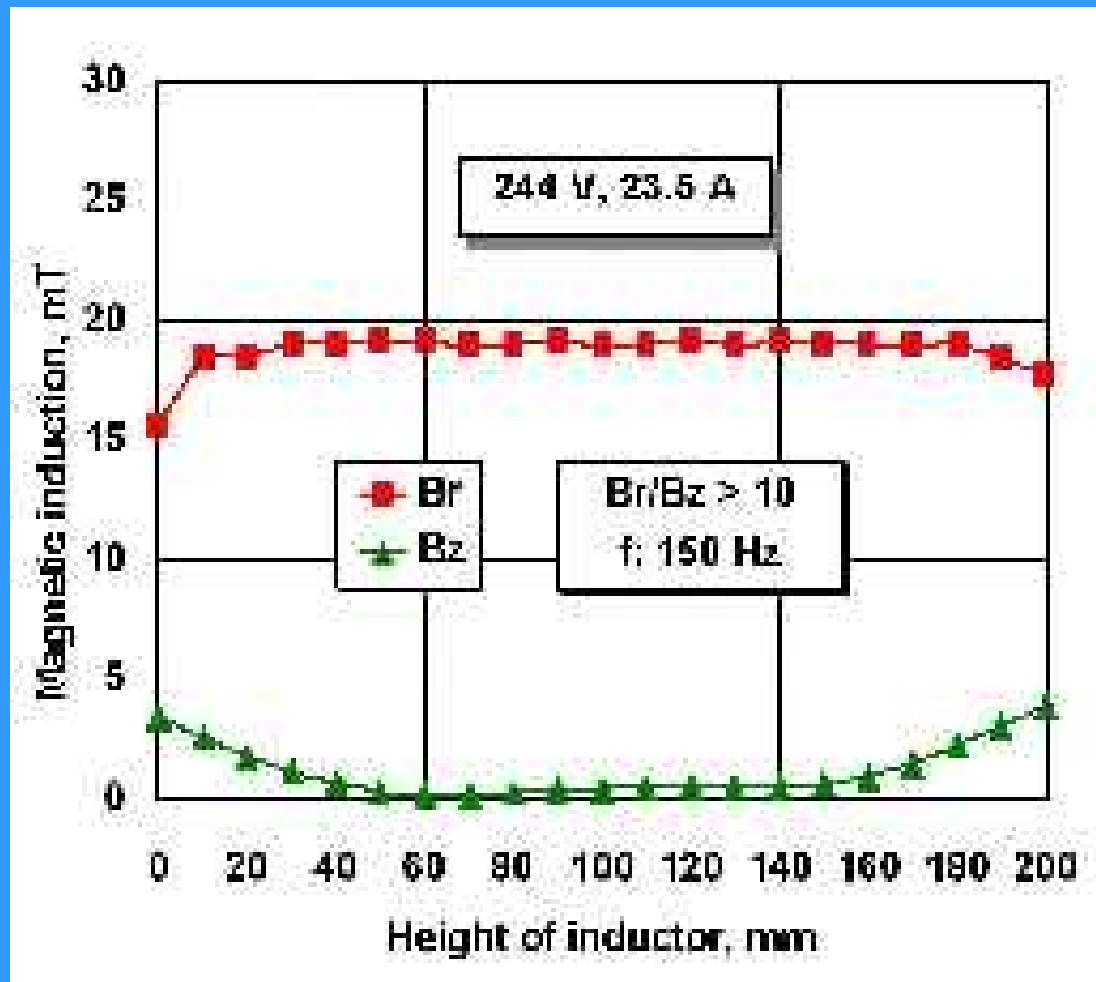
Mágneses indukció mérése Hall-szondával



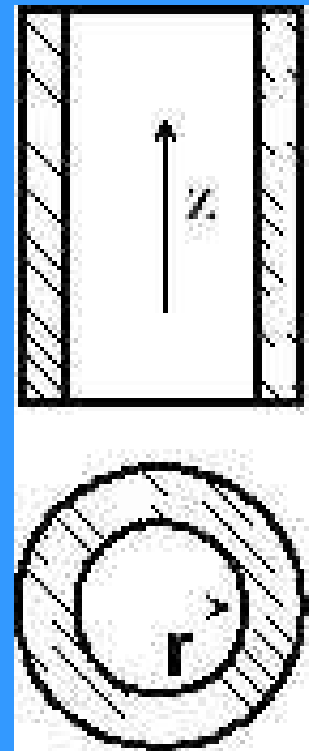
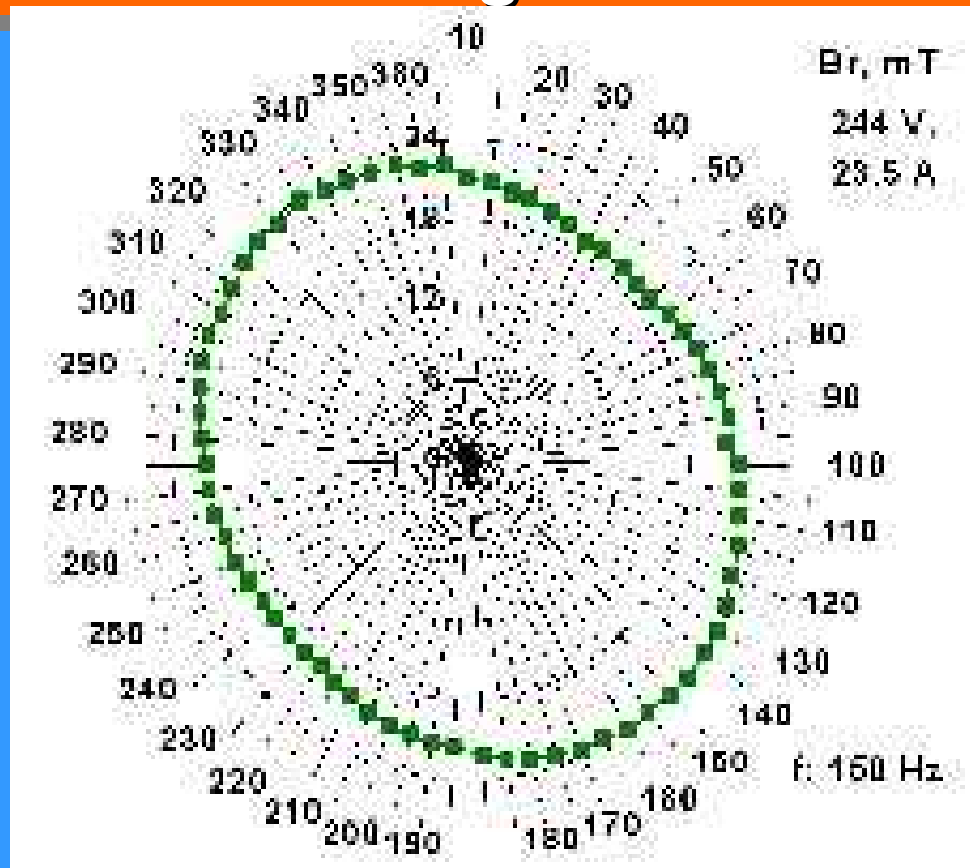
**Az induktoron belüli
mágneses mező**

Mérési helyek az induktor légrésében

Mágneses tér (indukció, B mT) az induktor (kemence) magassága mentén (Z irány)



Mágneses tér eloszlása (indukció, B mT) a csőkemencében egy az induktor tengelyére merőleges síkban



elliptikus mágneses tér

Az új induktor

AC:
2 - pólus,
3 - fázis

vagy

DC:
2 - pólus



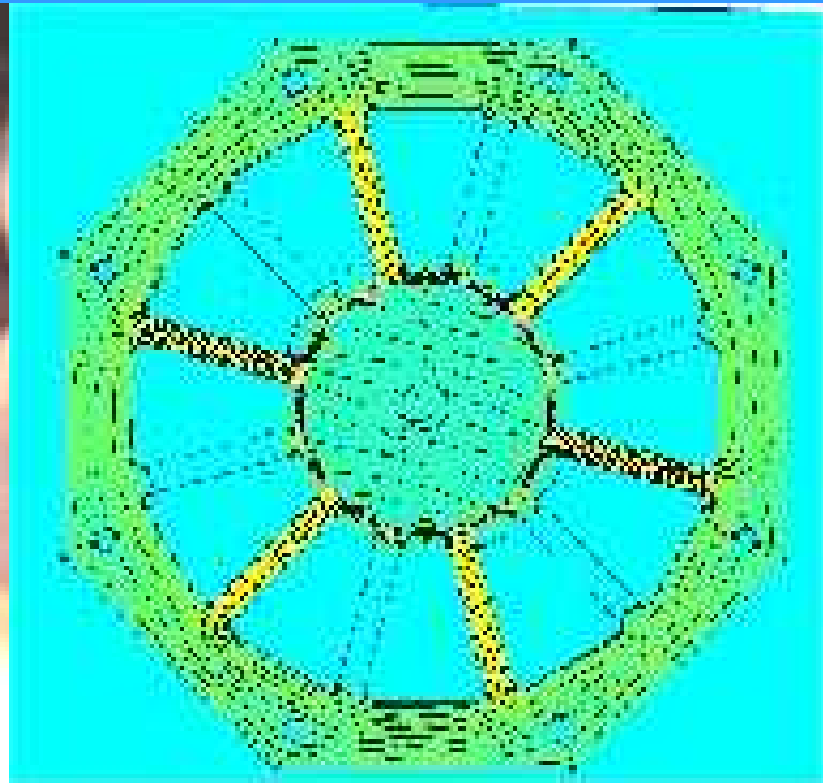
AC:
B: 0 - 300 mT
f: 5 - 250 Hz

vagy

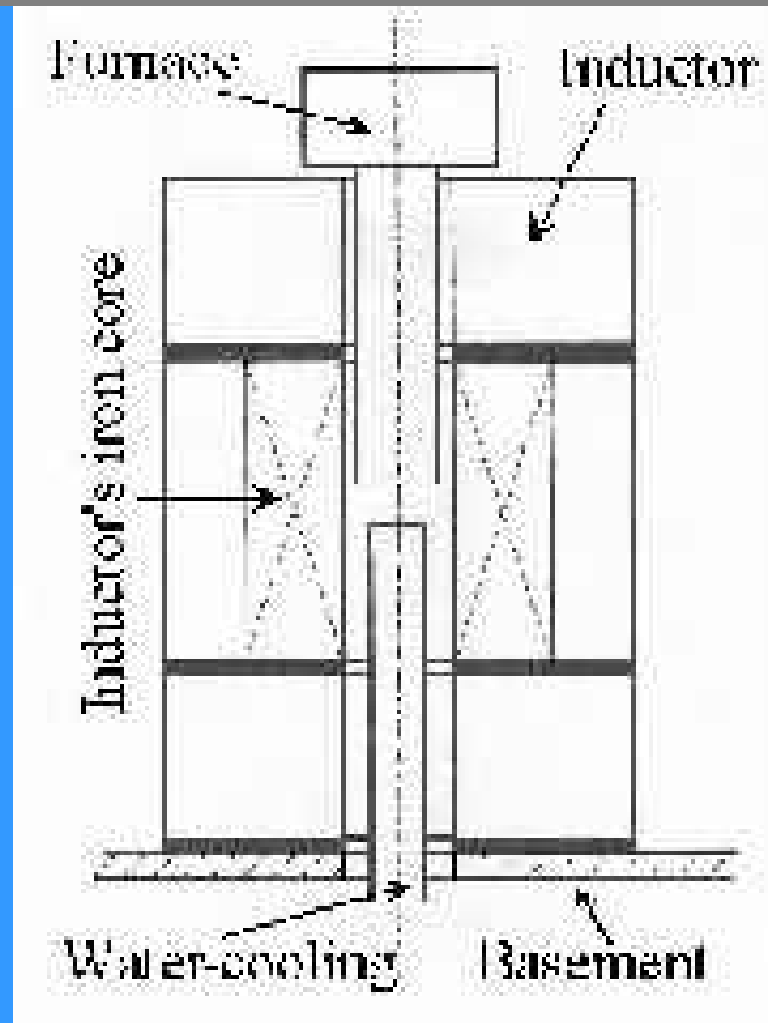
DC:
B: 0 - 450 mT

Fázisjavító kondenzátorok

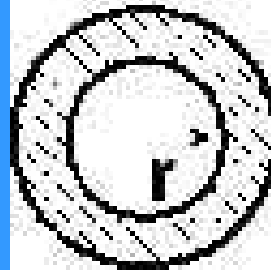
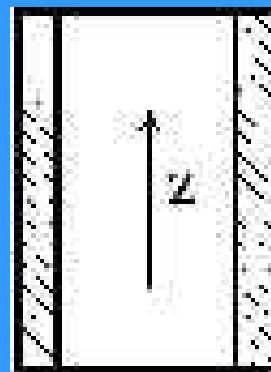
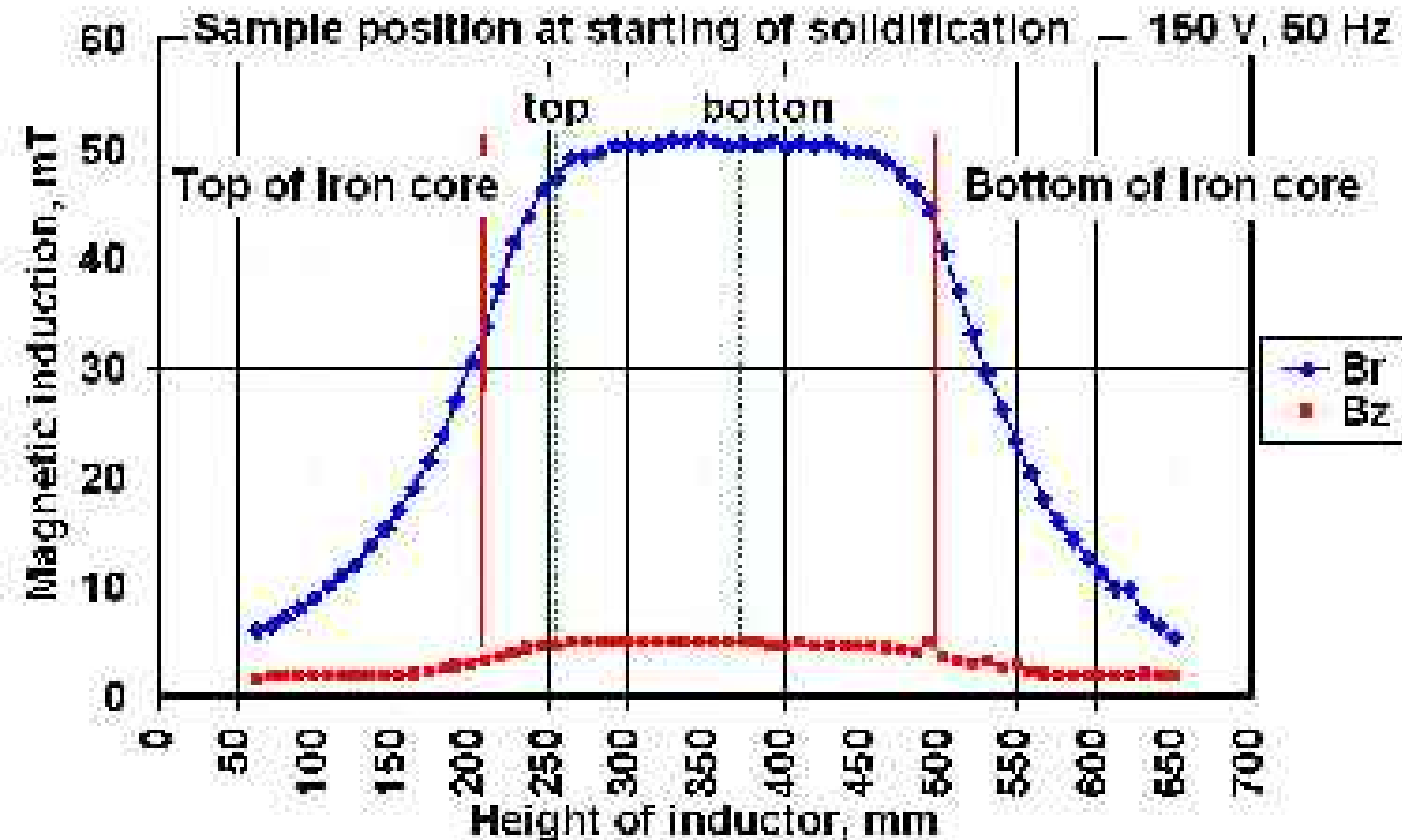
Az új induktor légrése és a benne kialakuló mágneses tér jellege



