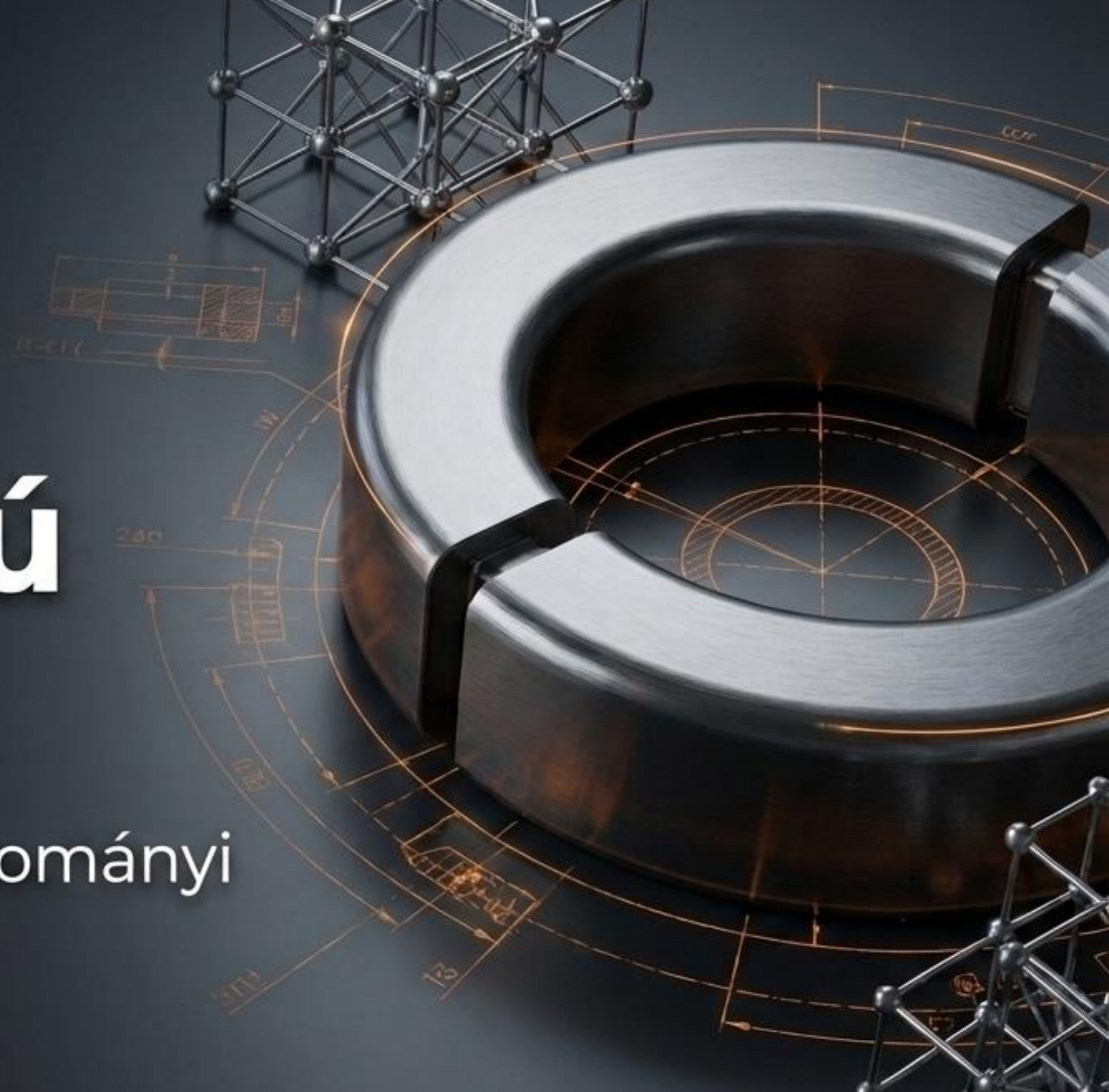




# Ultraalacsony Permeabilitású Toroid Magok

Gyártástechnológiai és anyagtudományi  
áttörés nagyfrekvenciás, magas  
hőmérsékletű alkalmazásokhoz

KOMÁROMI SÁNDOR, ÜGYVEZETŐ, PROGEN KFT.  
Magyar Anyagtechnológiai Fórum – 2025.09.19.





# Miért van szükség kis permeabilitású anyagokra?

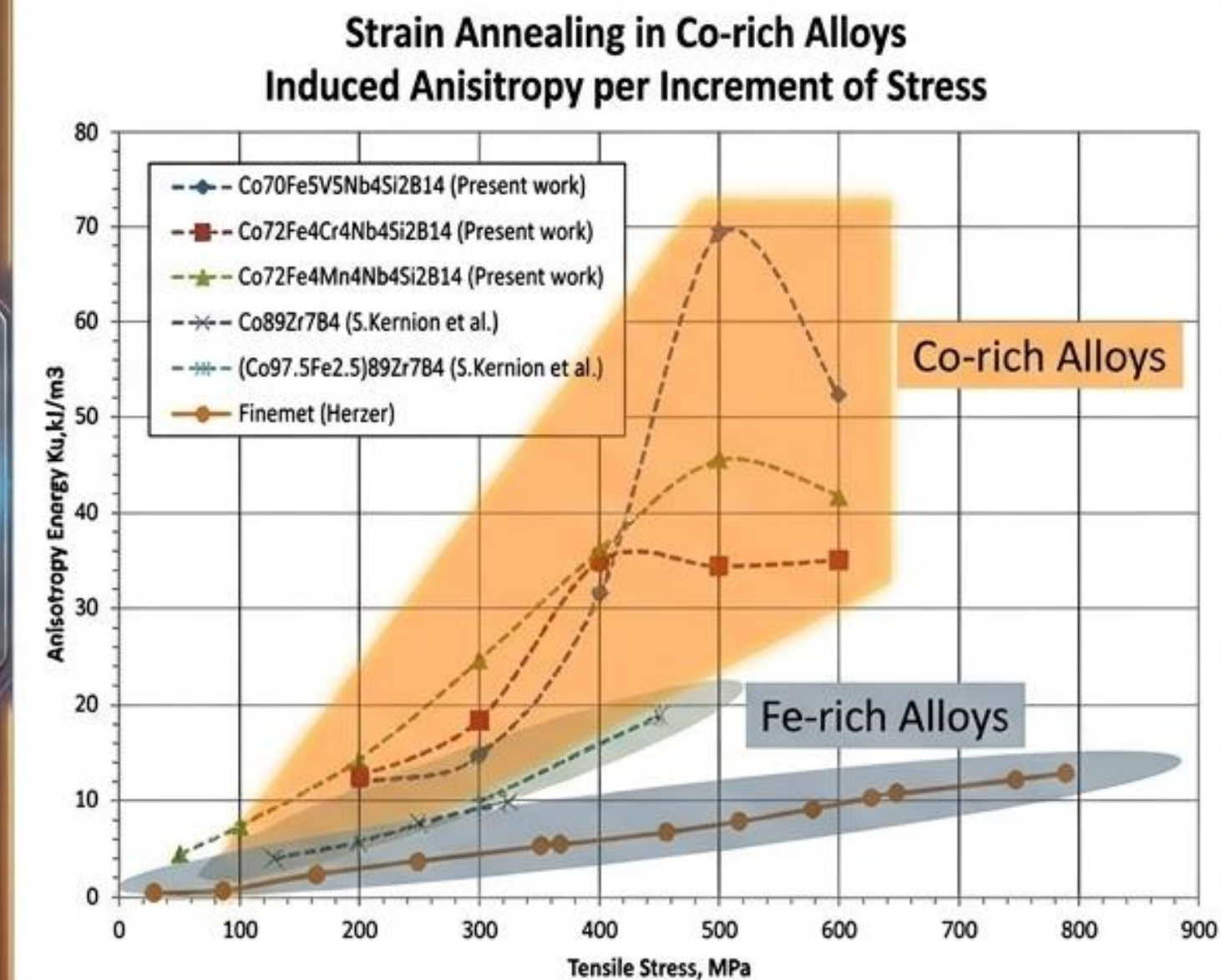
- **Fizikai korlát:** Minél kisebb a permeabilitás, annál nagyobb a tárolható mágneses energia.
- **Frekvenciafüggőség:** Kis permeabilitás elengedhetetlen a magas frekvenciás működéshez (alacsony vasvesztés).
- **A rézvesztés paradoxona:** A túlzottan kis permeabilitás megnöveli a szükséges menetszámot, így a rézvesztést.
- **DC előfeszítés:** Kis permeabilitással biztosítható a függetlenség a DC előfeszítő áramtól.
- **A mérnöki feladat:** Az optimális vas/réz veszteségi egyensúly és a lineáris hiszterézisgörbe megtervezése.





# Az óriás feszültség-indukált anizotrópia

- **Tudományos alapok:** A McHenry-csoport felfedezése a Co-alapú Finemet ötvözetek óriás anizotrópiájáról.
- **A jelenség:** Feszültség alatti hőkezeléssel (Strain Annealing) hatalmas indukált anizotrópia hozható létre.
- **Katalizátorok:** A korai átmeneti fémek (Mn, Cr, V) jelenléte drasztikusan növeli a hatást.
- **Irodalmi magyarázat:** A jelenséget virtuálisan kötött elektronállapotokkal (VBS) és pakolási hibákkal magyarázzák.
- **Kutatási fókusz:** Ezen anizotrópia tudatos szabályozása a permeabilitás finomhangolásához.