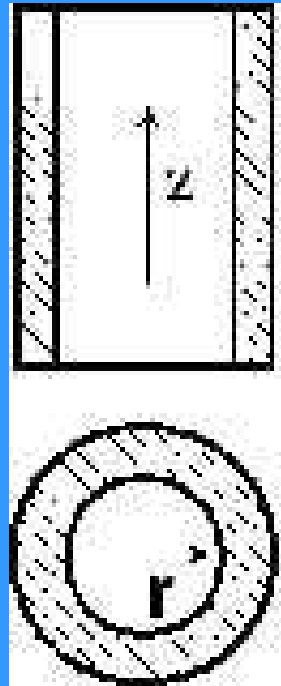
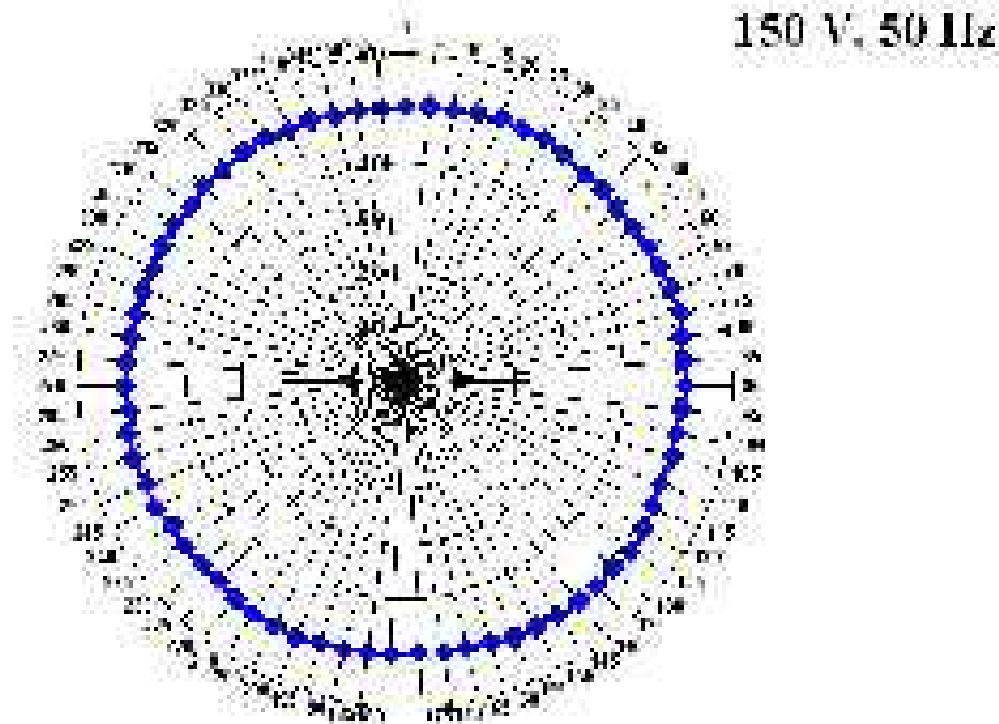
Az új egyirányú kristályosító berendezés vázlatja



Mágneses tér (indukció, B mT) az induktor (kemence) magassága mentén (Z irány)



Mágneses tér eloszlása (indukció, B mT) a csőkemencében egy az induktor tengelyére merőleges síkban



körszimmetrikus mágneses tér

A minta és a kemence hűtőegysége



vízartály



víznyomás szabályozás



**kemence a
vízartállyal**

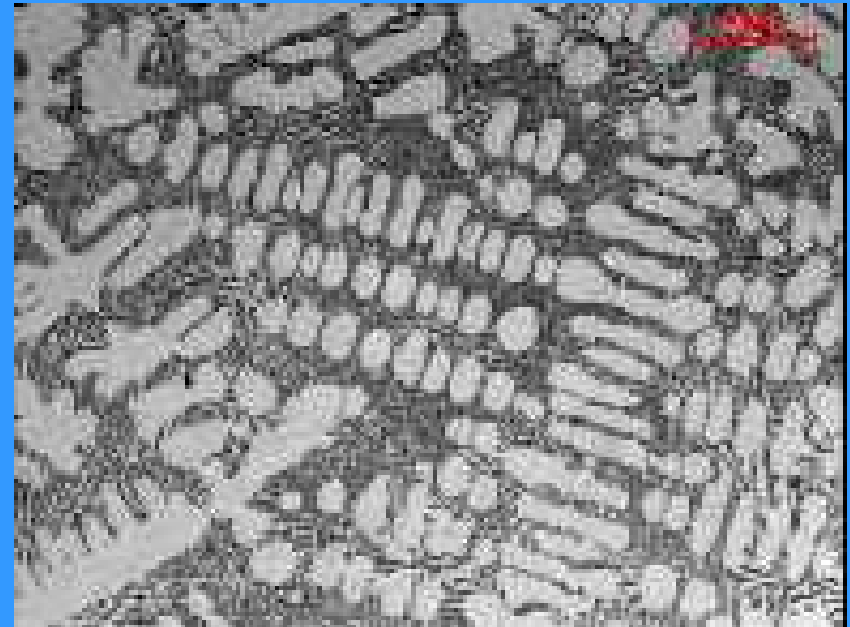
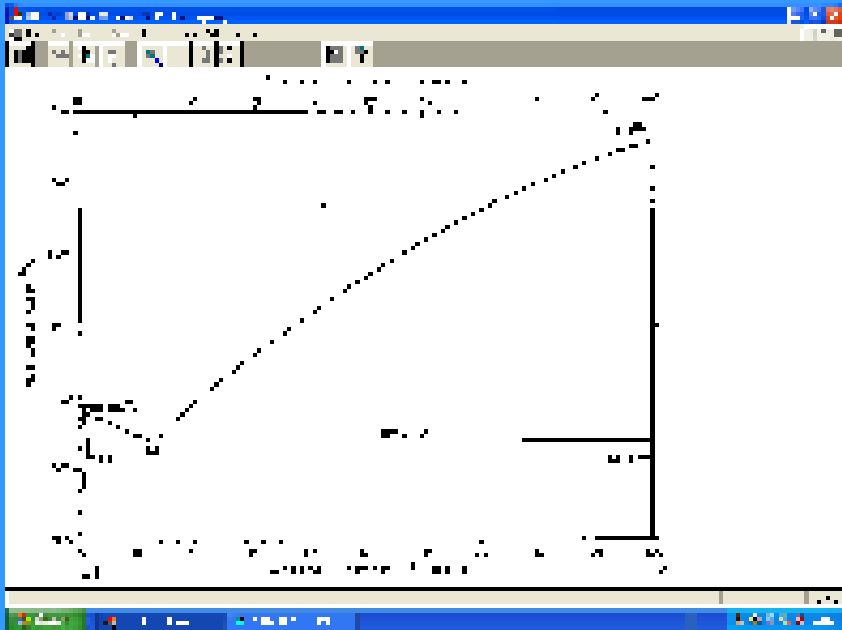


a mintatartó tokozat a 13 NiCr-Ni hőelemmel



egy kristályosított minta

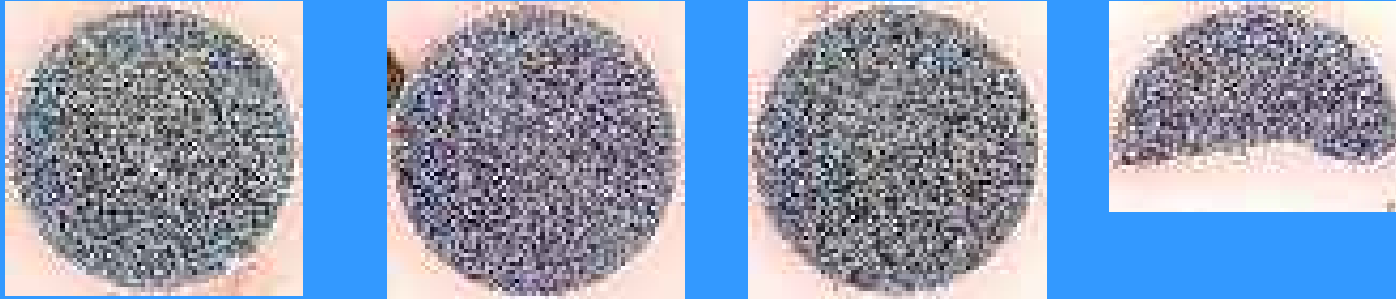
Al – 7% Si ötvözet



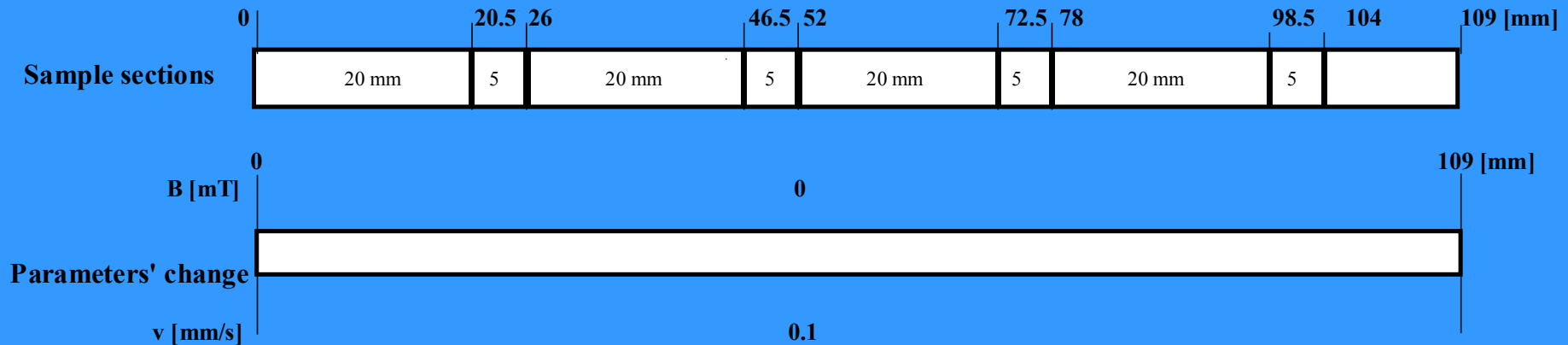
Olv → α szilárd oldat

Olv → (α + Si) eutektikum

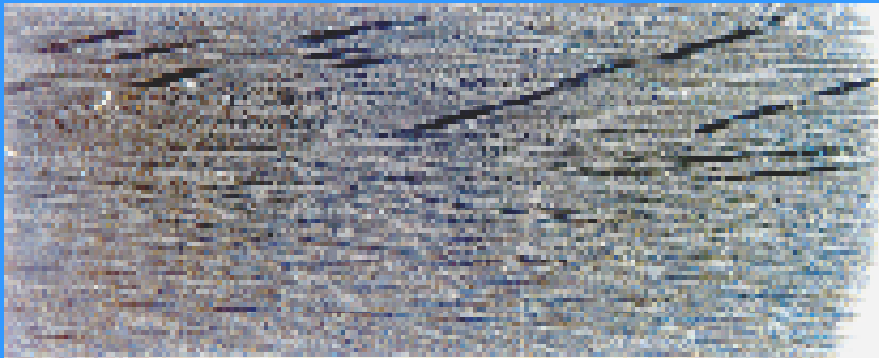
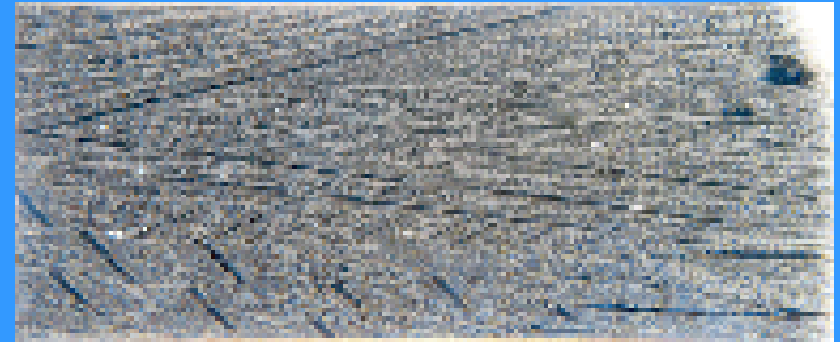
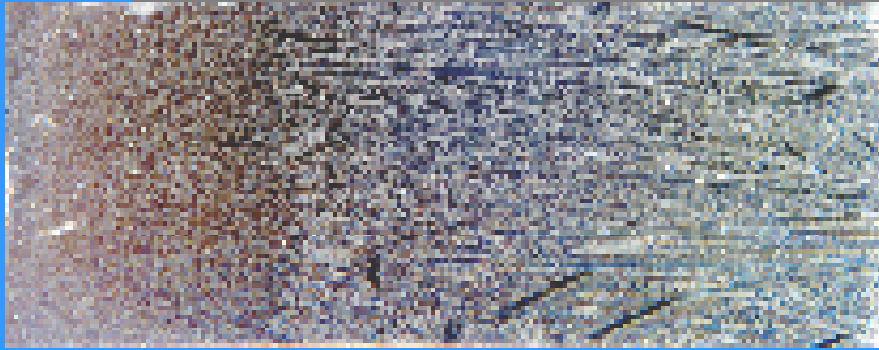
A kristályosítás iránya



Keverés nélkül kristályosított minta ($v = 0,1 \text{ mm/s}$, $G = 8 \text{ K/mm}$)



A kristályosítás iránya



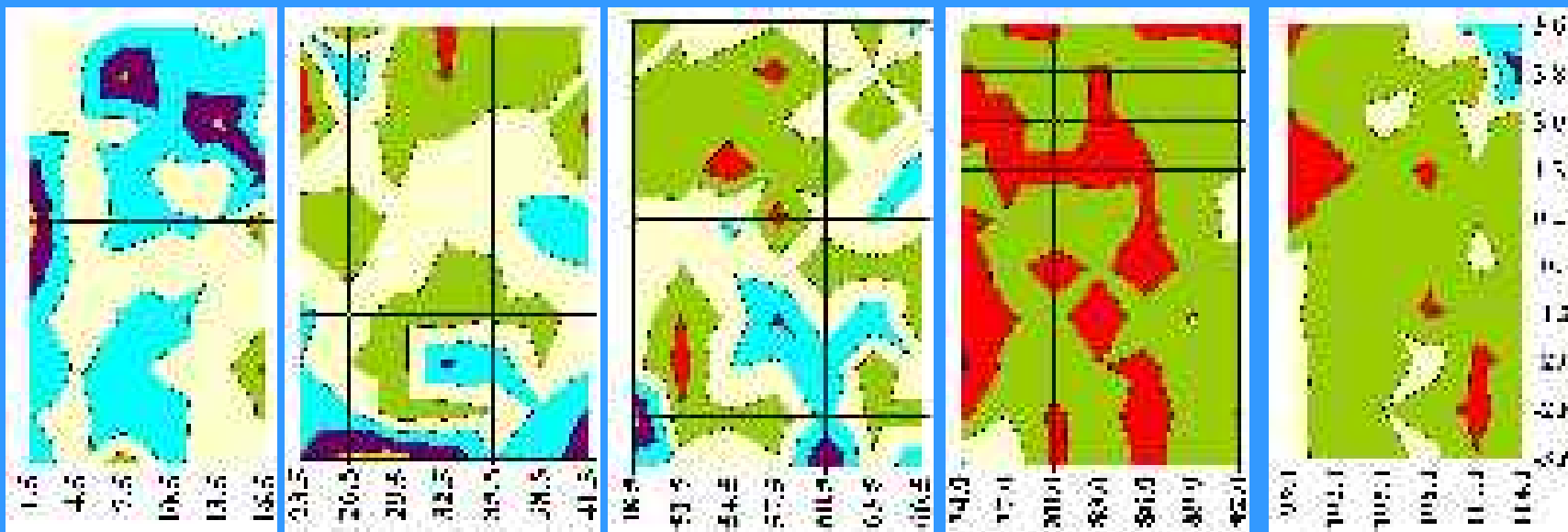
ŰRNAP 2008

A kristályosított szerkezetek

($B = 0$ mT, $f = 0$ Hz, $G = 8$ K/mm, $v = 0,1$ mm/s)

0 mT

A kristályosítás iránya



Minta sugara, mm

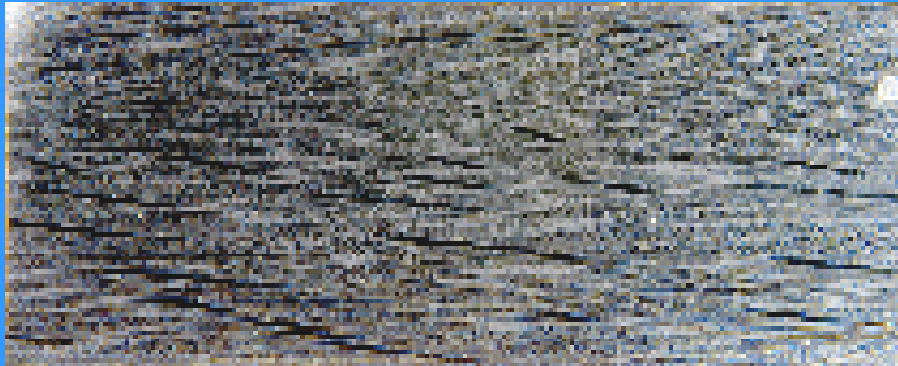
Minta hossza, mm

ŰRNAP 2008



A Si mennyisége, tf%

A kristályosítás iránya

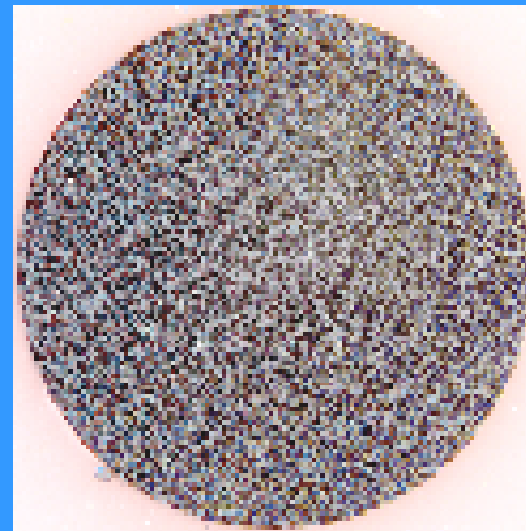


ŰRNAP 2008

A kristályosított szerkezetek

($B = 3 \text{ mT}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $G = 8 \text{ K/mm}$, $v = 0,1 \text{ mm/s}$)