# A porvasmagok **technológiai leváltása**

## Porvasmag

- $B_s = 1 \text{ T}$
- $H_c = 60 \text{ A/m}$
- Véletlenszerű alakanizotrópia

## Szalagból csévélt toroid

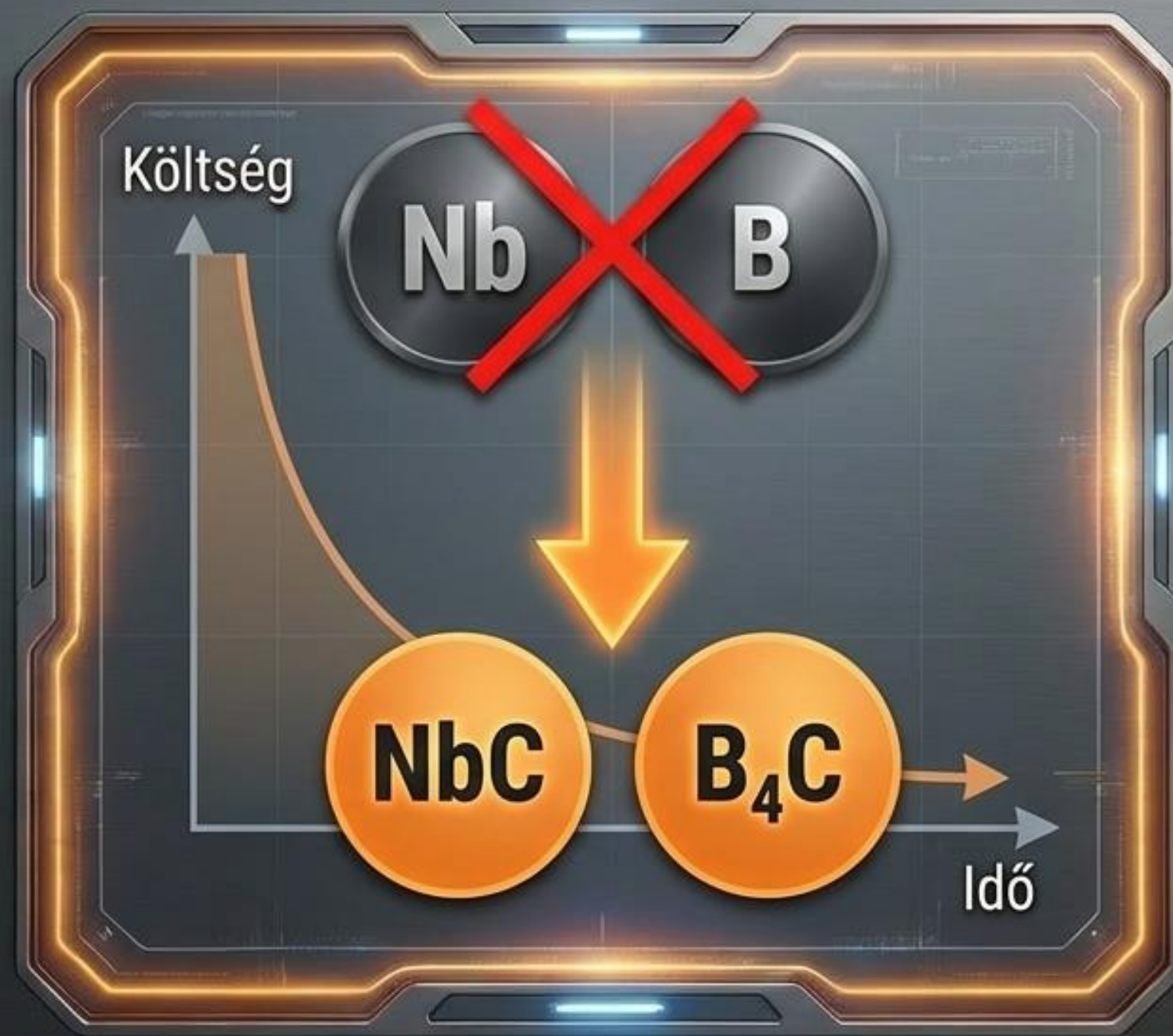
- $B_s > 1 \text{ T}$
- $H_c < 10 \text{ A/m}$
- Tervezett indukált anizotrópia

- **Átfogó cél:** Jobb paraméterekkel rendelkező toroid vasmagok fejlesztése 10-100 permeabilitás tartományban.
- **Telítési indukció ( $B_s$ ):** Az 1 Tesla (T) érték jelentős meghaladása (a porvasmagok korlátja).
- **Koercitív tér ( $H_c$ ):** Drasztikus csökkentés, a 10 A/m alatti ultralágy érték elérése.
- **Kiváló linearitás:** A gerjesztés határáig stabil, lineáris működési viselkedés garantálása.



# Költséghatékonyság és **fázis-szabályozás**

- **Gazdasági kihívás:** A legdrágább elemek (B, Nb) teszik ki a nyersanyagár mintegy 70%-át.
- **Innovatív helyettesítés:** Drága tiszta elemek helyett olcsóbb  $B_4C$  (bórkarbid) és  $NbC$  alkalmazása.
- **Szemcsenövekedés gátlása:** Az olvadékban kialakuló  $NbC$  veszi át a növekedést gátló akadály szerepét.
- **Mikroszerkezeti kontroll:** A Si/B arány finomhangolása a hipo-eutektoidos tartomány biztosítására.
- **Energetikai tervezés:** Mn, Cr, V, Ti célzott adagolása a pakolási hiba energia (SFE) csökkentéséhez.





# Gyorshűtés és az **amorf állapot validálása**

- **Technológiai alapfeltétel:** A tökéletesen amorf fázis elengedhetetlen a későbbi nanokristályok kialakításához.
- **Makroszkopikus ellenőrzés:** Egyszerű, de hatékony mechanikai törési vizsgálat a jósági fok előminősítésére.
- **Rugalmassági elv:** A tiszta amorf (rövidtávú kristályos rend nélküli) szalag deformáció nélkül  $180^\circ$ -ban hajlítható.
- **Ridegség okai:** A nem megfelelő gyorsűtés hatására kialakuló mikrokristályok rideg törést okoznak.
- **Kísérleti közegek:** A gyorsűtés vákuum, inert gáz (argon) és levegős környezetben is tesztelésre került.

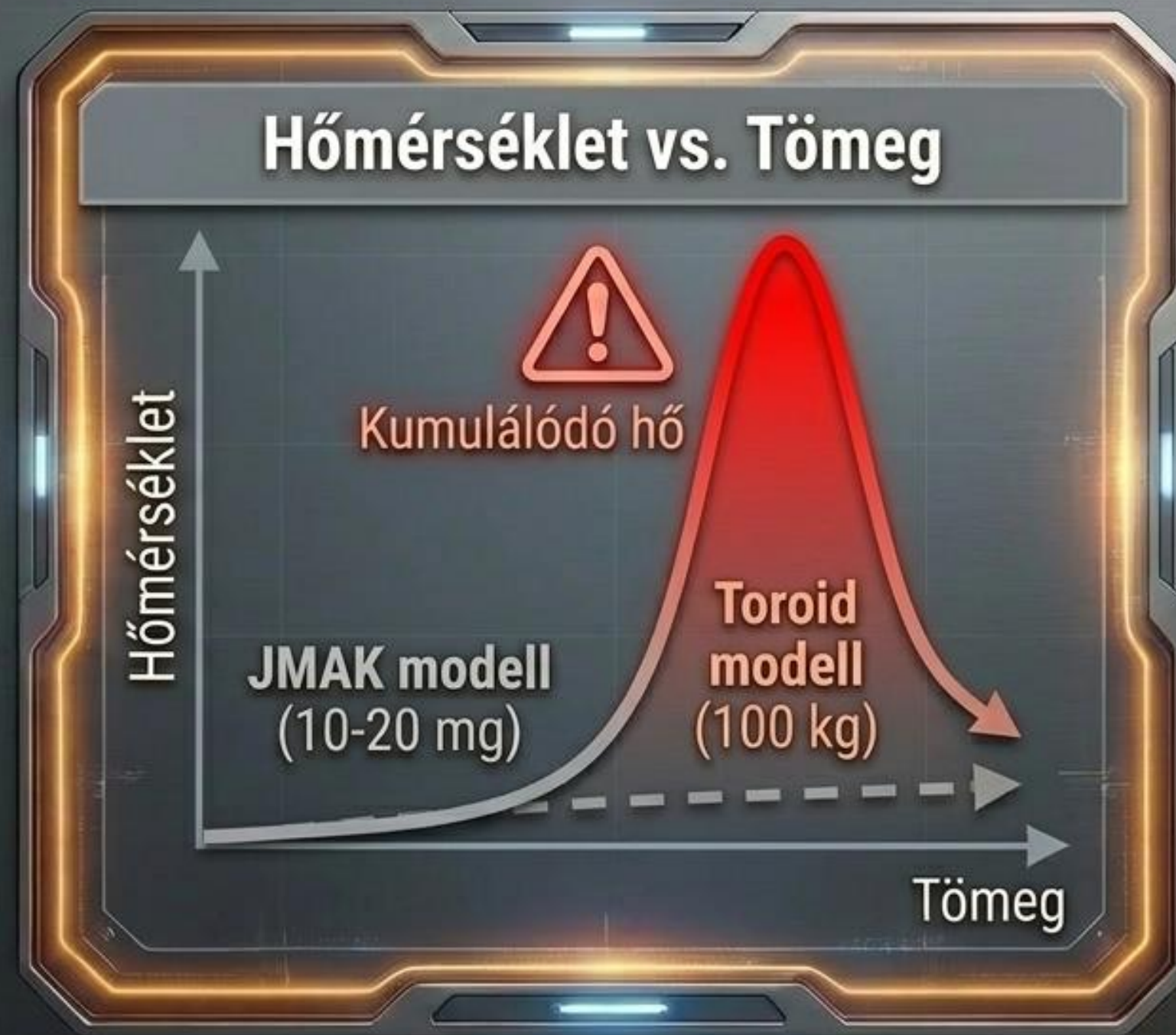
## Mechanikai törési vizsgálat





# A "Lágy Akadályoztatás" (Soft Impingement)

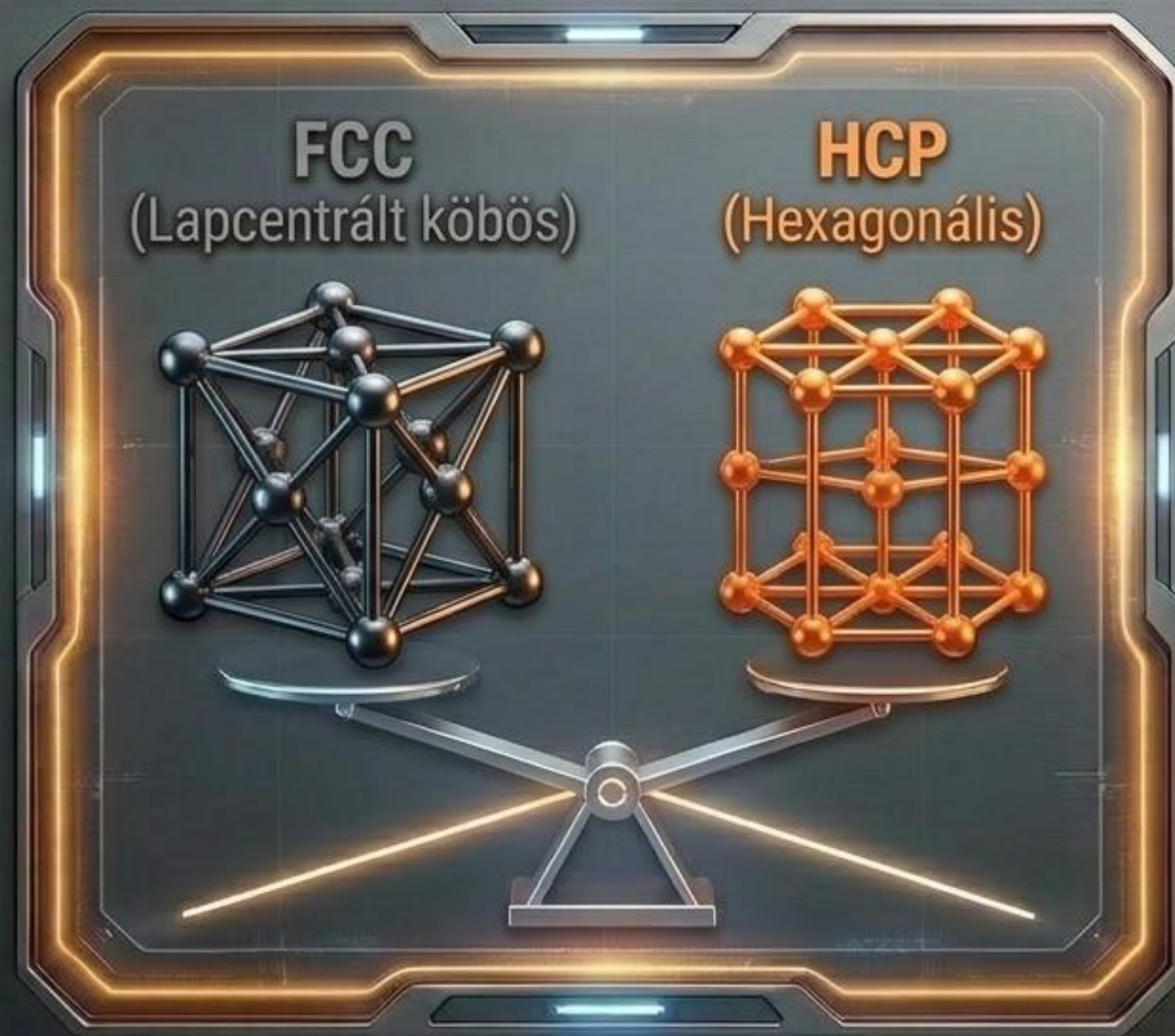
- **Anyagtudományi rejtély:** Miért áll meg a szemcsenövekedés a nanokristályos fázisban?
- **Diffúziós gát:** A korai átmeneti fémek (RE, Nb, Zr) átrendeződnek az amorf mátrixba.
- **Védőpajzs effektus:** Ezek az elemek lágy gátat (soft impingement) képeznek a nanoszemcsék növekedése elé.
- **Tömeghatás (Mass effect):** Ipari méretű toroidoknál az átalakulási hő összeadódik, felülírva a laboratóriumi modelleket.
- **Helyi túlhevülés veszélye:** Kezeletlenül a kumulált hő beindíthatja a káros második kristályosodási fázist.





# A kulcs: Az FCC / HCP fázisarány

- **Saját hipotézisünk:** Az óriás anizotrópiát a nanokristályosodás során megjelenő HCP kobalt fázis okozza.
- **Paradigmaváltás:** Az irodalom pakolási hibasűrűséget feltételez, a PROGEN konkrét HCP nanokobalt precipitátumot azonosított.
- **Fázis-stabilizátorok:** Új kutatási dimenzió a HCP és FCC fázist stabilizáló kémiai elemek feltérképezése.
- **FCC elősegítése:** A korai átmeneti elemek (gammagén típusúak) a lapcentrált köbös fázist támogatják.
- **HCP elősegítése:** A kis atomátmérőjű elemek (C és B) a hexagonális fázis létrejöttét stabilizálják.





# Indukciós olvasztás és szalaghúzás

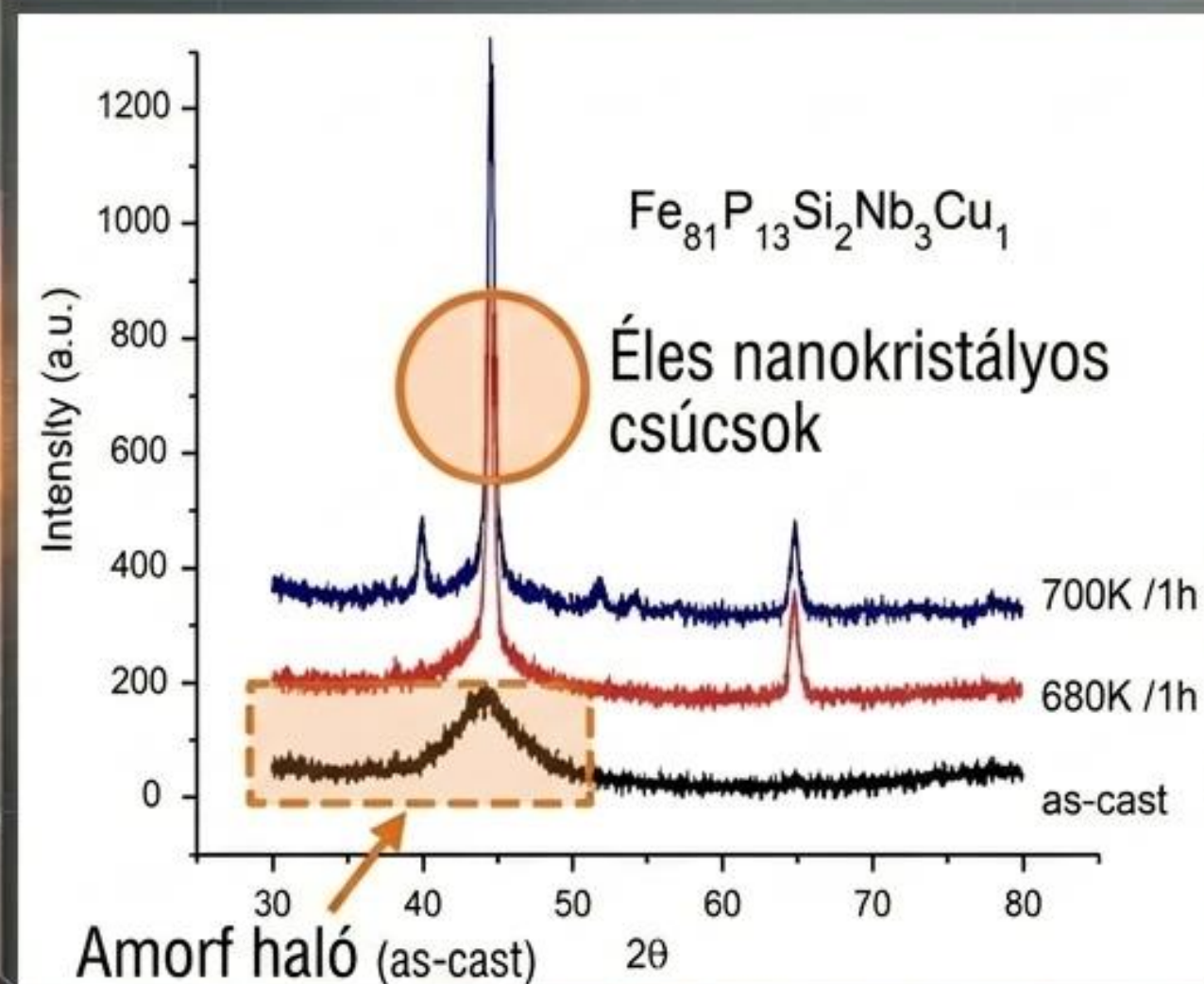
- **Olvasztási technológia:** Nagyfrekvenciás indukciós olvasztás alkalmazása (komplex DOE kísérlettervek alapján).
- **Gyorskűtési (Melt-spinning) eljárás:** Az olvadék kilövése nagy sebességű forgó hengerfelületre.
- **Célgeometria:** Stabil, 5-20 mm szélességű és mintegy 20  $\mu\text{m}$  vastagságú szalagok folyamatos előállítása.
- **Kritikus paraméterek:** A hengersebesség, hőntartás, kapilláris-távolság és kilövési szög optimalizálása.
- **Természetes szigetelés:** Levegős hűtés esetén amorf oxidréteg alakul ki, ami a toroid csévélésnél tökéletes szigetelőként funkcionál.