A kristályosítás iránya



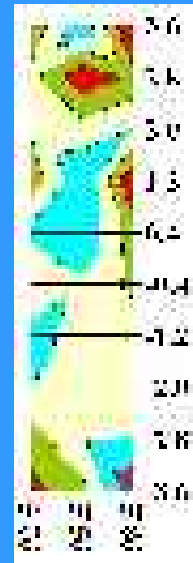
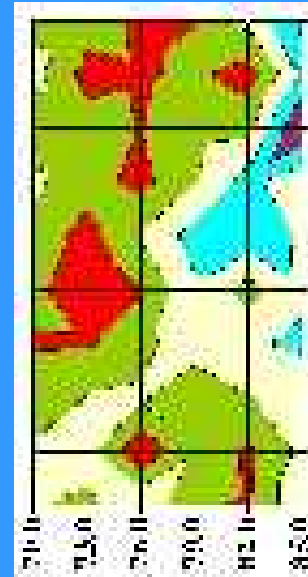
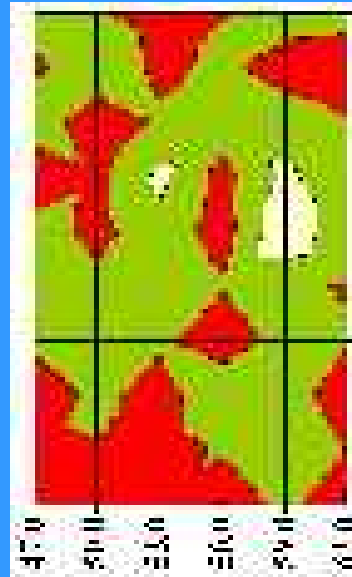
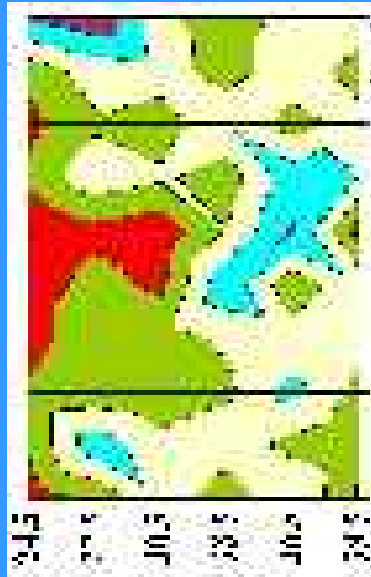
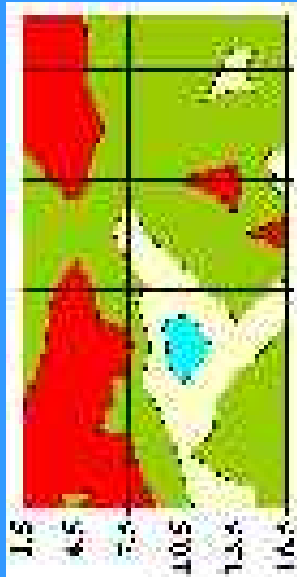
ÚRNAP 2008

A kristályosított szerkezetek

$(B = 3 \text{ mT}, f = 50 \text{ Hz}, G = 8 \text{ K/mm}, v = 0,1 \text{ mm/s})$

3 mT

A kristályosítás iránya



A minta sugara, mm

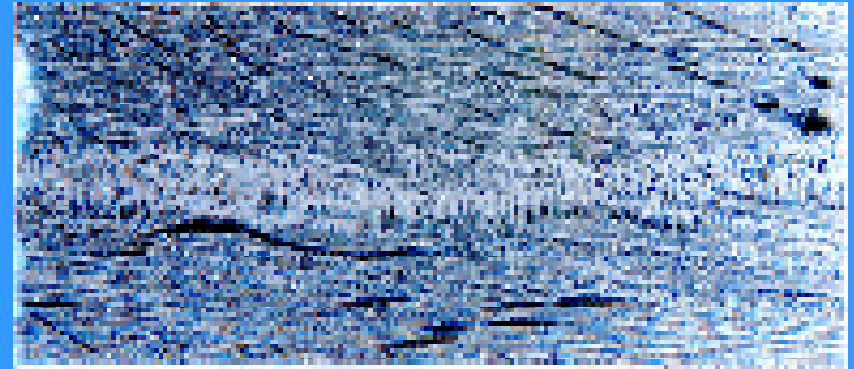
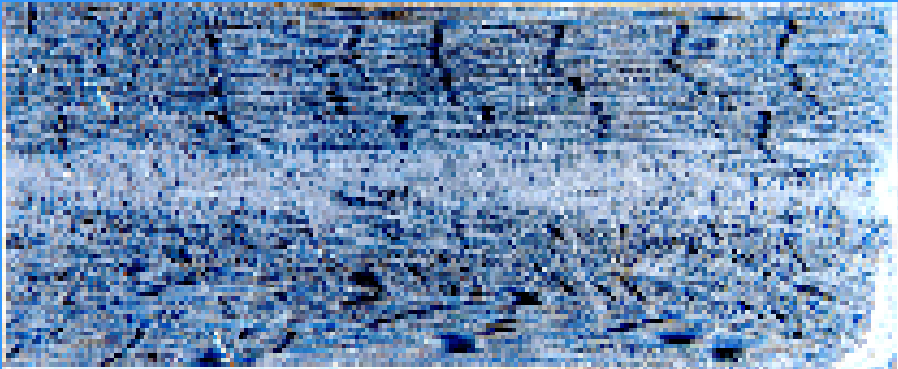
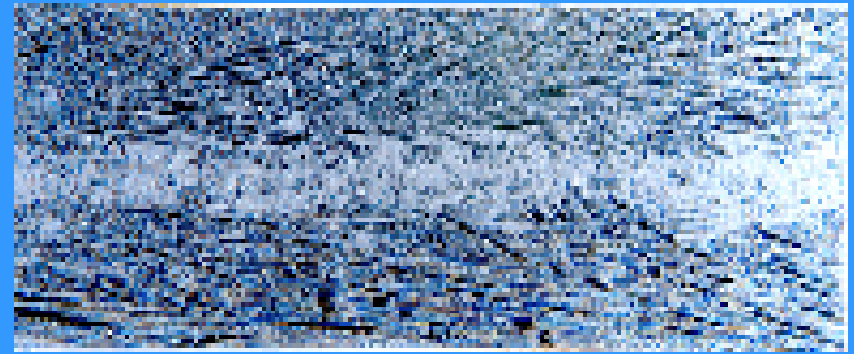
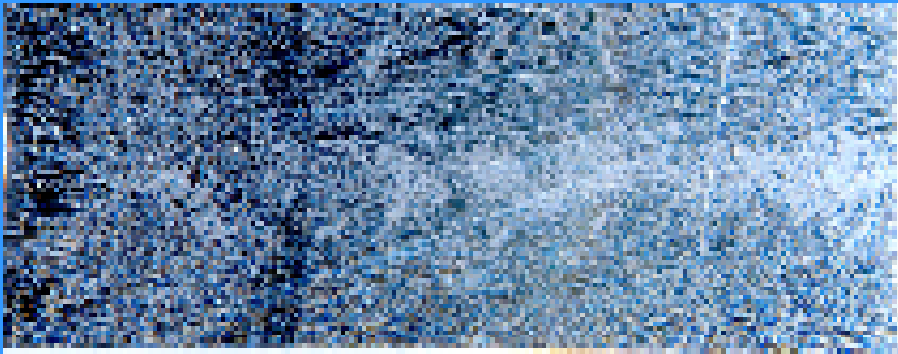
A minta hossza, mm

ÚRNAP 2008

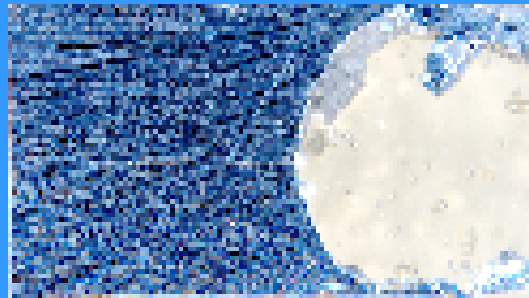


A Si mennyisége, tf%

A kristályosítás iránya



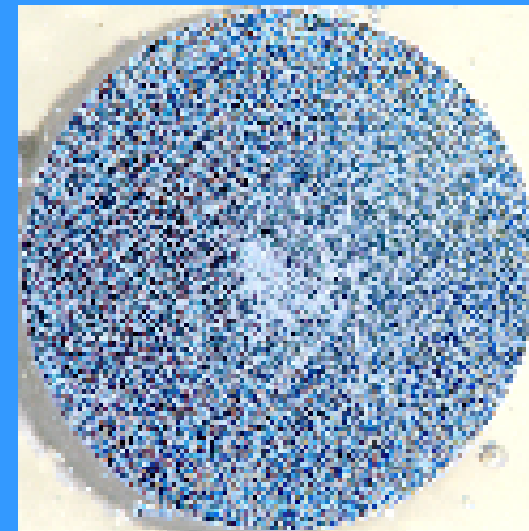
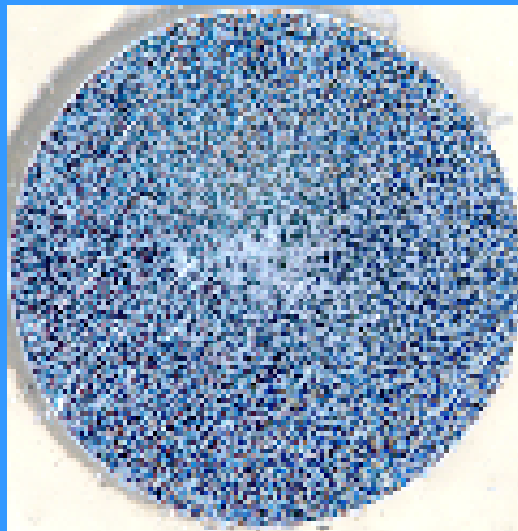
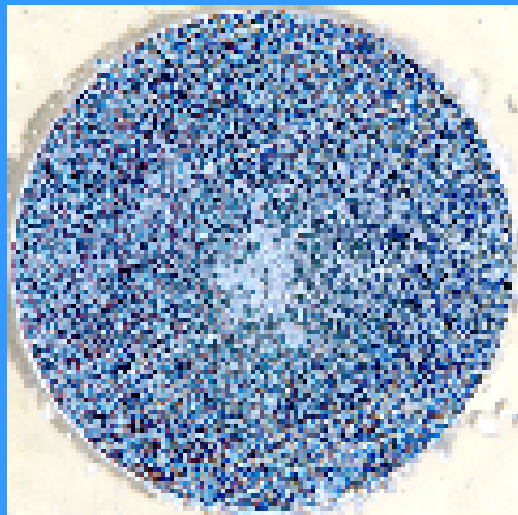
ŰRNAP 2008



A kristályosított szerkezetek

($B = 6 \text{ mT}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $G = 8 \text{ K/mm}$, $v = 0,1 \text{ mm/s}$)

A kristályosítás iránya



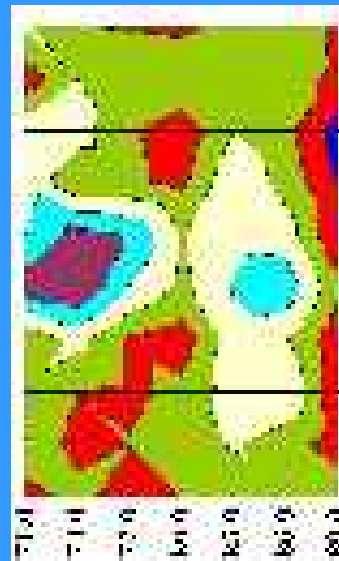
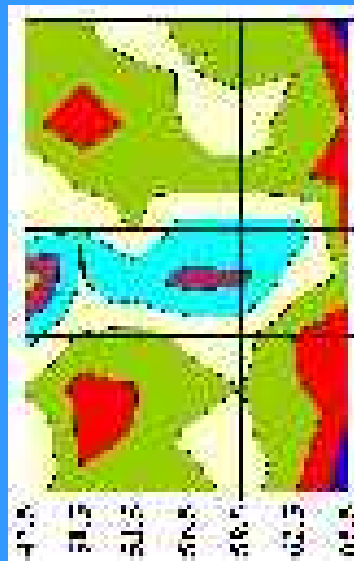
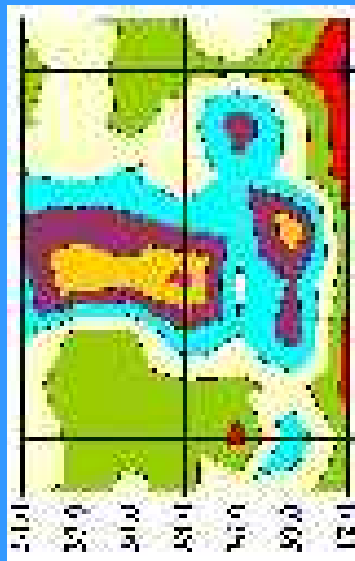
ŰRNAP 2008

A kristályosított szerkezetek

($B = 6 \text{ mT}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $G = 8 \text{ K/mm}$, $v = 0,1 \text{ mm/s}$)

6 mT

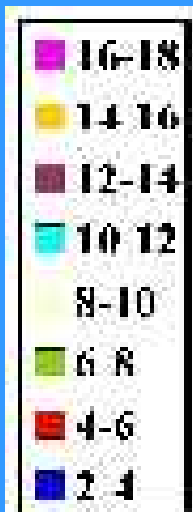
A kristályosítás iránya



A minta sugara, mm

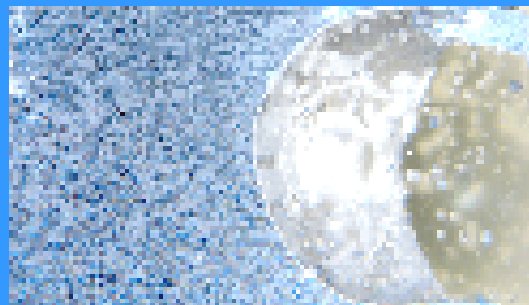
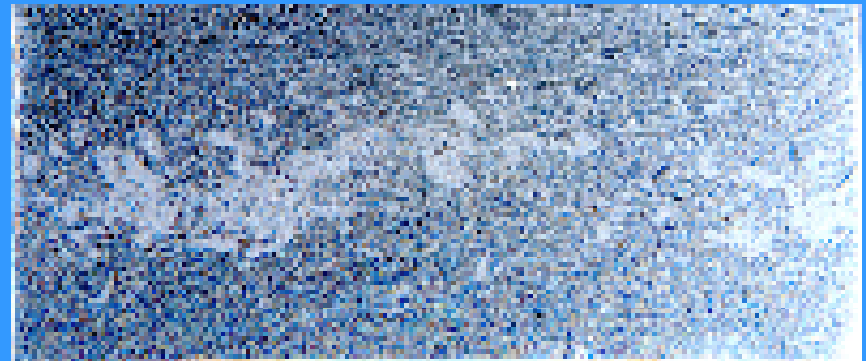
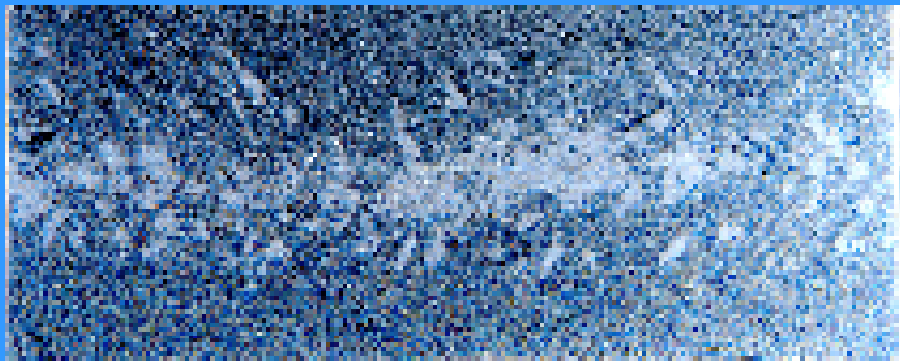
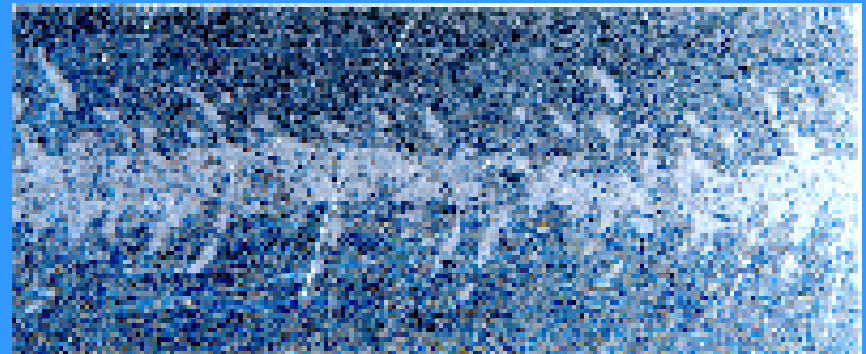
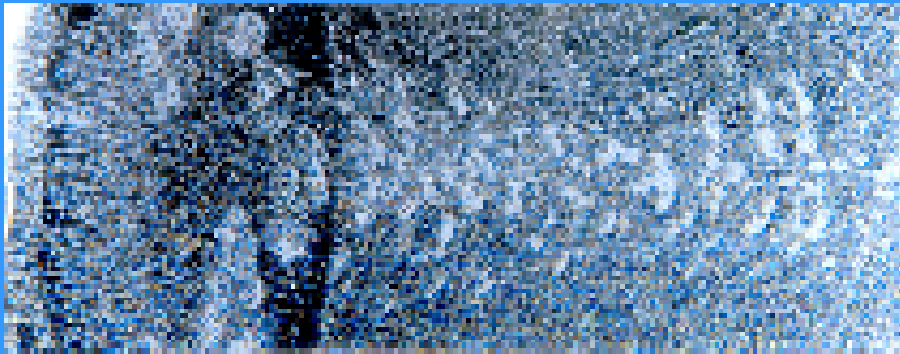
A minta hossza, mm