# Validáció Röntgen-diffrakcióval (XRD)

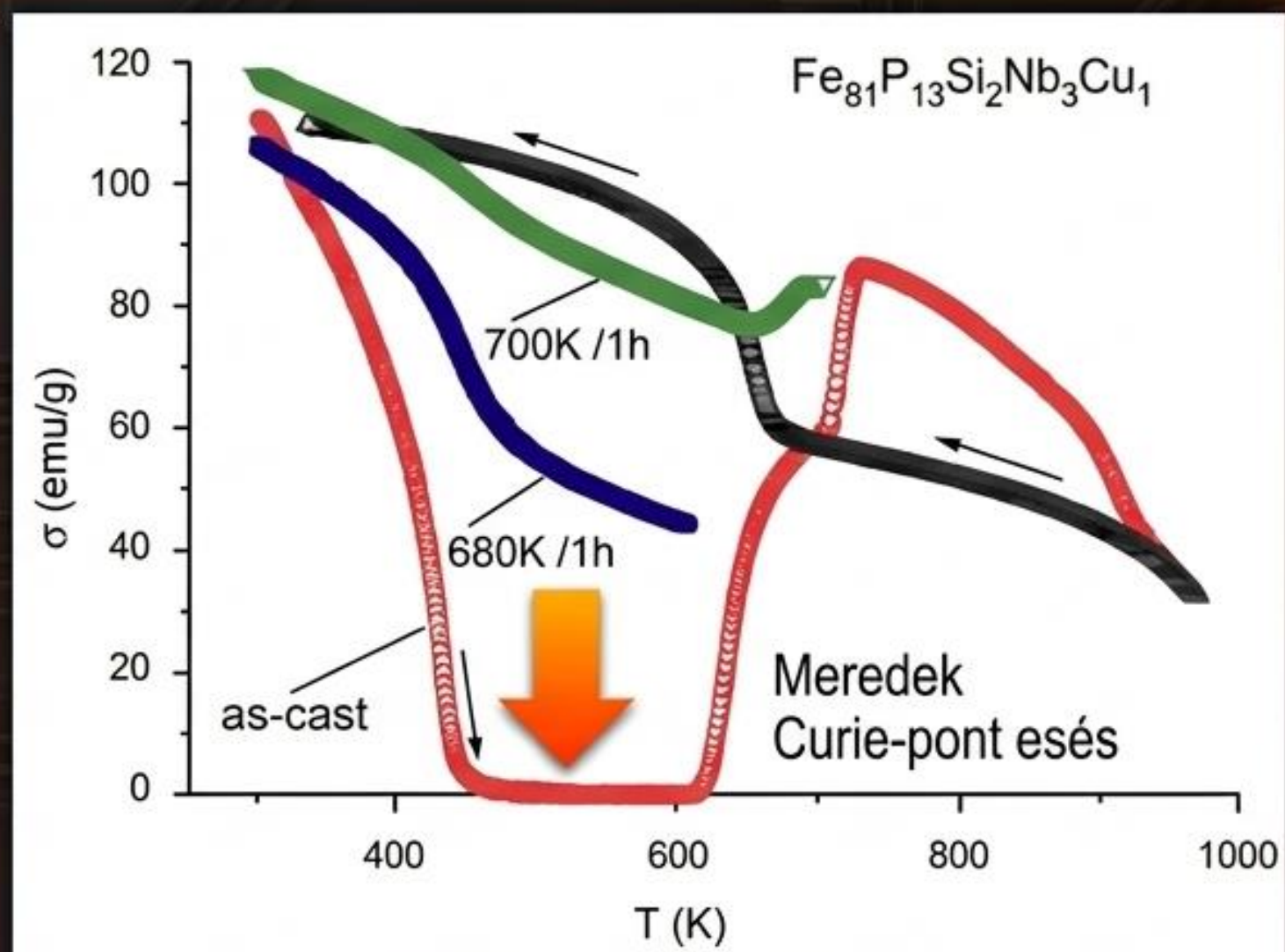
- **Mérés célja:** Az amorf/kristályos fázisok arányának és az olvadék homogenitásának egzakt bizonyítása.
- **Amorf állapot igazolása:** Az öntött (as-cast) mintán tisztán kivehető az amorf állapotra jellemző kiszélesedő intenzitáscsúcs (haló).
- **Nanokristályosodás:** A 680K-en hőkezelt minta éles diffrakciós csúcsai igazolják a nanokristályok kialakulását.
- **Optimális paraméterek:** A tökéletes szerkezet 400°C (kb. 680K) hőmérsékleten, 1 órás hőkezeléssel érhető el.
- **Túlhevítés hatása:** 700K felett a fázisarányok felborulnak, a mágneses tulajdonságok degradálódnak.





# Termomágneses átalakulások elemzése

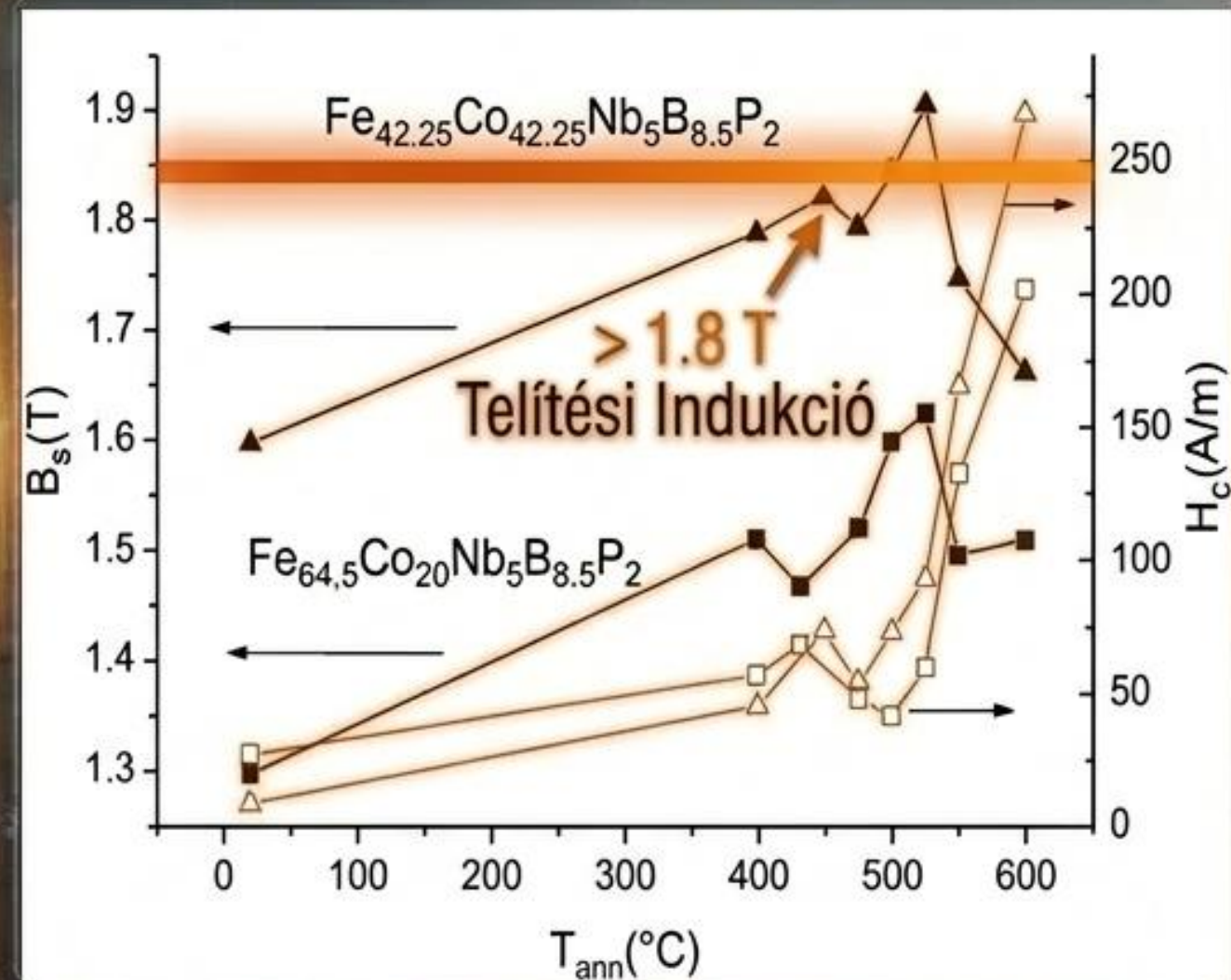
- **Dinamikus vizsgálat:** A telítési mágnesezettség hőmérsékletfüggésének egzakt mérése.
- **Curie-hőmérséklet ( $T_c$ ):** Az amorf állapot  $T_c$ -jének és termikus stabilitásának pontos meghatározása.
- **Bór-csökkentés hatása:** A B-tartalom csökkentésével az amorf stabilitás határa  $480^\circ\text{C}$ -ra csökkent.
- **Fázisátmenetek:** Jól azonosítható a ferro  $\rightarrow$  paramágneses és az amorf  $\rightarrow$  kristályos átmenet.
- **Visszamaradt mátrix:** A maradék amorf fázis  $T_c$ -je  $380^\circ\text{C}$ -ra emelkedett, kiváló hőtűrést biztosítva.





# Kobalt dópolás eredményei: Pyrioperm

- **Új ötvözetcsalád:** A kifejezetten magas hőmérsékletű ipari felhasználásra fejlesztett »Pyrioperm«.
- **Extrém telítési indukció:** A magasabb Co-tartalommal a  $B_s$  érték átlépte az 1.8 T határt (a porvasmagok 1 T értéke felett).
- **Termikus stabilitás:** A kezdő permeabilitás és koercitív erő független az alkalmazott hőkezeléstől (akár 525°C-ig).
- **Teljesítmény:** Magas, 0.5 T gerjesztés mellett is kiválóan alkalmazható 25 kHz frekvenciáig.
- **Versenyelőny:** Hőstabil tulajdonságai miatt az elektromos járművek (EV) ideális jövőbeni alapanyaga.





# Technológiai áttörés: Infrafűtéses eljárás

- **Ipari elavultság:** A jelenlegi gyártástechnológia lassan reagáló ellenállás fűtésen alapul.
- **Új magyar módszer:** Egy teljesen egyedi, infrafűtésen alapuló kísérleti deszkamodell megtervezése és megépítése.
- **Közvetlen energiaátadás:** Az IR technológia nem a közeget, hanem célzottan magát az anyagot hevíti.
- **Kiemelkedő dinamika:** Nagyságrendekkel felgyorsult, precíziós felfűtési és lehűtési ciklusok.
- **Folyamatszabályozás:** Fejlett, többzónás szabályozás egyedi húzófeszültség- és időmenedzsmenttel.





# Piacra lépés és ipari hasznosítás

- **Miniatürizáció:** A nagyobb telítési indukció kisebb térfogatú, de azonos teljesítményű toroidok beépítését teszi lehetővé.
- **Hőcsökkentés:** Az optimalizált permeabilitás drasztikusan csökkenti a komplett elektronikai rendszerek hőtermelését.
- **Elektromos autóipar (EV):** A Pyrioperm egyedülálló hőtűrőse megoldást nyújt a motortéri inverterek és árammérők számára.
- **Zöld energia rendszerek:** Nap- és szélenergia invertereinek elengedhetetlen nagyfrekvenciás szűrői.
- **Márkázható technológia:** Olcsóbb vegyületekre épülő (NbC, B<sub>4</sub>C) gazdaságos gyártás.





# AZ I. MUNKASZAKASZ SIKERES LEZÁRÁSA



**Kémiai tervezés:** A megfelelő, 4-6 alkotós kobaltbázisú alapösszetételek laboratóriumi meghatározása sikeresen lezárult.



**Mikroszerkezeti bizonyítás:** A HCP/FCC fázisátmenet és a nanokristályosodás mechanizmusainak azonosítása megtörtént.



**Prototípus gépek:** Megépültek a kísérleti berendezések (indukciós olvasztó, gyorshűtő, innovatív infrafűtő).



**Validált eredmények:** XRD, SEM, DOM és termomágneses mérések igazolták az ultralágymágneses célparamétereket.



**Következő lépés:** Az I. fázis R&D szakasza lezárult, a technológia szabadalmaztatásra és a II. technológiai fázisra előkészítve.



# A fizikai kényszer: Miért kritikus az ultraalacsony permeabilitás?

Formula Deconstruction

$$E = \frac{B^2 V}{2\mu_0 \mu}$$

Mag térfogata:  
Célunk a miniaturizálás.

Relatív permeabilitás: A nevezőben szerepel. A tárolt energia maximalizálásához ezt a számot a fizikai minimumra kell szorítanunk.

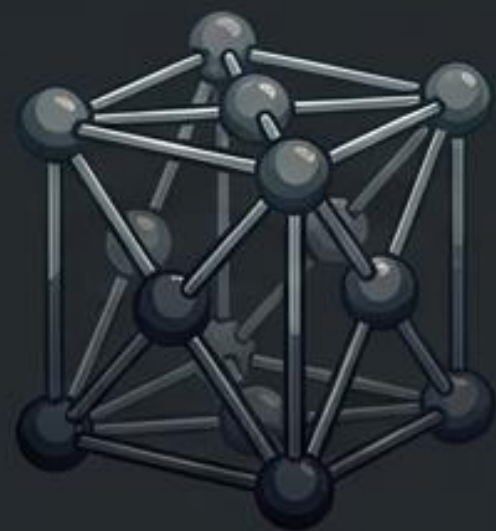
DC előfeszítés és linearitás: Minél kisebb a relatív permeabilitás, annál függetlenebb az anyag a DC előfeszítő áramtól, így elkerülhető a korai telítődés.

$$\left\{ \frac{P_{core}}{V} = k_s f^\alpha B_m^\beta \right.$$

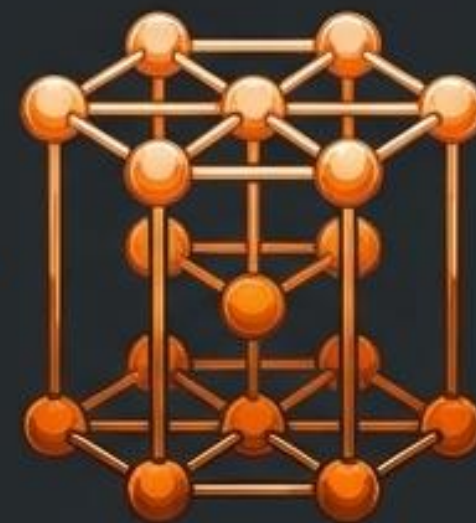
**A cél olyan anyagok előállítása, amelyek már a Föld mágneses terében (~ 40 A/m) telítésig mágneseződnek, optimalizálva a vas- és rézveszteségek minimumát.**



# Atomkörüli áttörés: Óriás indukát anizotrópia kobalt bázison



Feszültség



## 1. A kiindulási probléma

A vas-alapú nanokristályos ötvözetek elérték fizikai határaikat az indukált feszültség terén (max 60-100 kJ/m<sup>3</sup> tárolt energia).

## 2. A tudományos hipotézis

A feszültség alatti nanokristályosodás során az FCC fázis mellett HCP kobalt fázis is megjelenik.

## 3. A mechanizmus

Az FCC deformáció pakolási hibasűrűséget és HCP szimmetriájú tartományt hoz létre, amely virtuálisan kötött elektronállapotokkal (VBS) magyarázza az óriás anizotrópiát.

**A Co-alapú Finemet típusú ötvözetekben az indukálható anizotrópia energia összemérhető egy ragasztott Nd mágnesben tárolt energiával.**



# Tudatos anyagtervezés: A pakolási hiba energia (SFE) manipulációja

## Blokk 1: Fázisarányok hangolása (Si / B)

### Funkció:

Megfelelő amorf fázis létrehozása a hipo-eutektoidos tartományon belül maradv.



### Stratégia:

B tartalom csökkentése a Si javára a stabilitásért.

## Blokk 2: SFE Csökkentés (Nb)

### Funkció:

A pakolási hiba energia minimalizálása.



Nb

Optimizábat  
optimizatax for  
HCP/FCC raány

### Stratégia:

A minimálisan szükséges Nb mennyiségének pontos meghatározása a kívánt HCP/FCC arány kialakulásához a nano-precipitátumban.

## Blokk 3: HCP Stabilizáció (Cr, V, Ti)

### Funkció:

Korai átmeneti fémek (ETM) integrálása.



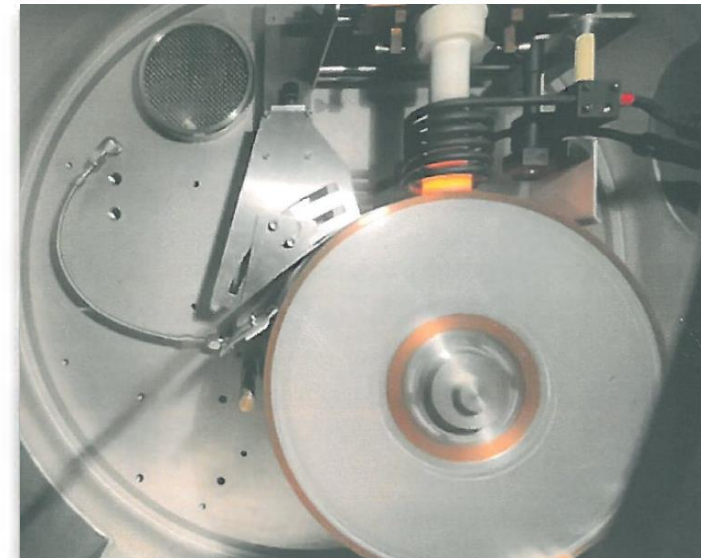
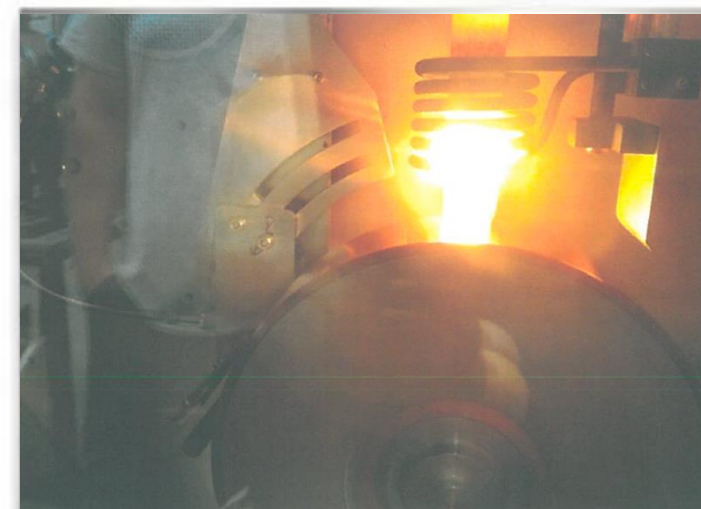
### Stratégia:

Ezen dópoló elemek segítik elő az óriás indukált feszültséget és a HCP átalakulást az atomátmérő-különbségek révén.



# Kísérleti gyártás: Az indukciós olvasztástól az amorf szalagig

1. **Indukciós olvasztás:** Alapanyagok behelyezése hűtött réz olvasztótégelybe. Foucault-áramok révén történő Joule fűtés a tökéletes homogenizálásért.
2. **Ötvözési sorrend:** Különböző fázisokat alkotó és eltérő halmazállapotú elemek stratégiai rétegzése a selejt minimalizálása érdekében.
3. **Ultragyors hűtés:** A homogén olvadék vákumban történő ráömlése egy forgó réztárcsára, kialakítva a végső, rideg amorf szalag geometriát.





# Teljesítmény-arányok: A magas frekvenciás működés feltételei

## A tervezőmérnökök számára a legnagyobb kihívás:

a magas frekvenciás működéshez kis permeabilitás, míg a rézveszteség minimalizálásához nagy permeabilitás szükséges.

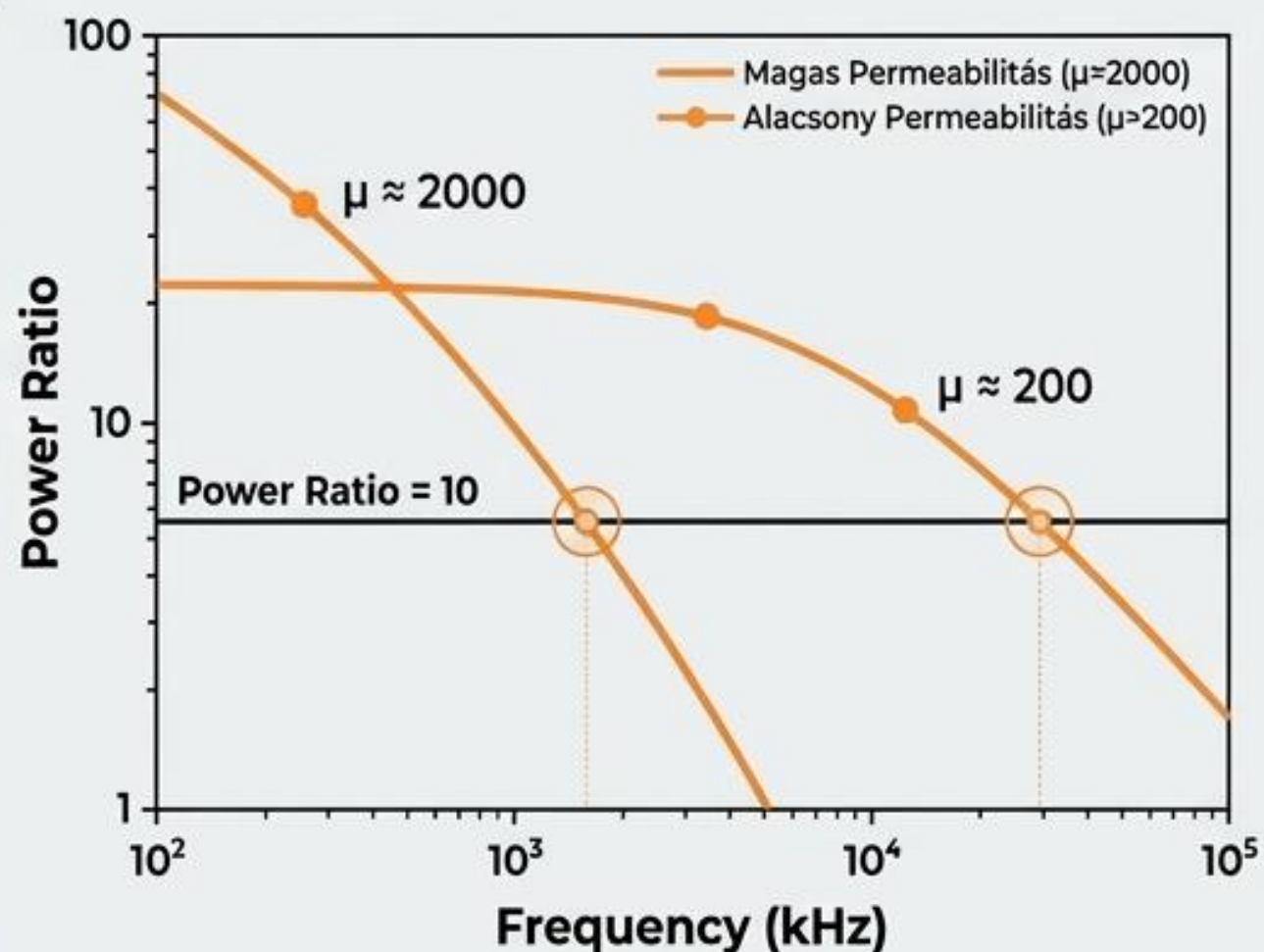
## Jósági tényező (Power Ratio):

Minél kisebb a permeabilitás, annál magasabb frekvenciákig lehet átlépni a kritikus 10-nél nagyobb jósági tényezőt.