ŰRNAP 2008



A Si mennyisége, tf%

A kristályosítás iránya

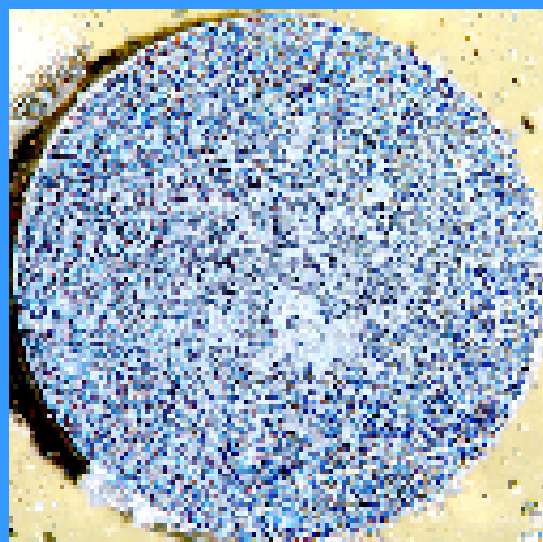
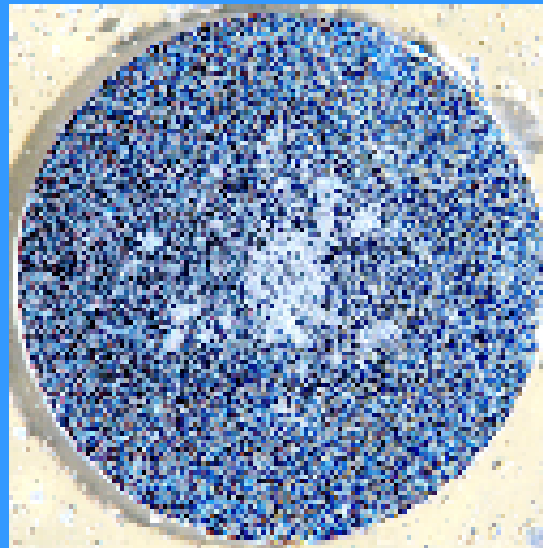
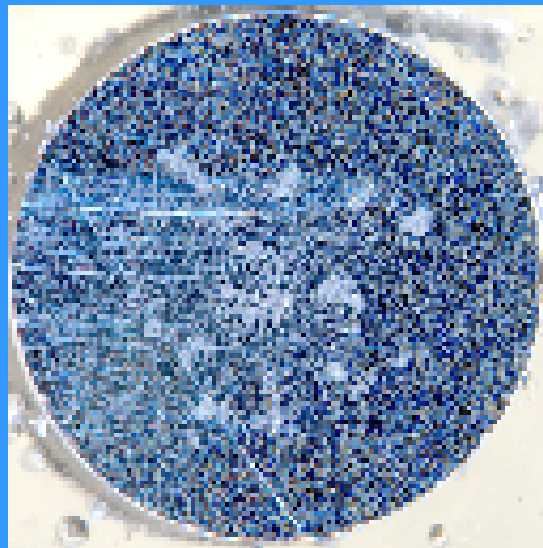


ŰRNAP 2008

A kristályosított szerkezetek

($B = 20$ mT, $f = 50$ Hz, $G = 8$ K/mm, $v = 0,1$ mm/s)

A kristályosítás iránya



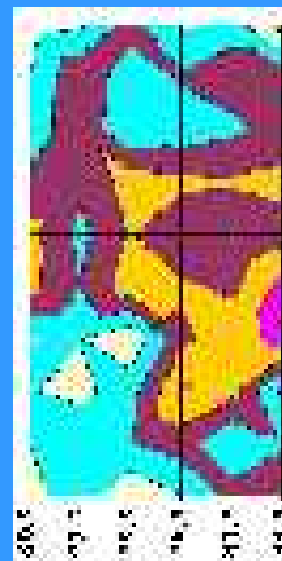
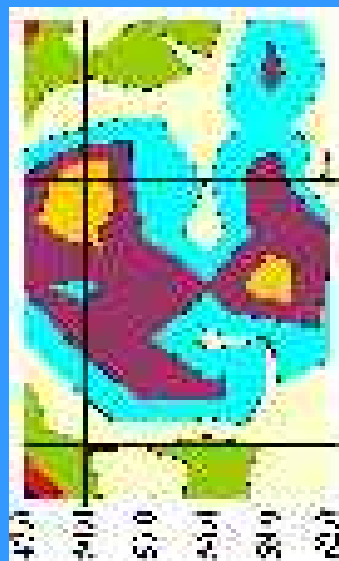
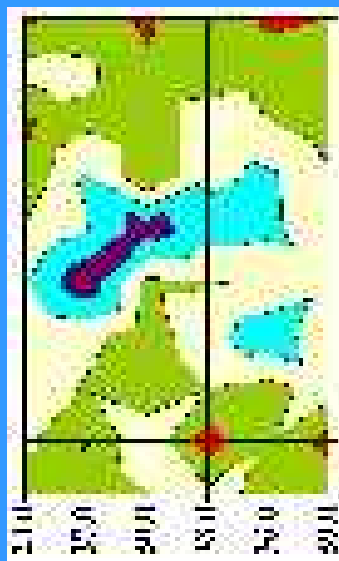
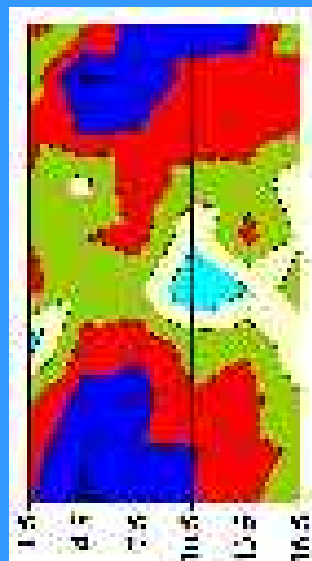
ÚRNAP 2008

A kristályosított szerkezetek

($B = 20 \text{ mT}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $G = 8 \text{ K/mm}$, $v = 0,1 \text{ mm/s}$)

20 mT

A kristályosítás iránya



A minta sugara, mm

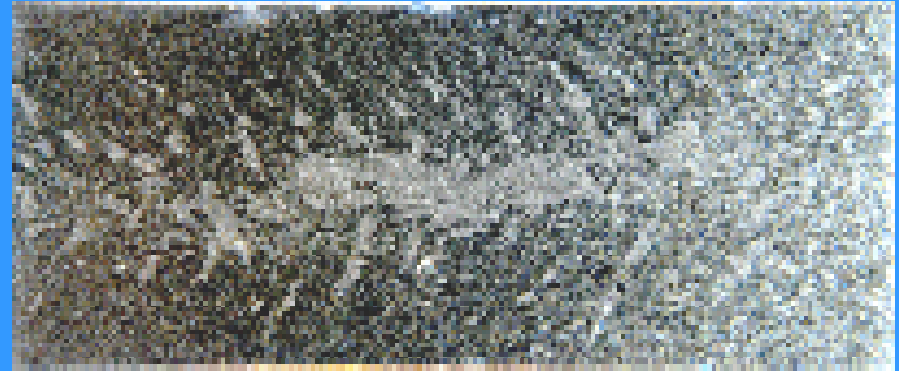
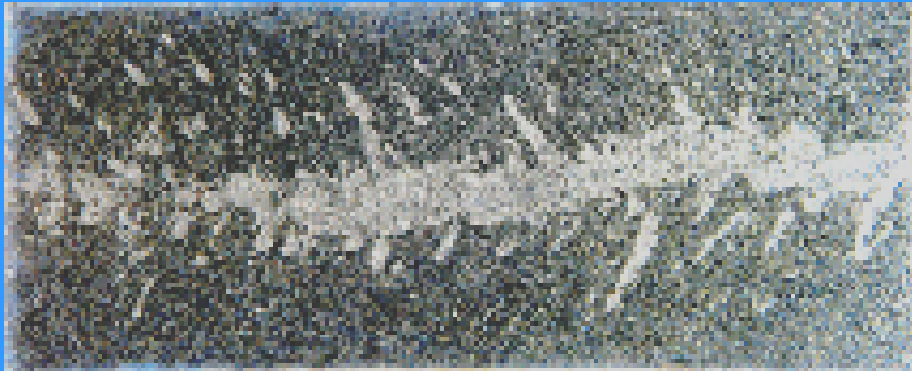
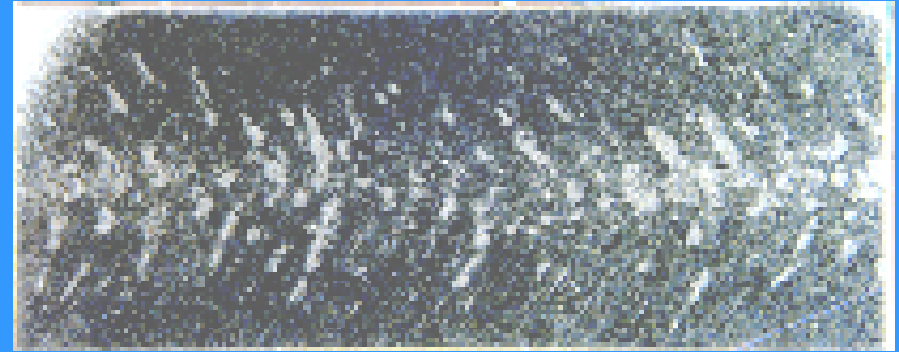
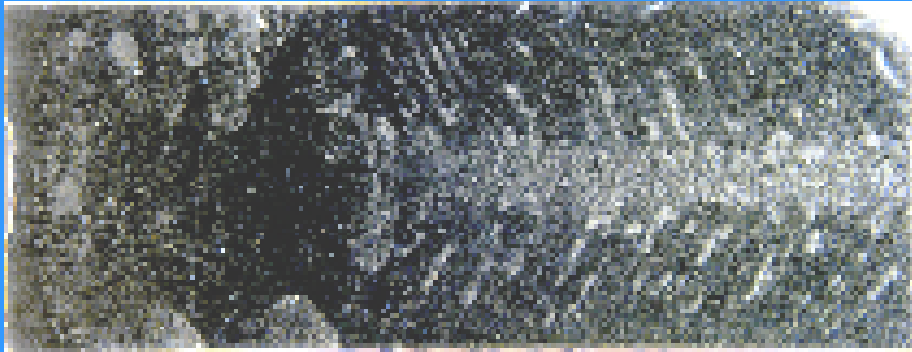
A minta hossza, mm

ŰRNAP 2008

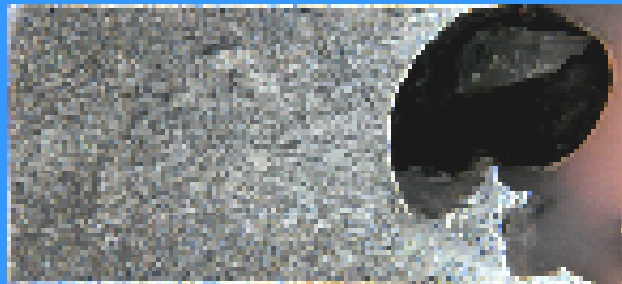


A Si mennyisége, tf%

A kristályosítás iránya



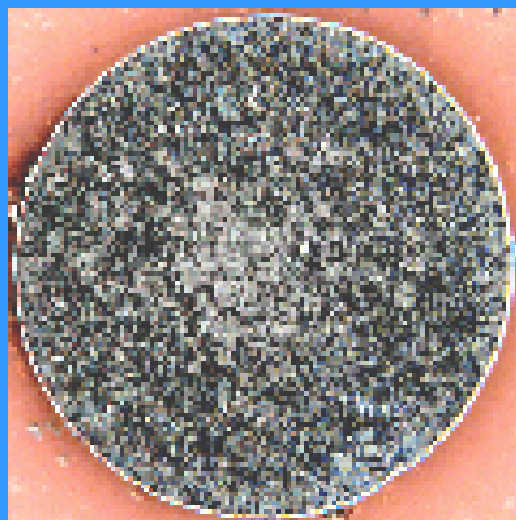
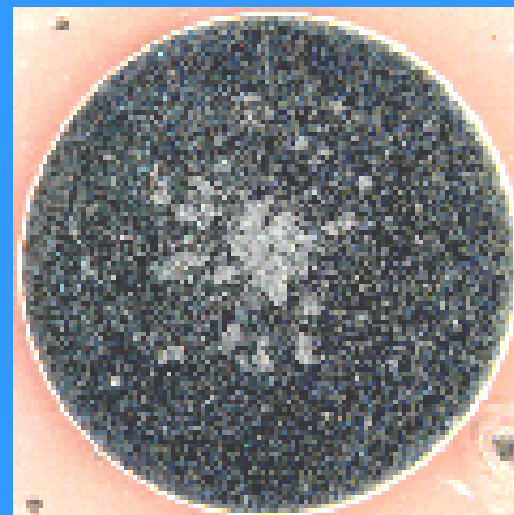
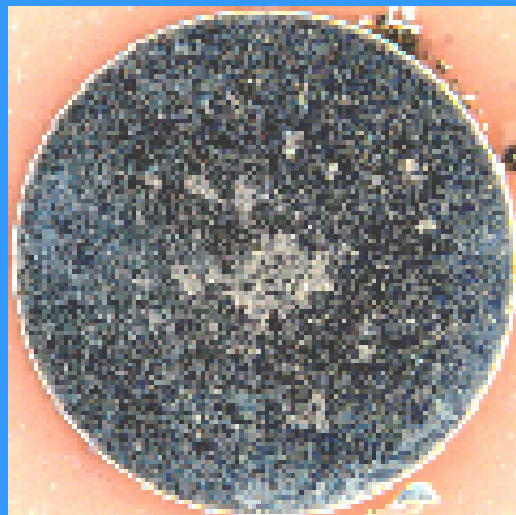
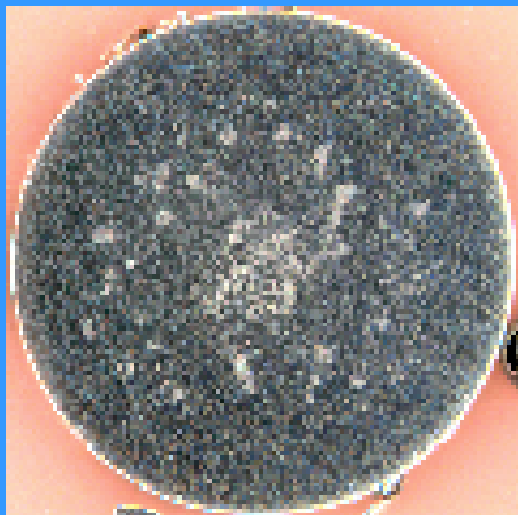
ŰRNAP 2008



A kristályosított szerkezetek

($B = 60 \text{ mT}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $G = 8 \text{ K/mm}$, $v = 0,1 \text{ mm/s}$)

A kristályosítás iránya



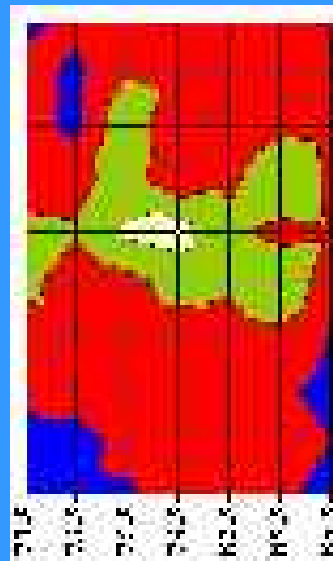
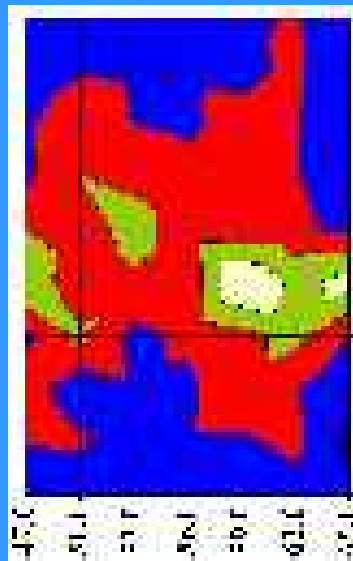
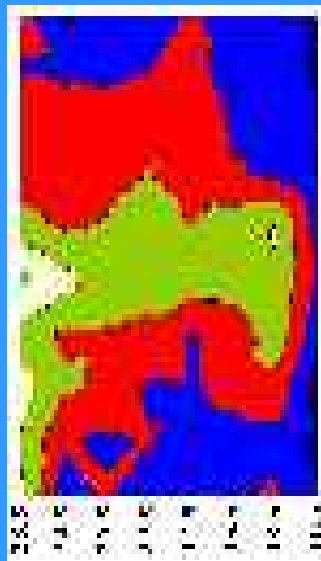
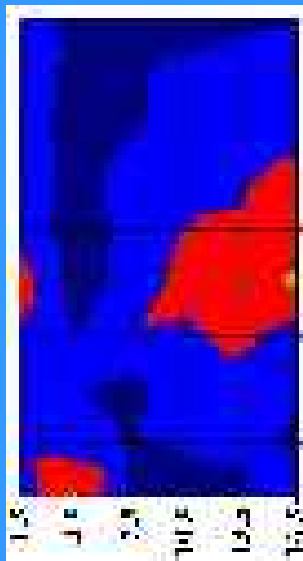
ŰRNAP 2008

A kristályosított szerkezetek

($B = 60 \text{ mT}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $G = 8 \text{ K/mm}$, $v = 0,1 \text{ mm/s}$)

60 mT

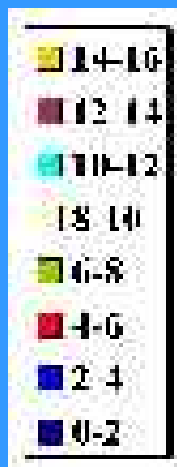
A kristályosítás iránya



A minta sugara, mm

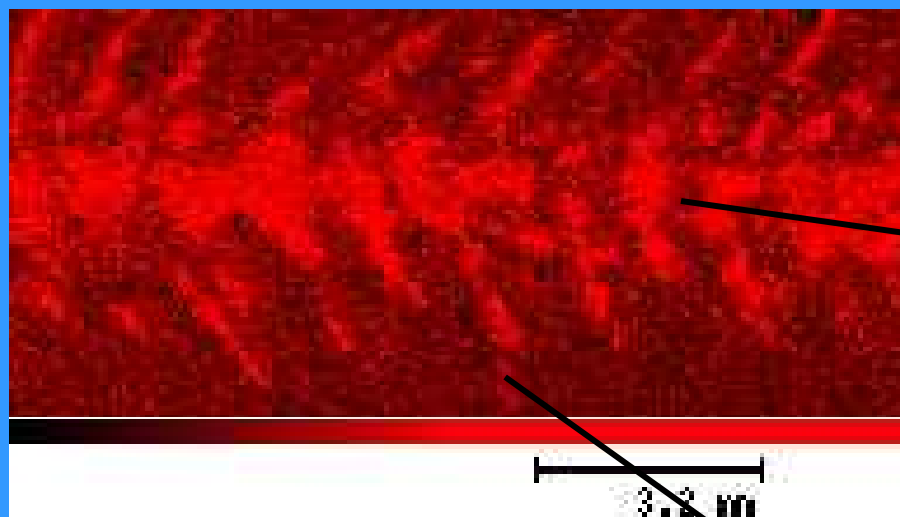
A minta hossza, mm

ŰRNAP 2008



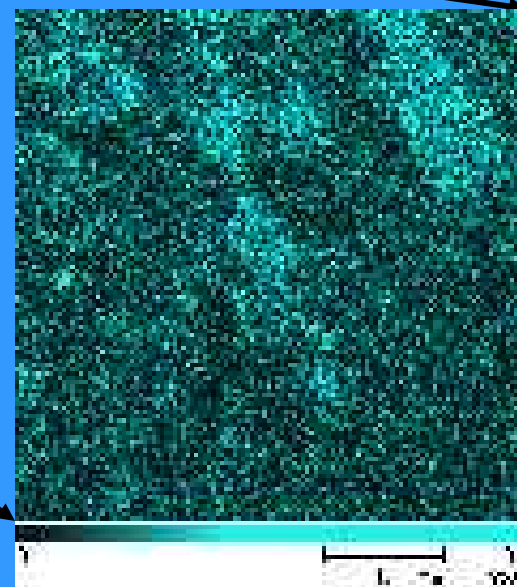
A Si mennyisége, tf%

A koncentráció eloszlás mérése röntgen fluoreszcens spektrométerrel



Nagy térkép (12,8 x 6,4 mm)
100µm sugárral scannelve
A Si K α vonal intenzitása

- A vörös szín magas Si koncentrációt jelöl
- A sötét szín alacsony Si koncentrációt jelöl



Részletes térkép (2,56 x 2,56 mm)
10 µm sugárral scannelve (magasabb helyi felbontás)
A K α vonal intenzitása

A folyadékáramlás szimulációja







Az áramlás kísérleti jellemzése

**A forgó mágneses tér fordulatszámától jelentősen eltér
a forgó olvadék fordulatszáma**

Hideg kísérletek galliummal

4. Turbinás módszer

5. Szabad felszín módszer

6. Nyomáskompenzációs módszer

„Turbinás” mérés



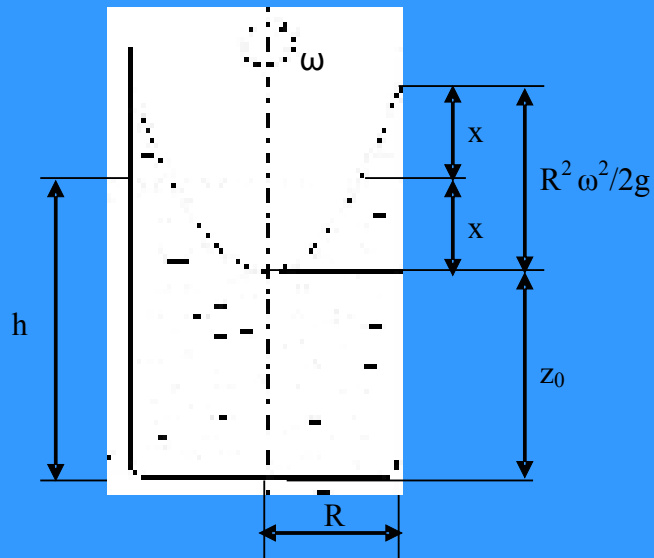


ŪRNAP 2008

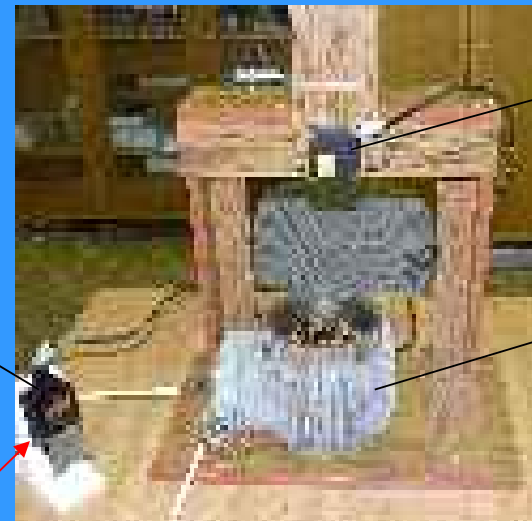
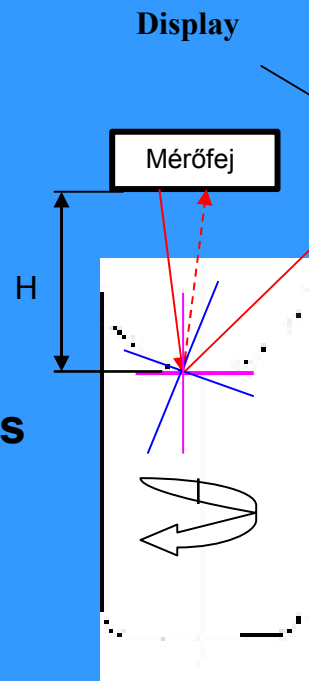
$f = 50\text{Hz}$, $B_x = 51.50\text{ mT}$, $n_0 = 1500\text{ [1/min]}$, $n_{\text{turbina}} \sim 416\text{ [1/min]}$



Szabad felszín módszer



Az elméleti olvadék szabad felszín alakja forgó mágneses térben



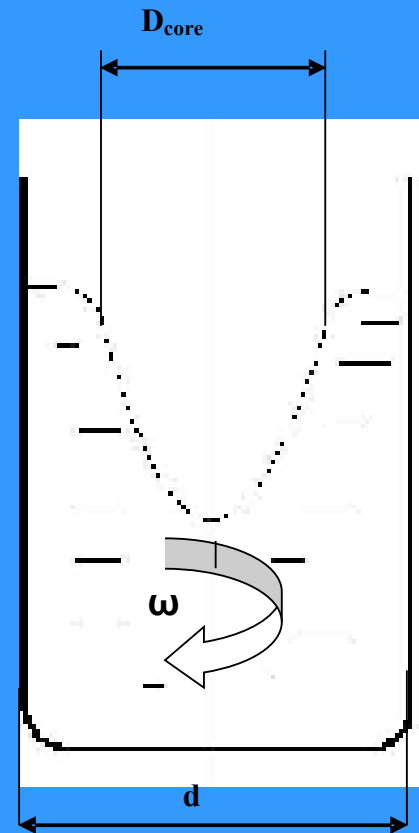
Laser head

Model MHD inductor

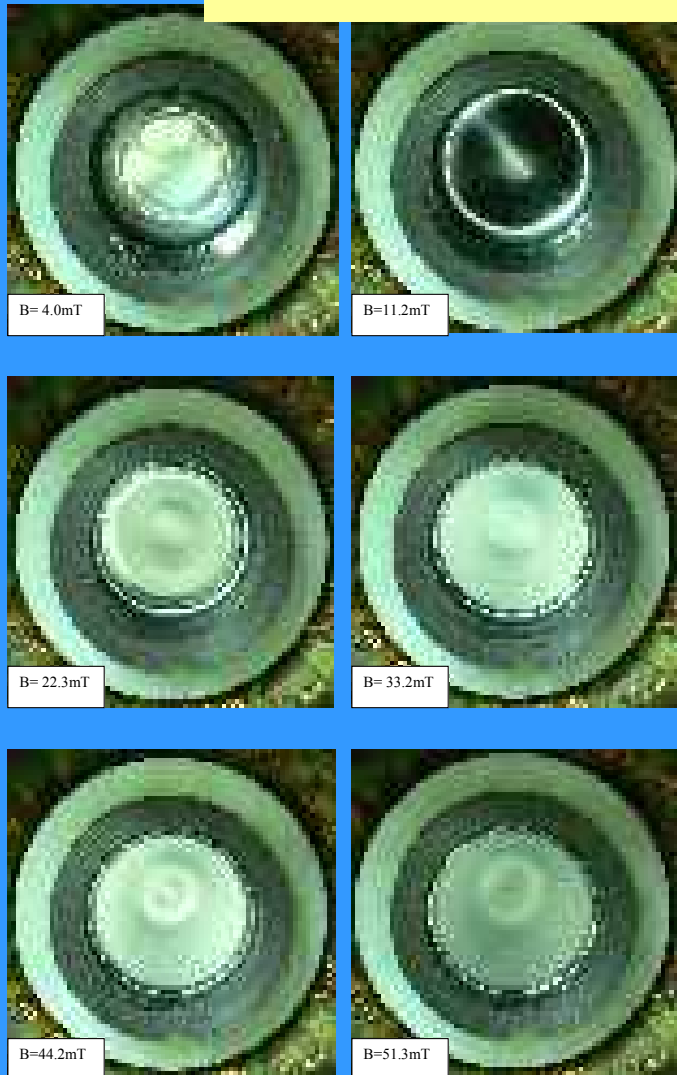
A forgó olvadék szabad felszínének lézeres mérése



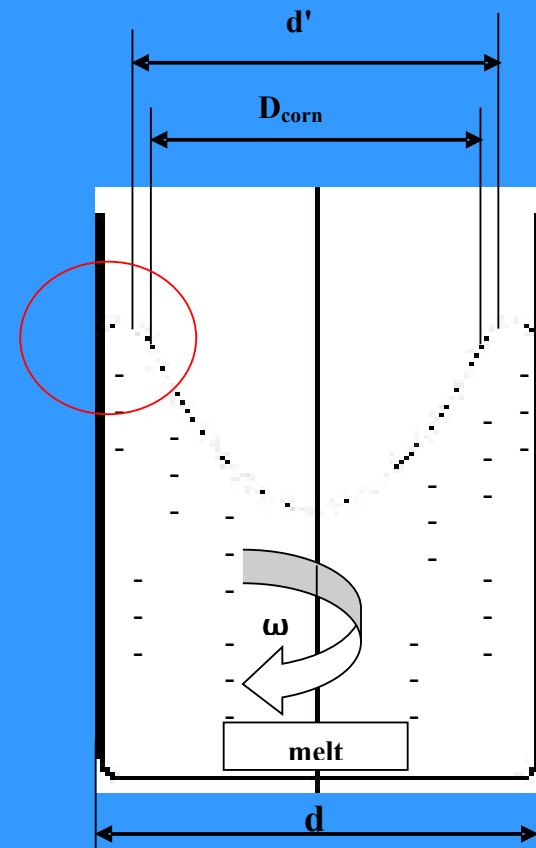
A forgó olvadék szabad felszínének alakja mérés közben



A potenciális örvény kialakulásának bemutatása

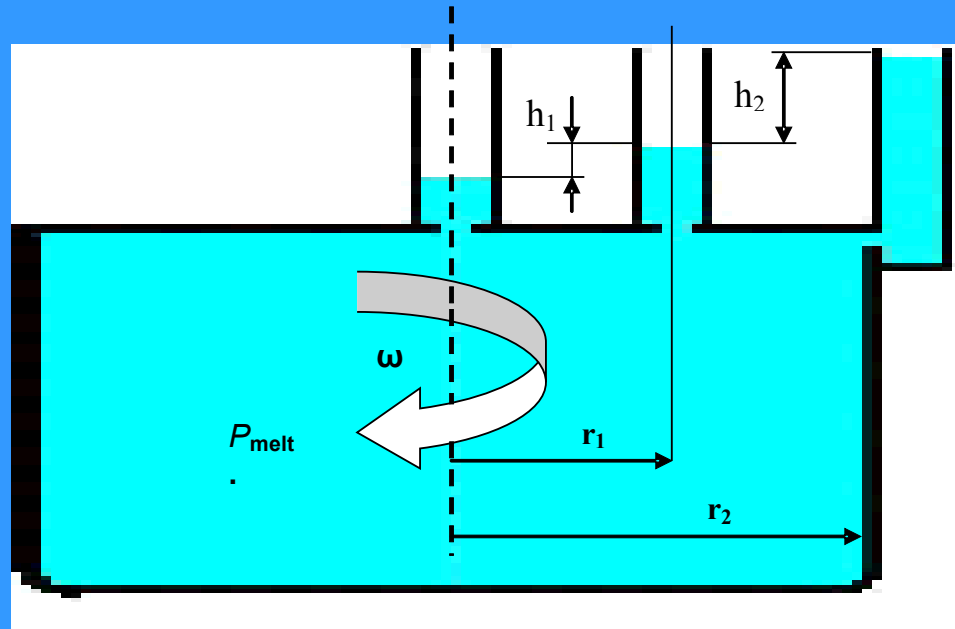


Az olvadék szabad felszín alakjának változása különböző indukciójú forgó mágneses térben



A falhatás bemutatása az olvadékáramlás során

Nyomáskompenzációs módszer

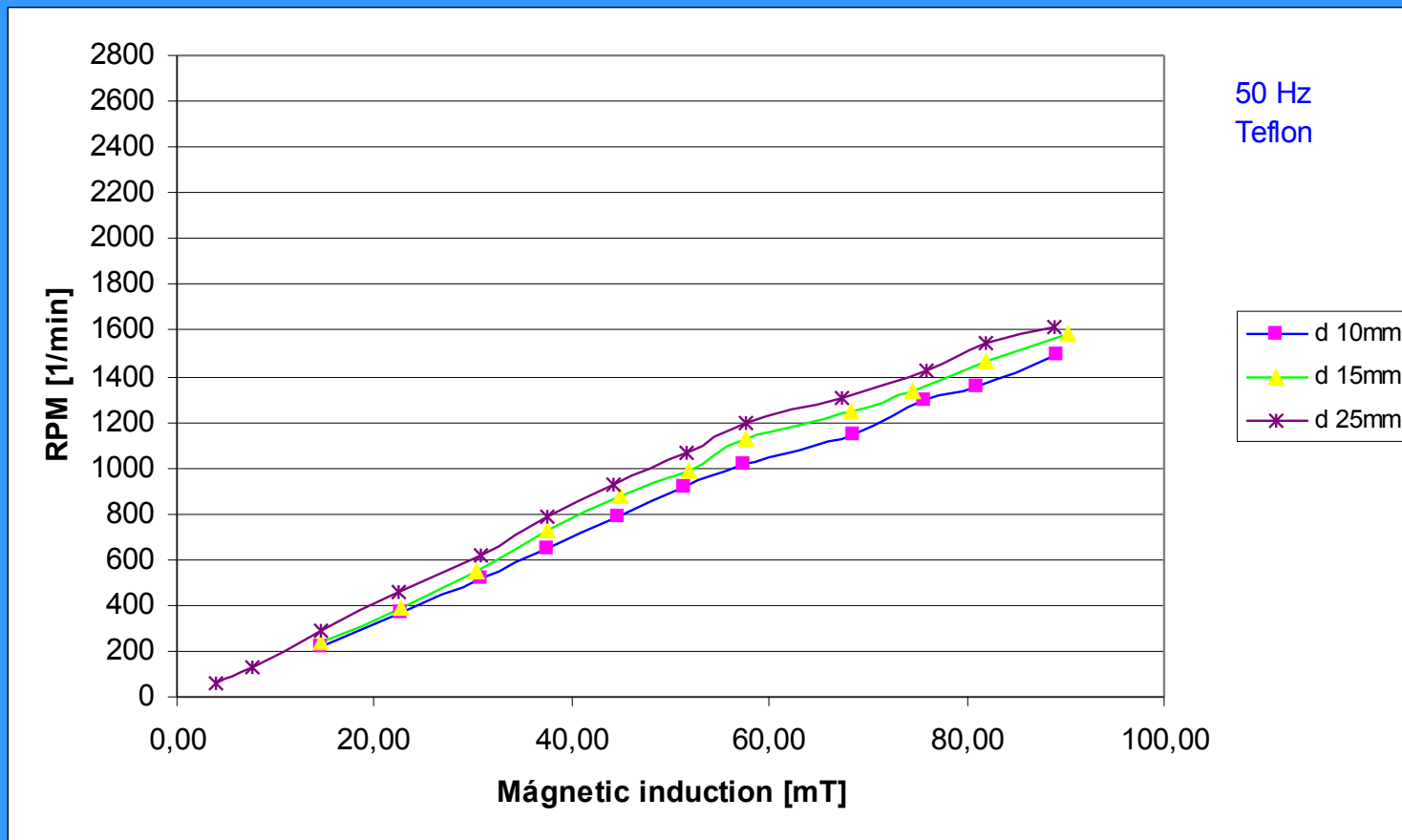


Az olvadék szabad felszíne felett a forgó mágneses tér hatására kialakuló nyomáskülönbség mérési módszerének vázlatja