## A fizikai korlát:

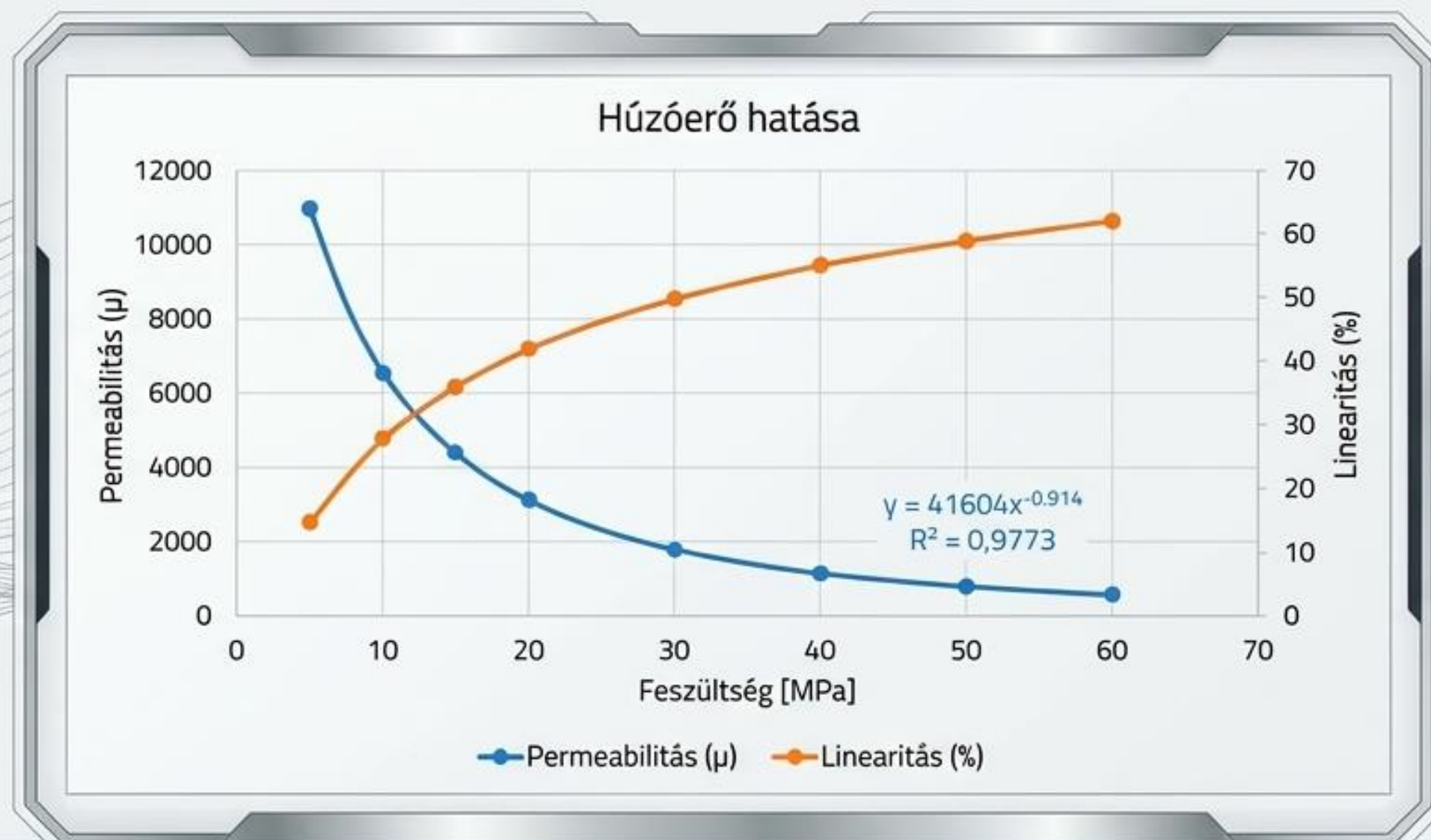
A szalag geometria önmagában nem elég. Az indukált anizotrópia aktiválásához speciális, feszültség alatti ipari hőkezelésre van szükség.

PROGEN





# Az áttörés: Húzóerő hatása a permeabilitásra és linearitásra



## 1/X Összefüggés

Sikerült egyértelmű matematikai korrelációt bizonyítani az alkalmazott feszítőerő és a permeabilitás exponenciális csökkenése között.

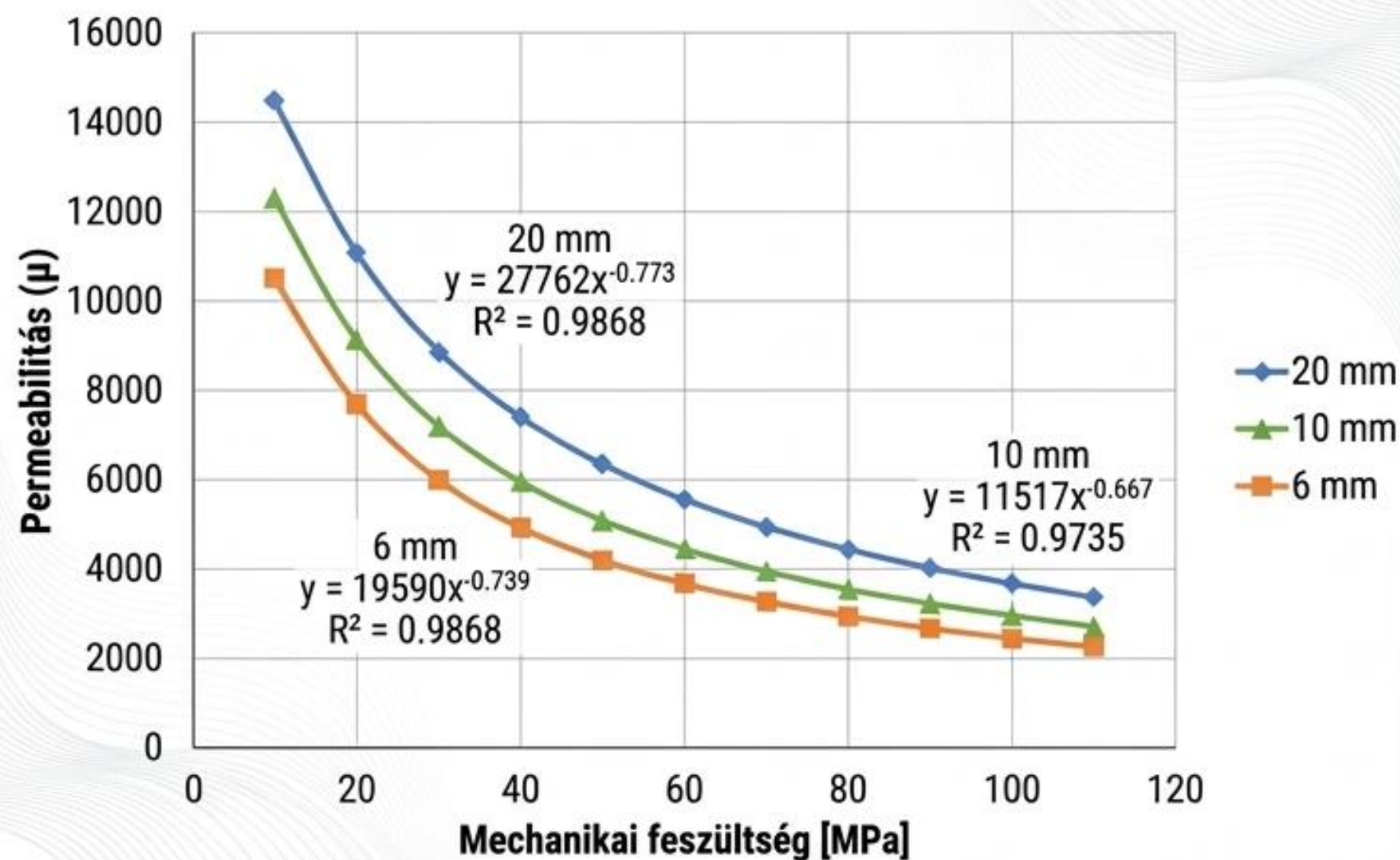
## Gyakorlati eredmény

Az 50%-os linearitás már 2000-es, és az alatti permeabilitás értékeknél stabilan elérhetővé vált.



# Skálázhatóság: Szalagszélesség és mechanikai feszültség korrelációja

Permeabilitás a feszültség függvényében



- A mérési sorozat egyértelműen bizonyította, hogy a permeabilitás változása szorosan követi az alkalmazott húzófeszültséget, függetlenül a szalag fizikai szélességétől.
- Az adott értékre befolyással van a szalag szélessége, ami lehetővé teszi a jövőbeli termékek hajszálpontos 'kalibrálását' pusztán mechanikai paraméterezéssel.
- Ezzel a technológia készen áll a reprodukálható, ipari szintű tervezésre és gyártásra.