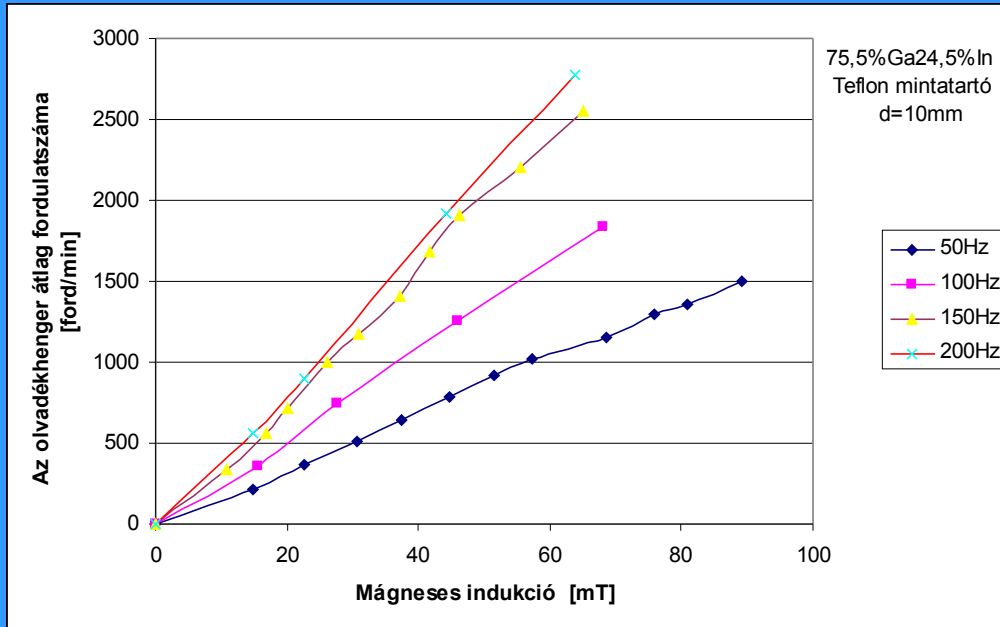
A nyomáskompenzációs mérőberendezés

ŰRNAP 2008



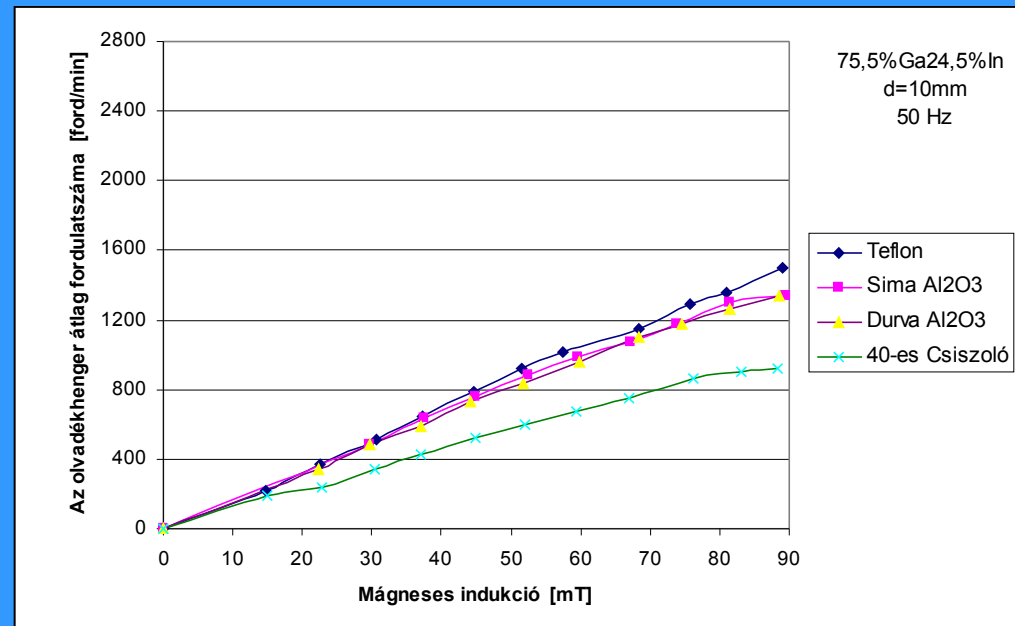
A kialakuló olvadék fordulatszámok a mágneses tér és a kapszula átmérők függvényében

ÚRNAP 2008



← A frekvencia hatása

A fal minőségének a hatása



**Mágneses térrel kevert, irányított kristályosításra
kerülő fémolvadékok áramlásának
összehasonlíthatósága**

Az irodalomban használatos mágneses Taylor szám:

$$\text{Ta}_m = [\sigma B^2 R^4 \omega_0] / [2 \rho u^2]$$

A módosított mágneses Taylor szám:

$$\text{Ta}_m^* = [\sigma B^2 R^4] [\omega_0 - \omega] / [2 \rho u^2]$$

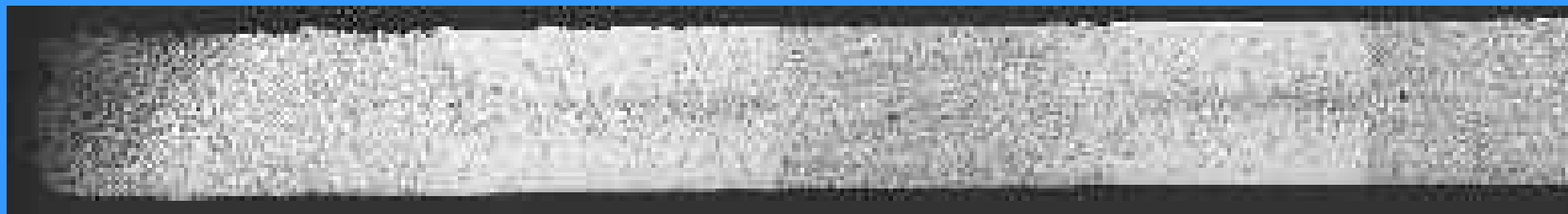
Javasolt technika az űrkísérletekhez



Mágneses keverés be és ki



$B = 150 \text{ mT}$ (720 sec be, 720 sec ki) , $v = 0,02 \text{ mm/s}$, $G = 10 \text{ K/mm}$



$B = 150 \text{ mT}$ (360 sec be, 360 sec ki) , $v = 0,05 \text{ mm/s}$, $G = 10 \text{ K/mm}$

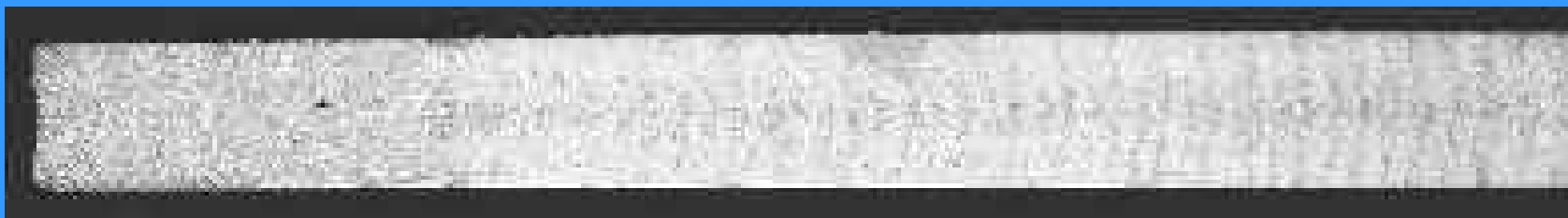


$B = 150 \text{ mT}$ (180 sec be, 180 sec ki) , $v = 0,1 \text{ mm/s}$, $G = 10 \text{ K/mm}$

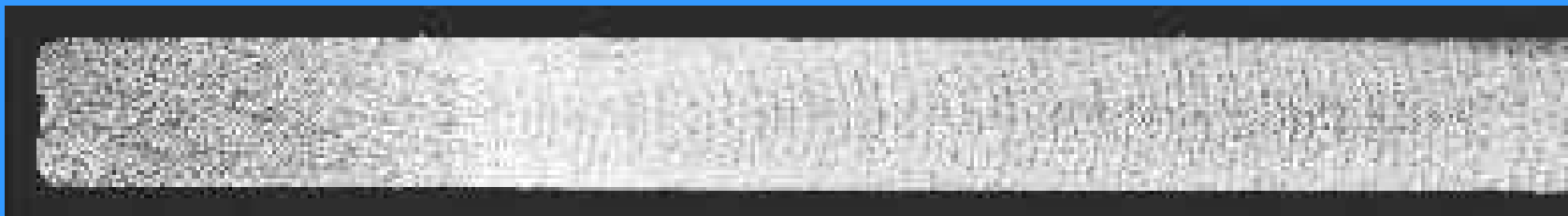
Különleges technikák



Mágneses keverés előre, szünet, vissza



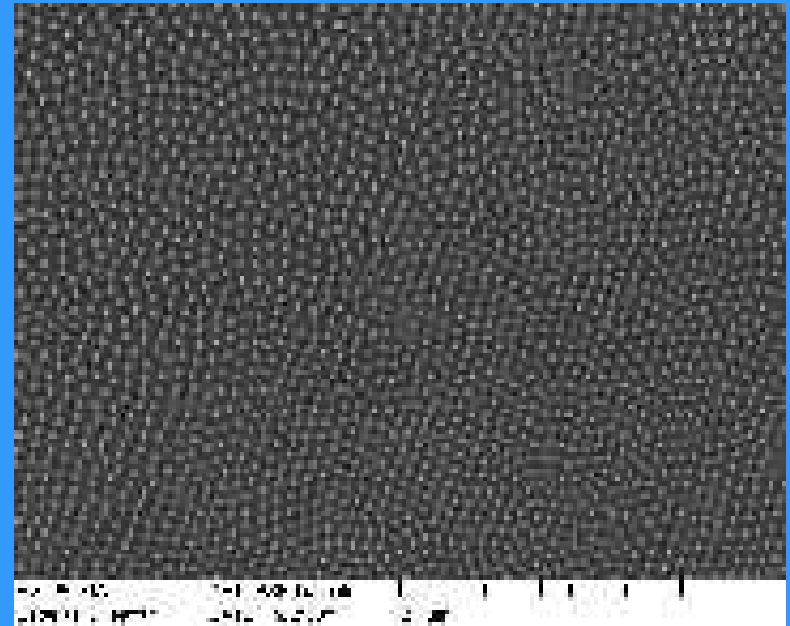
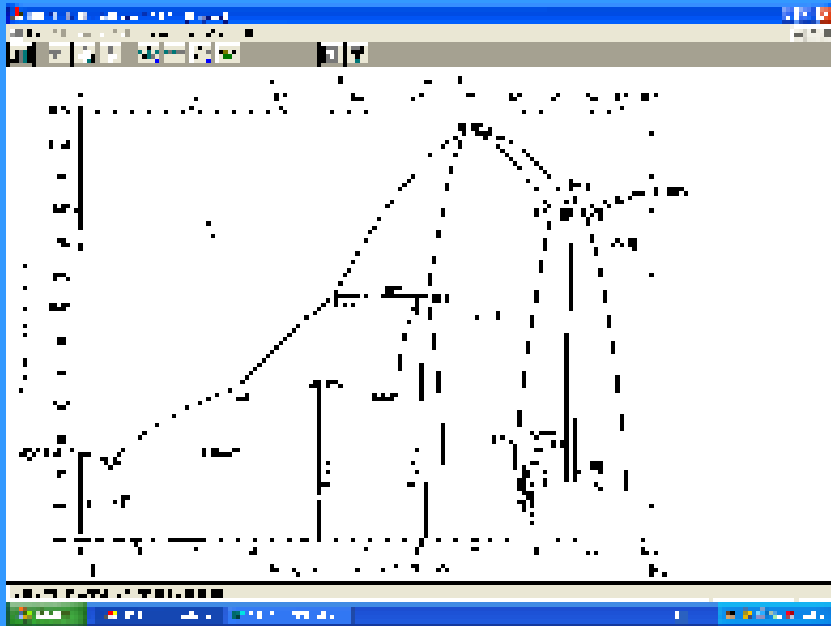
**$B = 150 \text{ mT}$ (12 sec előre, 3 sec szünet, 12 sec vissza) ,
 $v = 0.1 \text{ mm/s}$, $G = 10 \text{ K/mm}$**



**$B = 150 \text{ mT}$ (6 sec előre, 2 sec szünet, 6 sec vissza) ,
 $v = 0.1 \text{ mm/s}$, $G = 10 \text{ K/mm}$**

Veres Zsolt

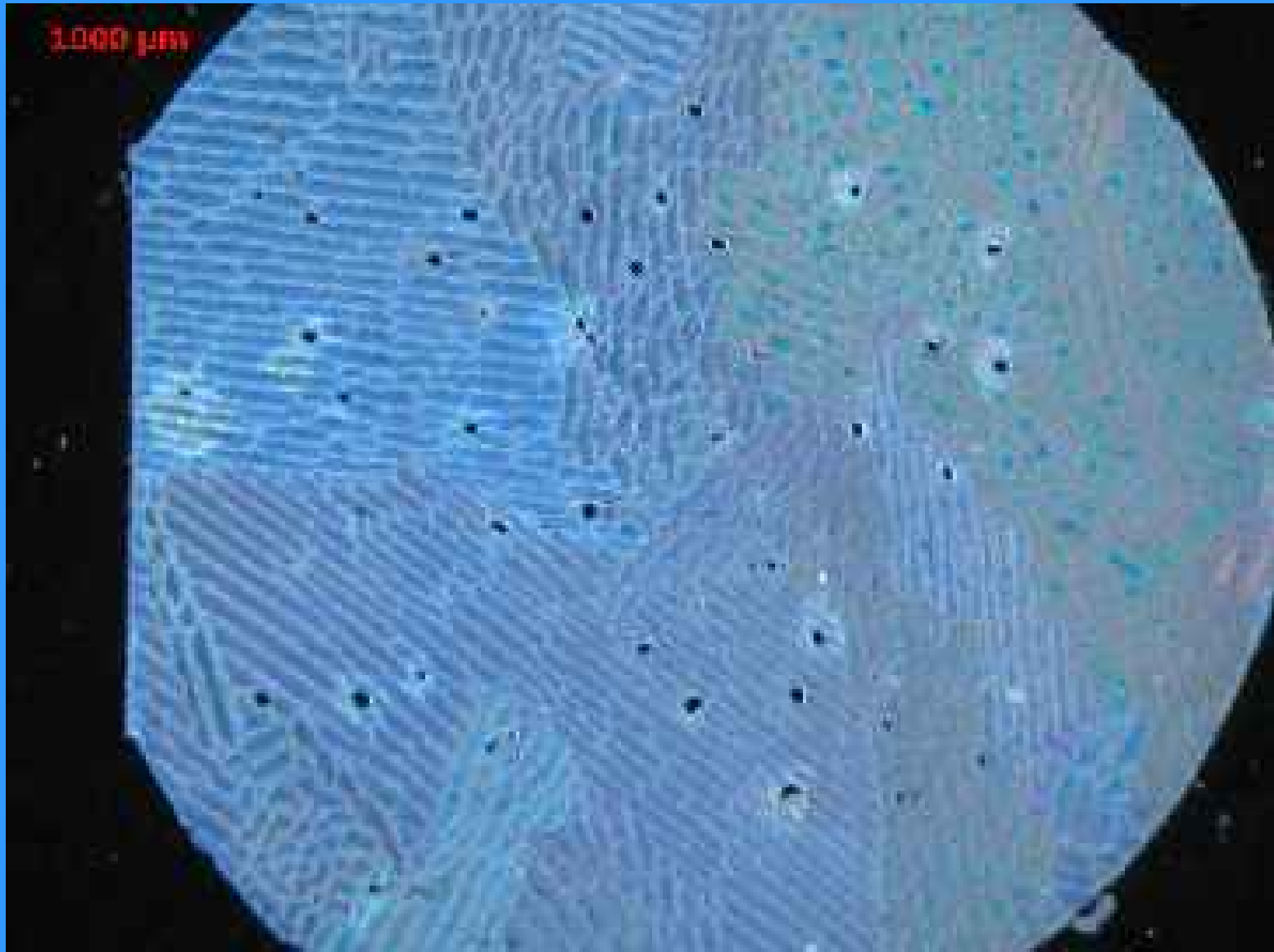
Al – 7.5% Ni ötvözet



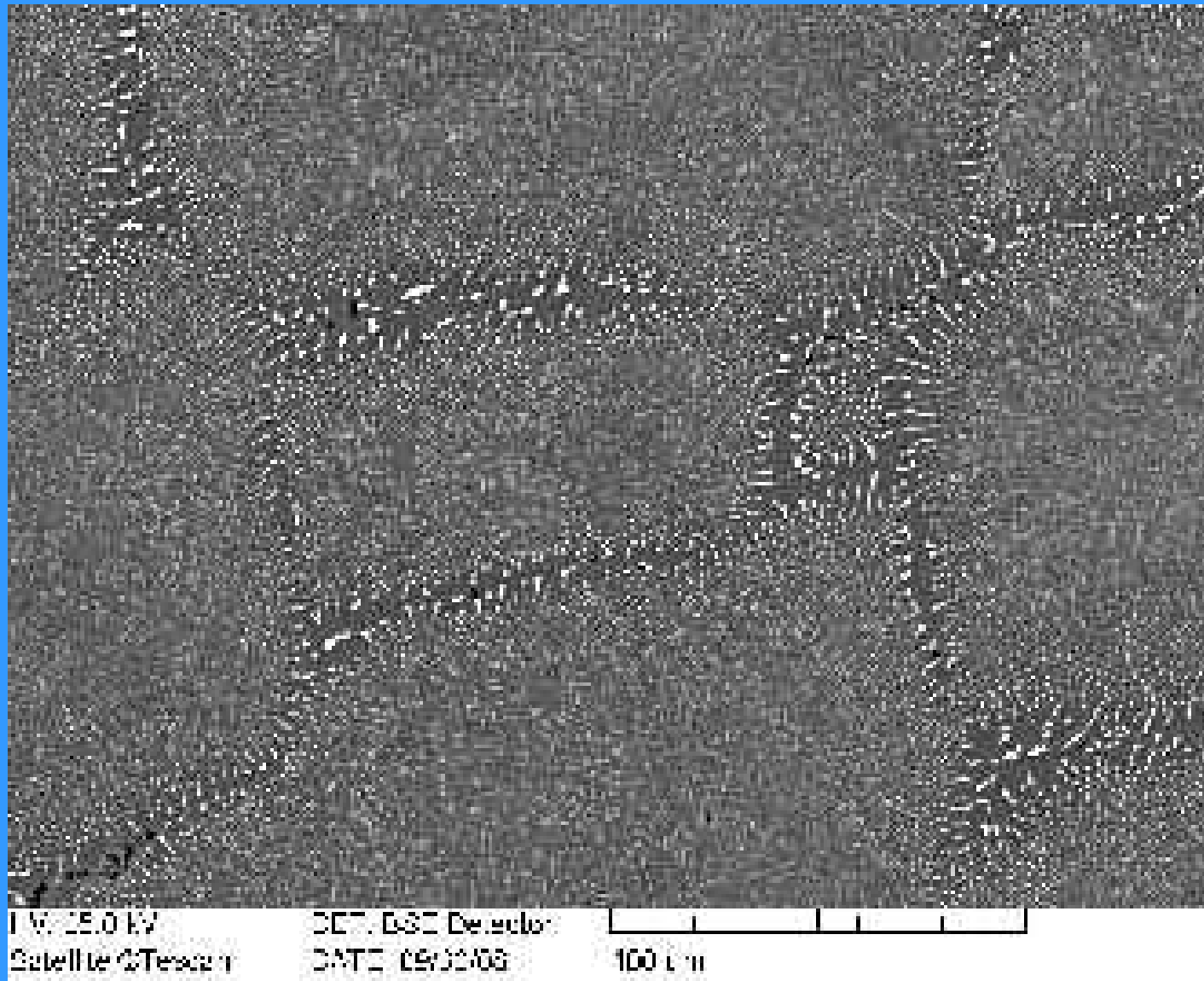
$\text{Olv} \rightarrow (\alpha + \text{Al}_3\text{Ni})$ eutektikum

ÚRNAP 2008

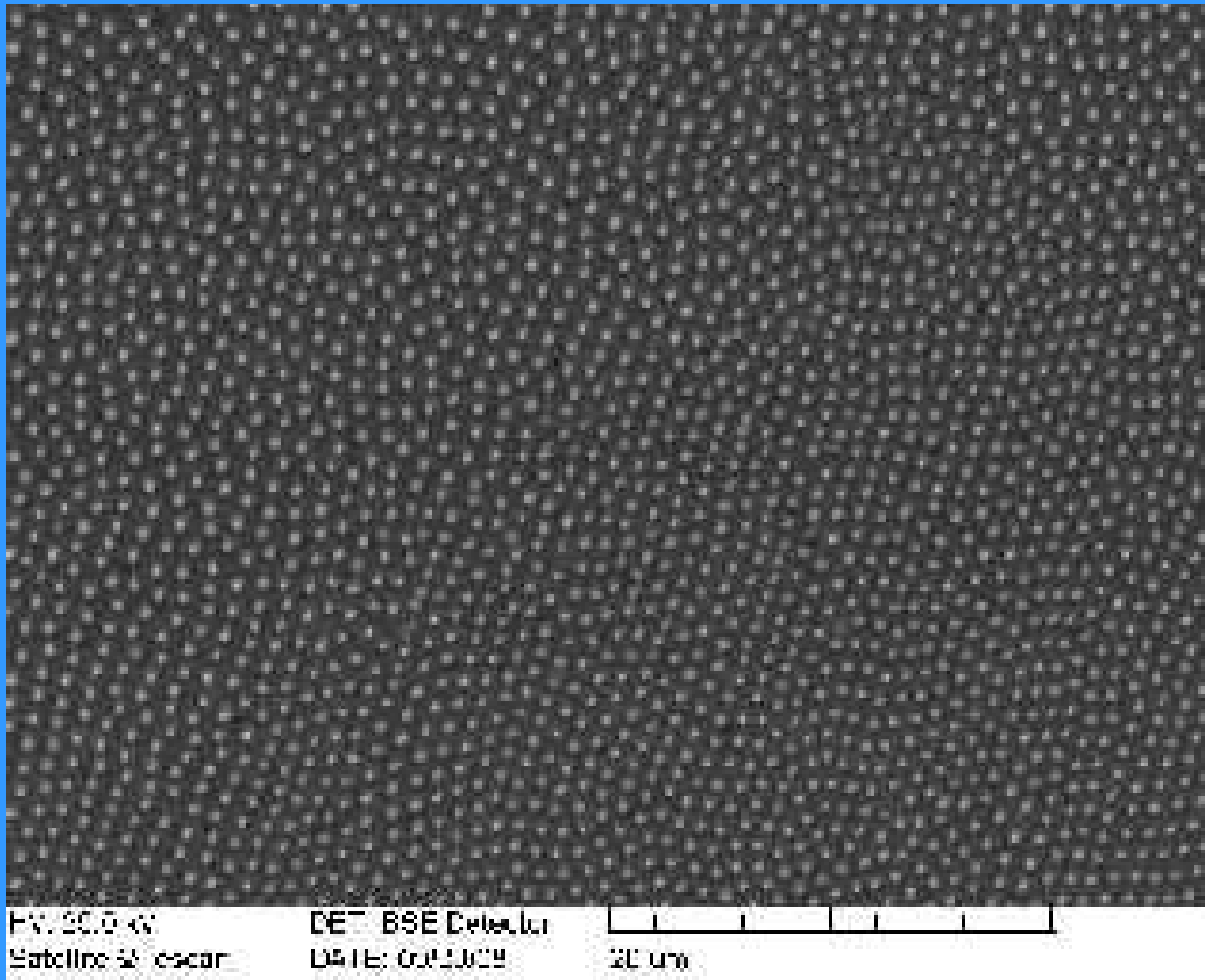
Al-7,5Ni eutektikus ötvözet mágneses keverés nélkül irányítottan kristályosítva



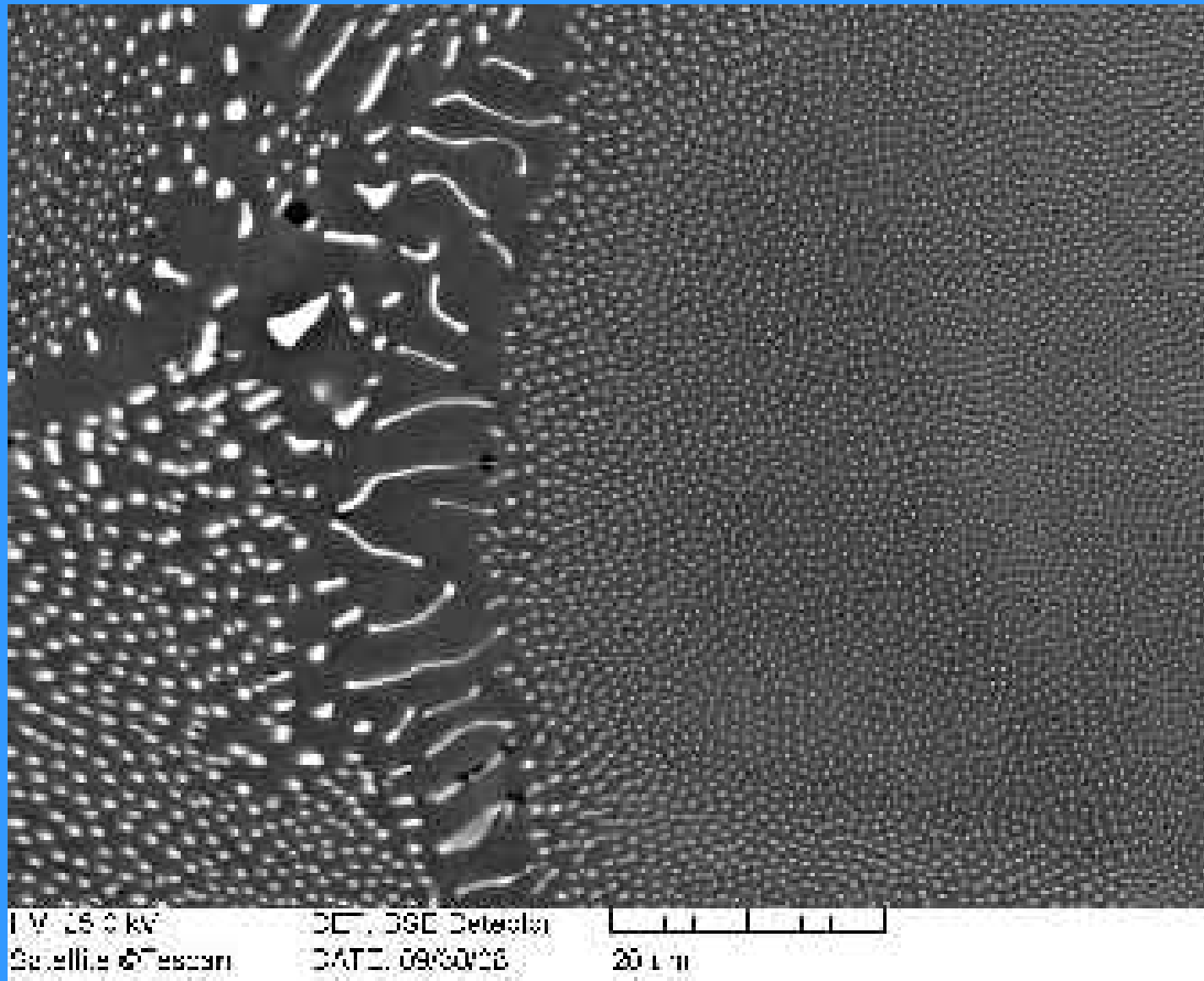
Al -7.5%Ni eutektikus ötvözet cellás szerkezete



Al -7.5%Ni eutektikus ötvözet rudas eutektikumuma

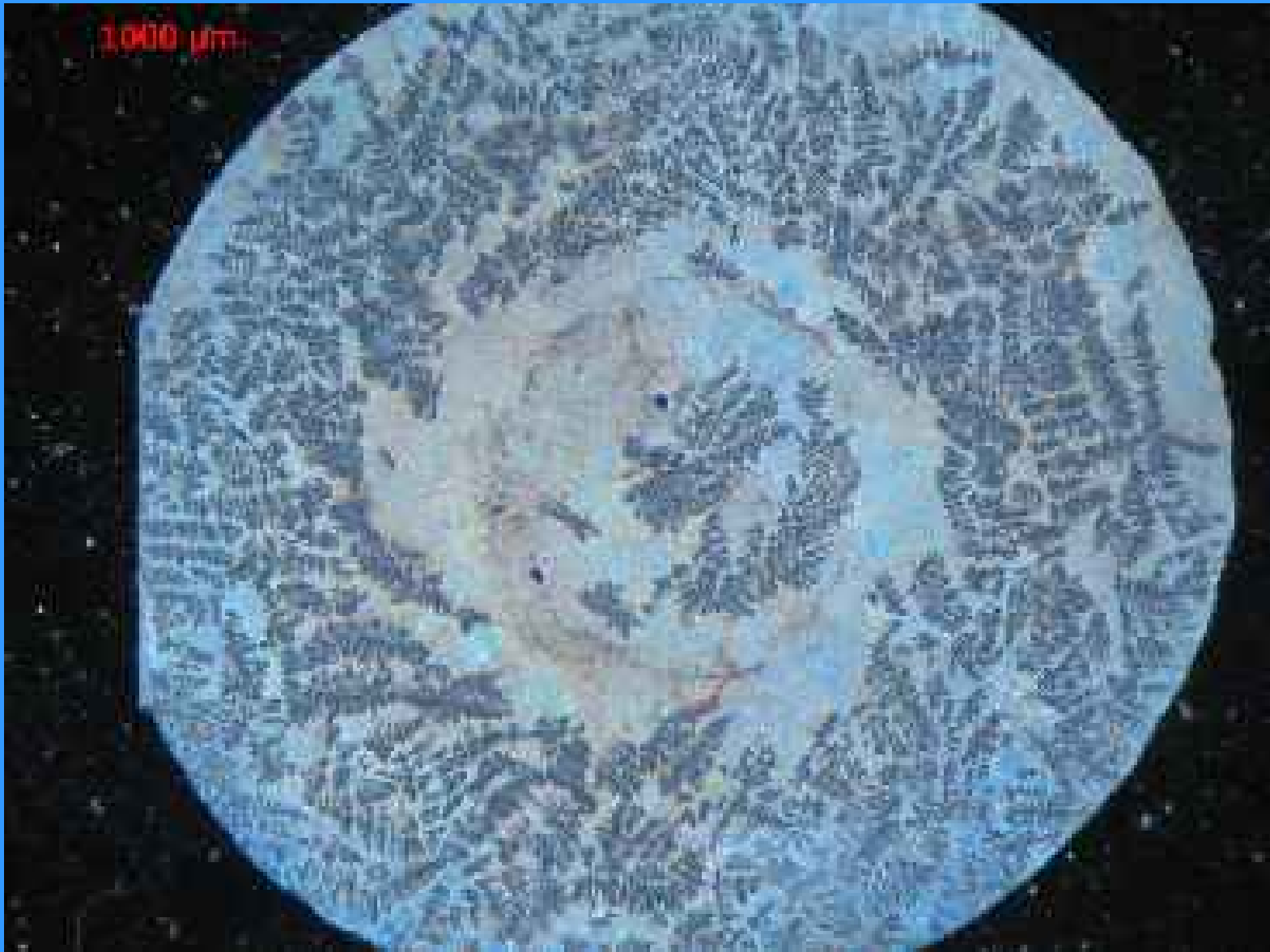


Al -7.5%Ni eutektikus ötvözet cellahatára



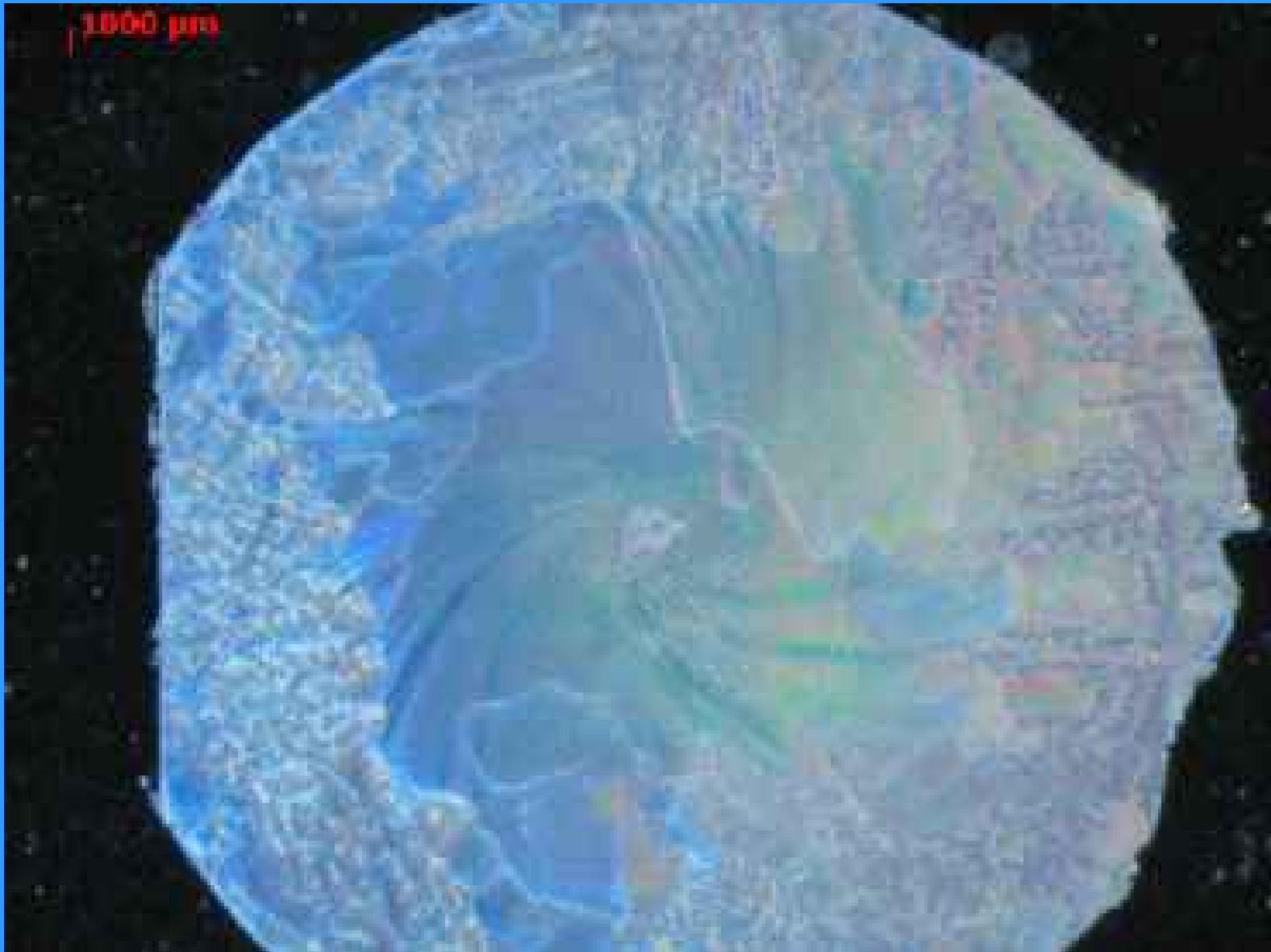
ÚRNAP 2008

Al-7,5Ni eutektikus ötvözet 10 mT mágneses keveréssel irányítottan kristályosítva