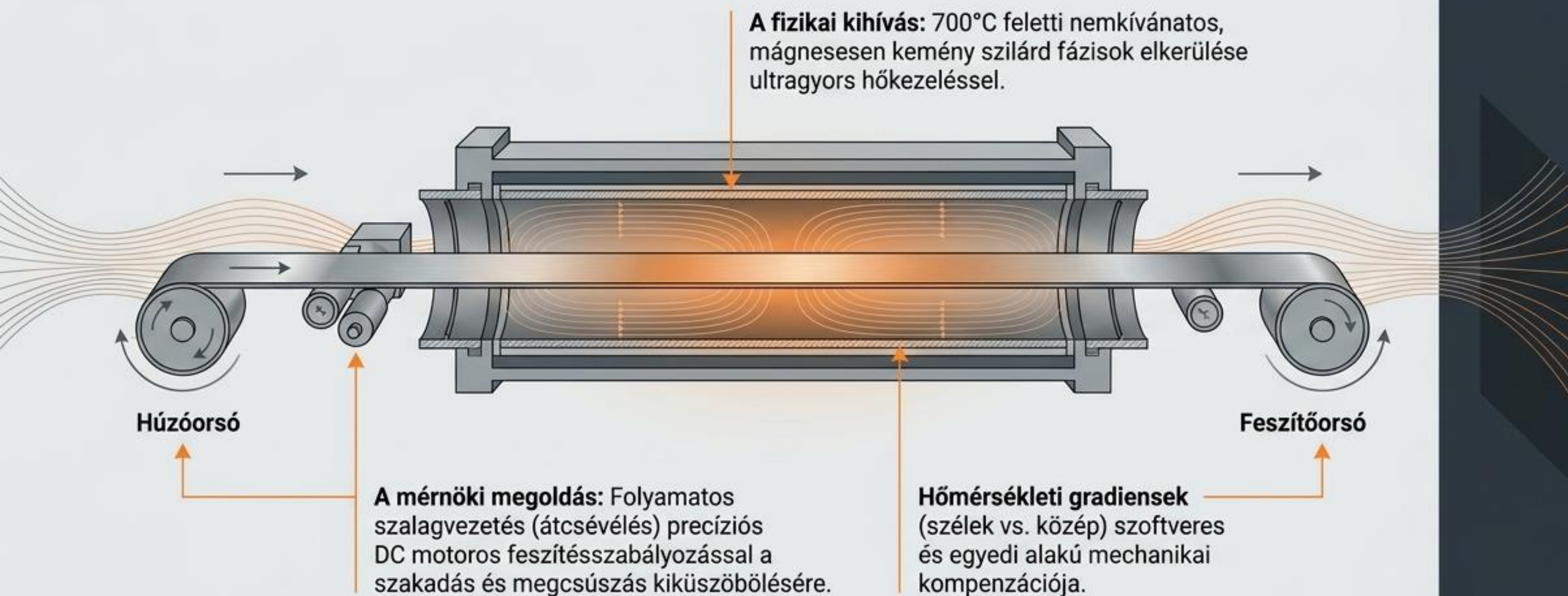
# Piaci pozicionálás: Versenytársak diagnosztikája

	Kritérium	Magnetics Ltd. (MPP / High Flux)	PROGEN Co-Bázisú Amorf
1.	Összetétel & Költség	Extrém magas költség (80% Nikkel tartalom)	Jelentősen csökkentett alapanyag-költség (Si/B és korai átmeneti fémek).
2.	Működési Hőmérséklet	Maximum 200°C korlát	Kiváló stabilitás magas hőmérsékleten.
3.	Frekvencia & Linearitás	Kiváló alapértékek (14-300 $\mu$ )., de rögzített görbe	Jobb nagyfrekvenciás stabilitás, a húzó-hőkezeléssel tetszőlegesen hangolható linearitás.

**Következtetés: A világpiacon jelenleg hiánycélpontot képező, olcsóbban gyártható, extrém paraméterekkel bíró alternatívát hoztunk létre.**



# Gyártástechnológiai ugrás: A folyamatos húzó-hőkezelő kemence





# Ipari potenciál és ellátási lánc stratégia



## Célalkalmazások

Fojtótekercek, nagyfrekvenciás transzformátorok, szűrők. Nélkülözhetetlen a következő generációs teljesítményelektronikában és az elektromobilitásban.



## Kritikus Hiány

A COVID-19 pandémia rámutatott az alkatrész-ellátási láncok globális sérülékenységeire. A nyersanyag- és mérőeszköz-hiányok bizonyítják a lokális gyártás sürgető szükségességét.



## Szuverenitás

A hazai és európai szinten birtokolt, skálázható gyártástechnológia egy ultraalacsony permeabilitású magokra óriási piaci autonómiát és exportpotenciált jelent.





# A II. Munkaszakasz legfontosabb eredményei

## 1. Tudomány (Az Anyag):

Sikeresen kifejlesztettünk és validáltunk egy új, szabadalmaztatható, kobalt-bázisú amorf/nanokristályos ötvözetcsaládot, optimalizált SFE paraméterekkel.

## 2. Technológia (A Folyamat):

Megterveztük és megépítettük a feszültség alatti, folyamatos átcsévéléses hőkezelési technológiát, amely precíziósan hangolja az anyag mágneses tulajdonságait.

## 3. Ipar (A Termék):

Stabilan elértük a piac által követelt ultraalacsony permeabilitást és magas lineáris mágnesezési tartományt, felülmúlva a drága, nikkel-alapú versenytársakat.



PROGEN Kft. - Mérnöki Fejlesztő és Szolgáltató.



### A Műszaki Kihívás:

A kisméretű, de nagy energiasűrűségű magok tervezésének fizikai gátja a permeabilitás.

### A Következtetés:

Azonos tárolt energia mellett a mag térfogata csak úgy csökkenthető, ha a mag permeabilitása is drasztikusan csökken.

$$E = \frac{B^2 V}{2\mu_0 \mu}$$



**Célunk: A fizikai határok áttörése egy új, ultraalacsony permeabilitású anyagcsoporttal.**



# Kutatási Stratégia: Az Innováció Útja

01

## Új Ötvözetrendszer

Elszakadás a hagyományos, nyomás alatt kompaktált poroktól. Egyedi fém-fém amorf nanokompozit kifejlesztése.

02

## Szabályozott Nanokristályosítás

A permeabilitás precíziós beállítása feszültséges hőkezeléssel. Mechanikai és mágneses tulajdonságok optimalizálása.

03

## Toroidmag Gyártástechnológia

Zárt toroid magok folyamatos csévélése és félüzemi méretnövelése, beruházásigényes kompaktálás nélkül.



# Anyagfejlesztési Áttörés: Az Ultralágú Mágnesesség



**$H_c < 1 \text{ A/m}$**

(Koercitív erő)

Olyannyira lágy, hogy már a Föld mágneses terében (~40 A/m) telítésig mágneseződik.

**Ultraalacsony  $\mu_r$**

(Relatív permeabilitás)

Speciális hőkezeléssel beállított, frekvenciafüggetlen stabilitás.

Egy egyszerű generátorhoz elegendő a Föld mágneses tere.



# Az Új Kobalt Alapú Ötvözet

## Szalag Formátum

Félkész termékként folyamatos, gyorshűtési eljárással gyártható, mely tökéletes alapot ad a **nanokristályosításhoz**.



## Magas Hőmérsékleti Stabilitás

A Co-alapú rendszer biztosítja a mágneses tulajdonságok megőrzését extrém ipari környezetben is (**200°C felett**).

## Gyártási Költséghatékonyság

Kiküszöböli a hagyományos porvasmagok (Iron/Carbonyl Iron) rendkívül nagy nyomóerőt igénylő, beruházás- és energiaigényes kompaktálási folyamatát.



# Amorf Szerkezet: A Morfológiai Alapállapot Validálása



Levegő oldali felszín (200x nagyítás).  
Finomabb textúra.



Réz oldali felszín (200x nagyítás). Szignifikáns  
morfológiai eltérés a hűtési dinamika miatt.

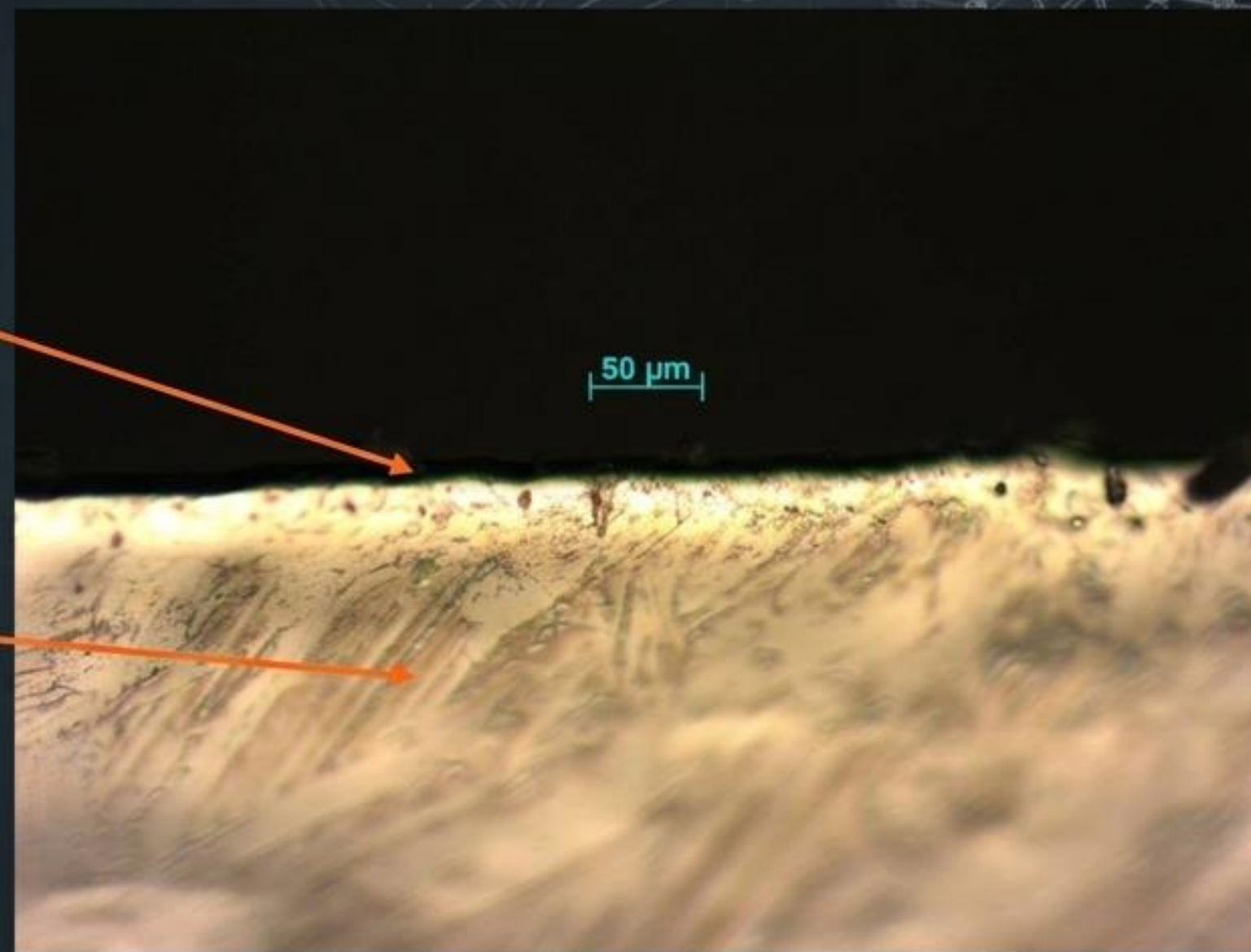
**Mechanikai Teszt:** A 180°-os hajlítási (törési) vizsgálat tökéletesen előminősíti a hőkezelés sikerességét. Ha a szerkezet nem amorf, hanem mikrokristályos, a szalag törik. A morfológiai elemzés kulcs a tökéletes amorf-nanokristályos kiinduláshoz.