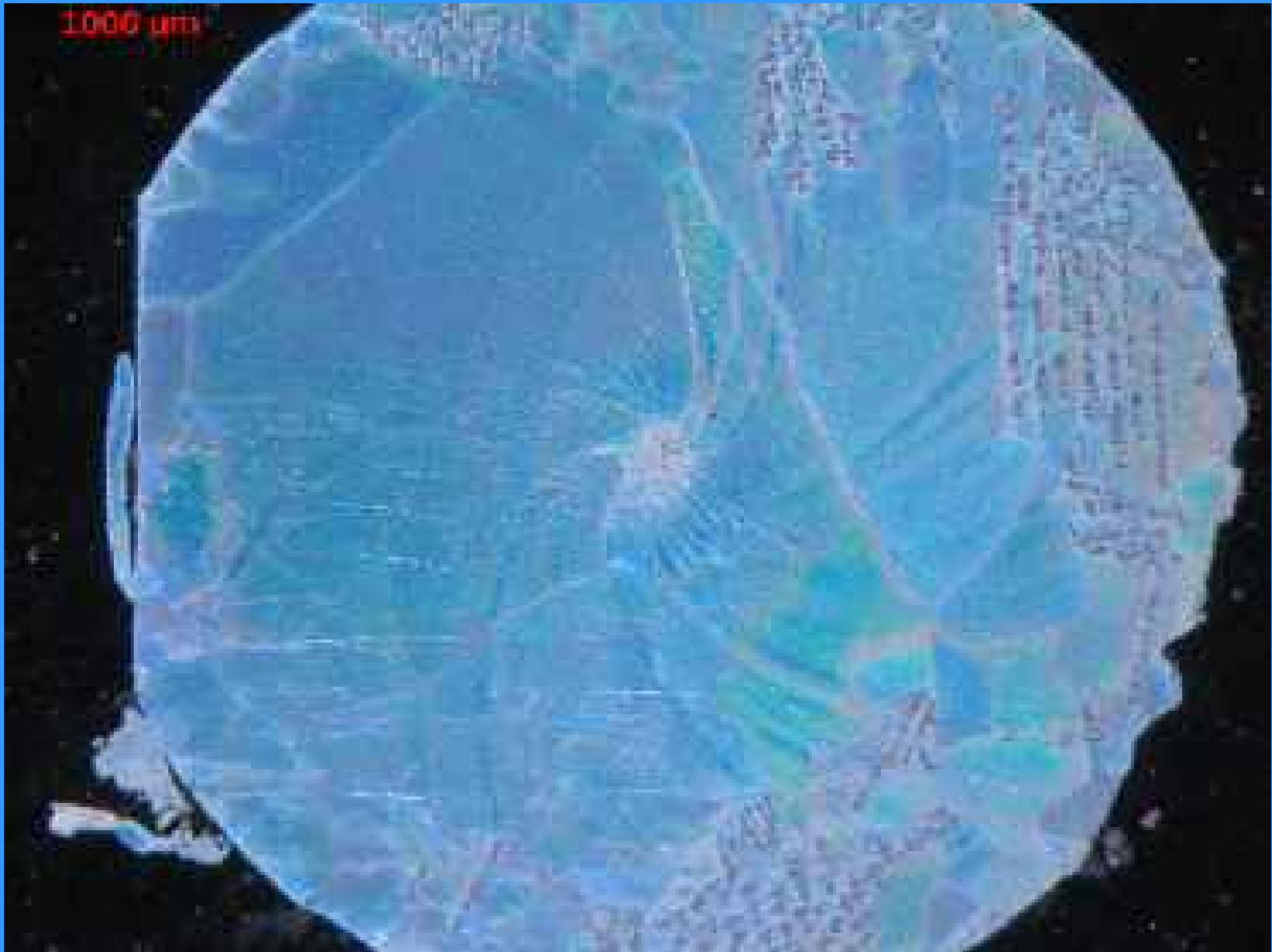
ÚRNAP 2008

Al-7,5Ni eutektikus ötvözet 10 mT mágneses keveréssel irányítottan kristályosítva



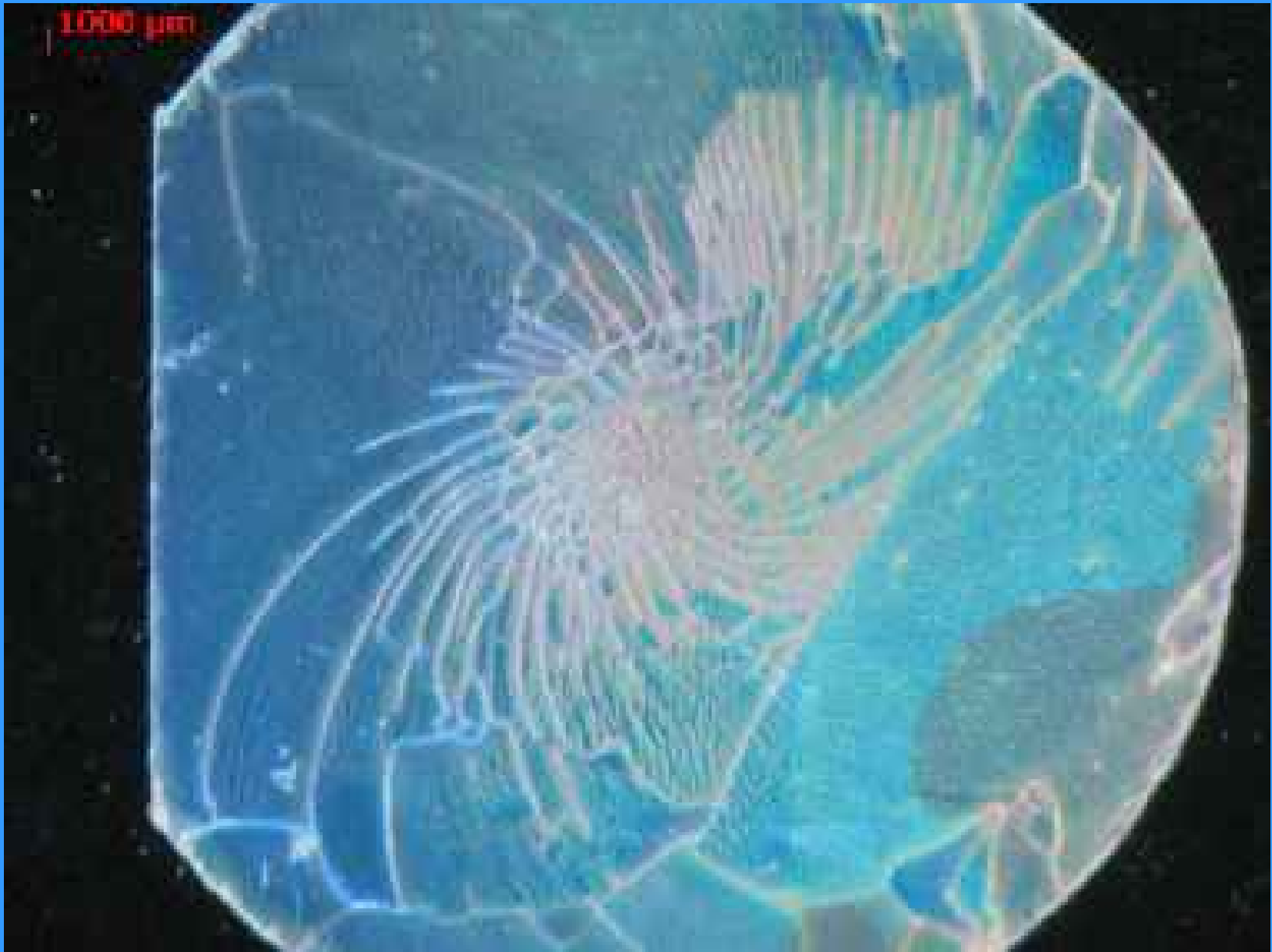
ÚRNAP 2008

Al-7,5Ni eutektikus ötvözet 10 mT mágneses keveréssel irányítottan kristályosítva



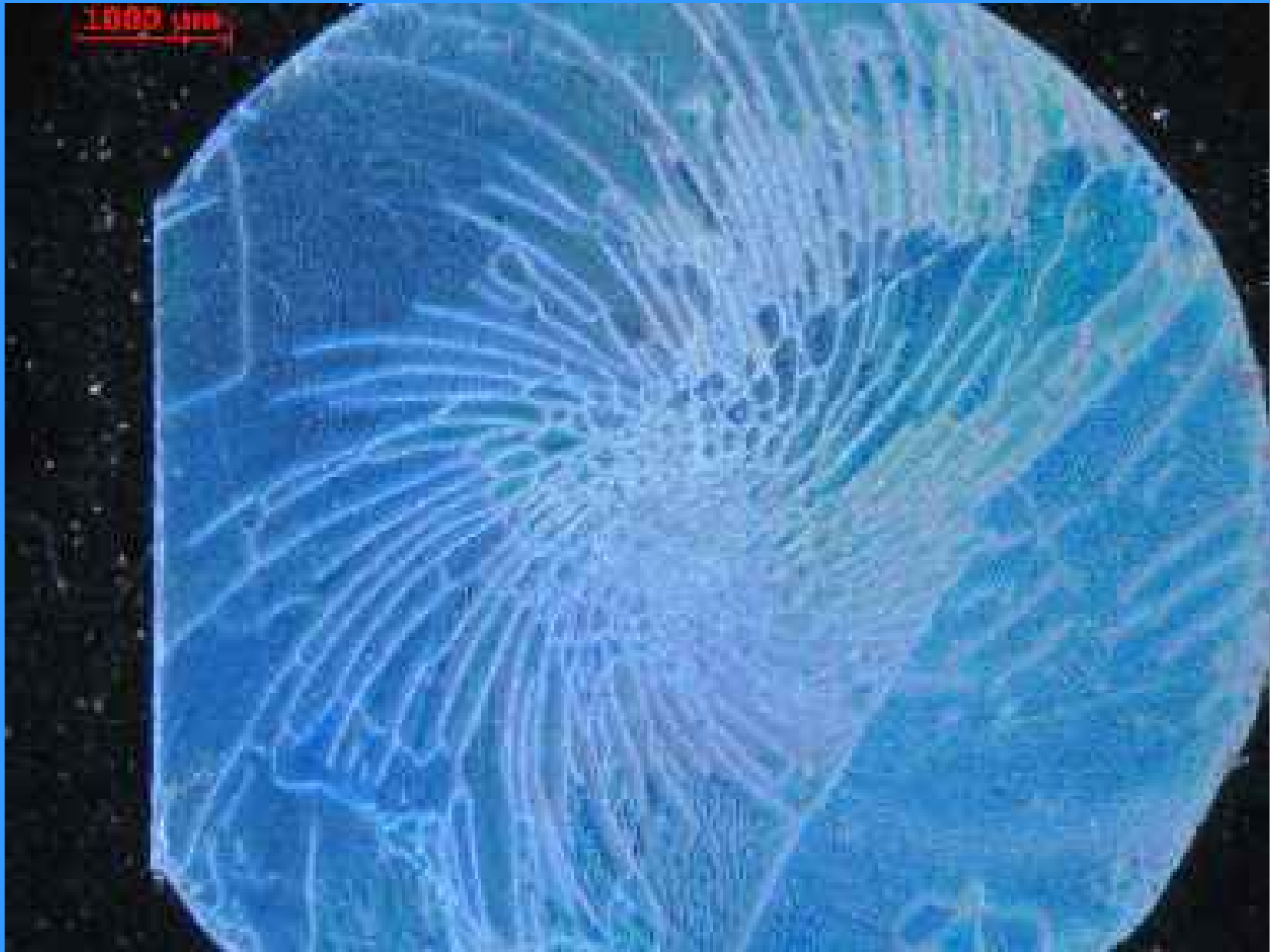
ÚRNAP 2008

Al-7,5Ni eutektikus ötvözet 10 mT mágneses keveréssel irányítottan kristályosítva

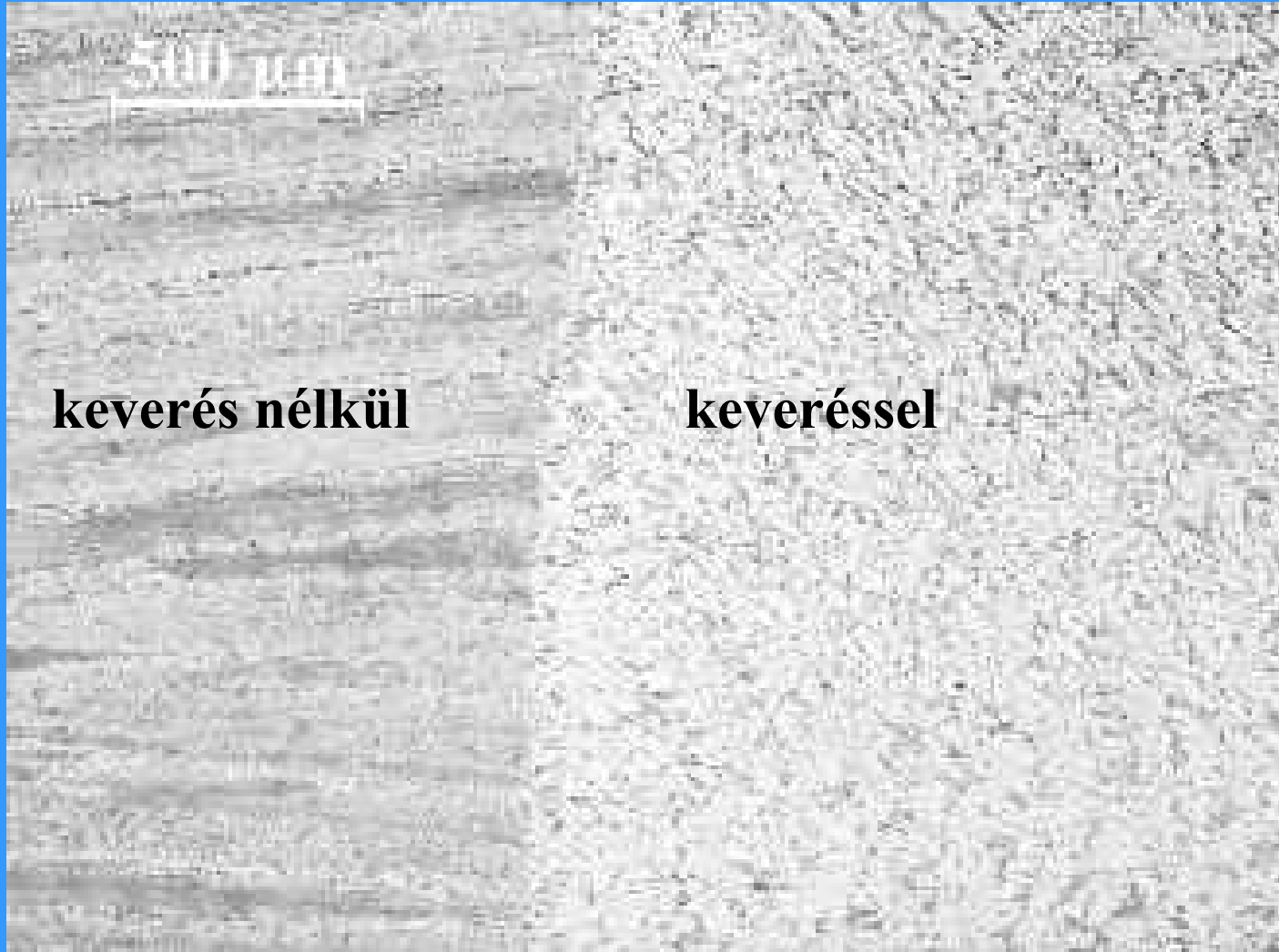


ÚRNAP 2008

Al-7,5Ni eutektikus ötvözet 10 mT mágneses keveréssel irányítottan kristályosítva



**Al-7,5Ni eutektikus ötvözet 150 mT mágneses keveréssel irányítottan
kristályosítva**



Űrkísérletek

Előkészítő: DLR

Rakétás kísérletek (max 20 perc): 2009 - 2010

Kísérleti berendezés: ARTEMIS, ARTEMIS+

ISS kísérletek (korlátlan idő) : 2011 -2012

**Kísérleti berendezés: Low Gradient Furnace (LGF),
max 3 K/mm**

Kiértékelés, összevetés a földi kísérletekkel :

folyamatos, minden csoport

Köszönöm a figyelmet!