# Nanokristályos Evolúció és Hibaanalízis

**Szalagszél hibák azonosítása** – kulcsfontosságú a technológiai finomításhoz.

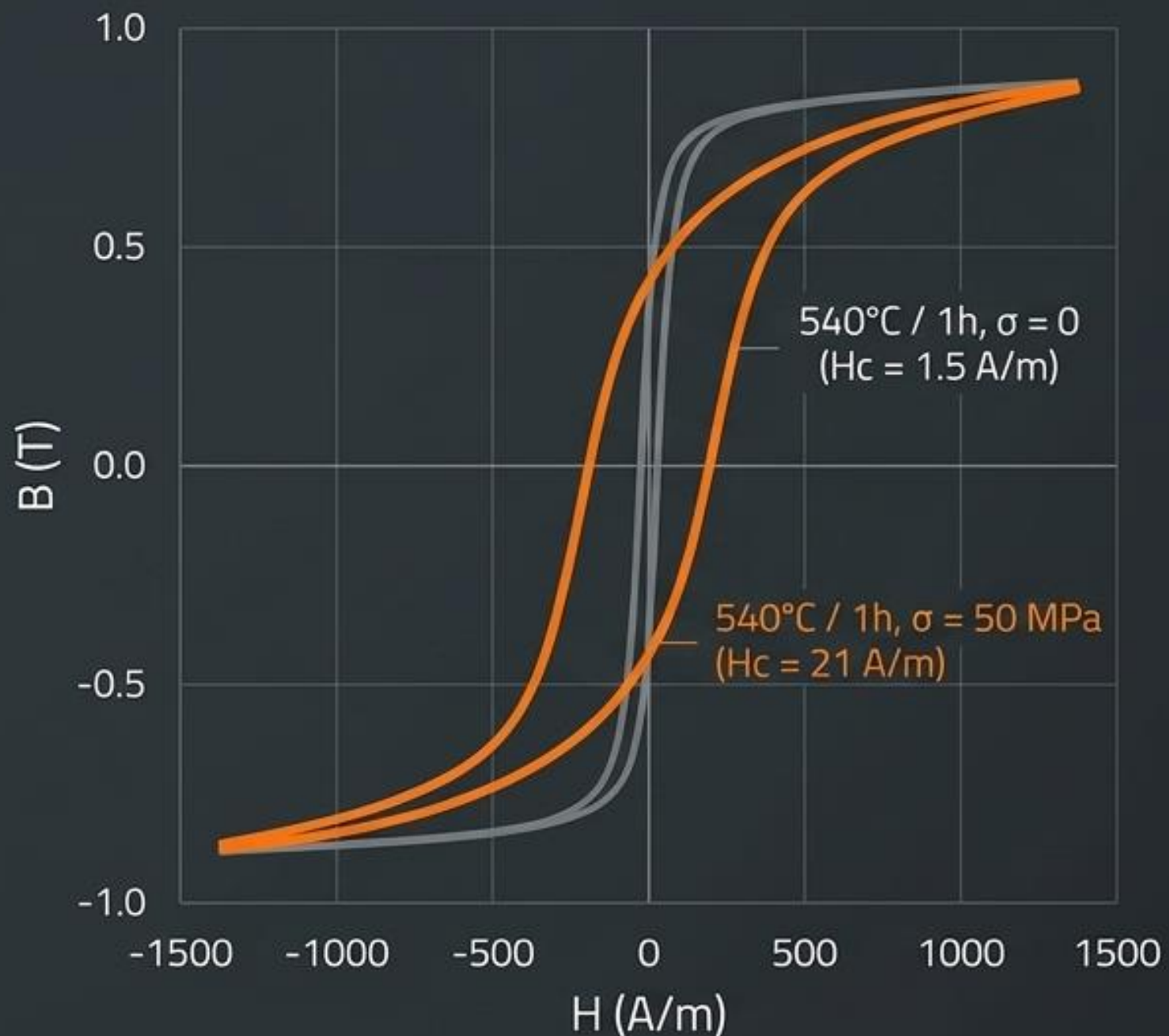
**Mélyebb rétegek struktúrája** – az optikai mikroszkóp által már nem érzékelhető részletek.



A pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) és röntgendiffrakciós (XRD) mérések alapján visszacsatolt adatok alapjaiban határozták meg a gyártástechnológiai lépések optimalizálását.



# Mágneses Tulajdonságok: A Hőkezelés Eredménye



## Feszültséges Hőkezelés:

A mechanikai feszültség (50 MPa) alatti hőkezelés tudatosan 'kiterjeszti' a B-H hurkot.

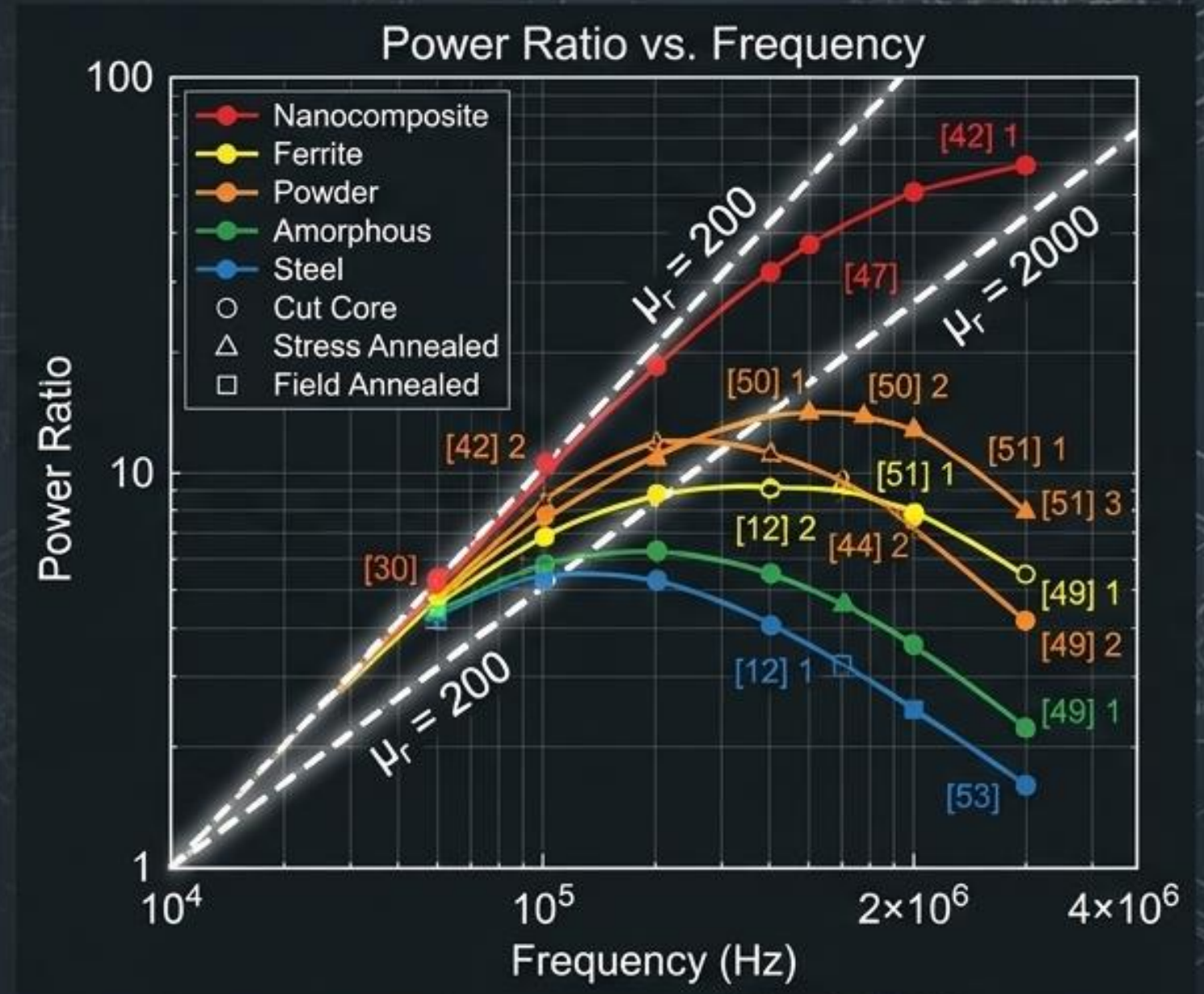
## Eredmény:

Ez a szabályozott eljárás állítja be a tervezett ultraalacsony permeabilitást anélkül, hogy a telítési indukció csökkenne. A lineáris mágnesezhetőség drasztikusan nőtt.



# Magveszteség és Jósági Tényező Optimalizálása

- **Cél:** Frekvenciafüggetlen teljesítményátvitel maximális hatásfokkal.
- **A Mérés:**  $P_{ratio} = \frac{P_{tárolt}}{P_{veszteség}}$ .
- **Az Eredmény:** A grafikon egyértelműen bizonyítja: minél kisebb a permeabilitás, annál magasabb frekvenciákon tartható fent a 10-nél nagyobb jósági tényező (Q-factor).





# Új Gyártástechnológiai Know-How

PROGEN Corporate Orange

Reális időtartam, **tökéletes reprodukálhatóság.**  
**Nincs szükség** porok nagynyomású sajtolására.



## Félkész Szalaggyártás

Folyamatos gyorshűtési  
fémüveg öntés.



## Zárt Csévéelés

Kísérleti méretről félüzemi  
méretnövelés. Kompakt, zárt  
toroid magok kialakítása.



## Integrált Hőkezelés

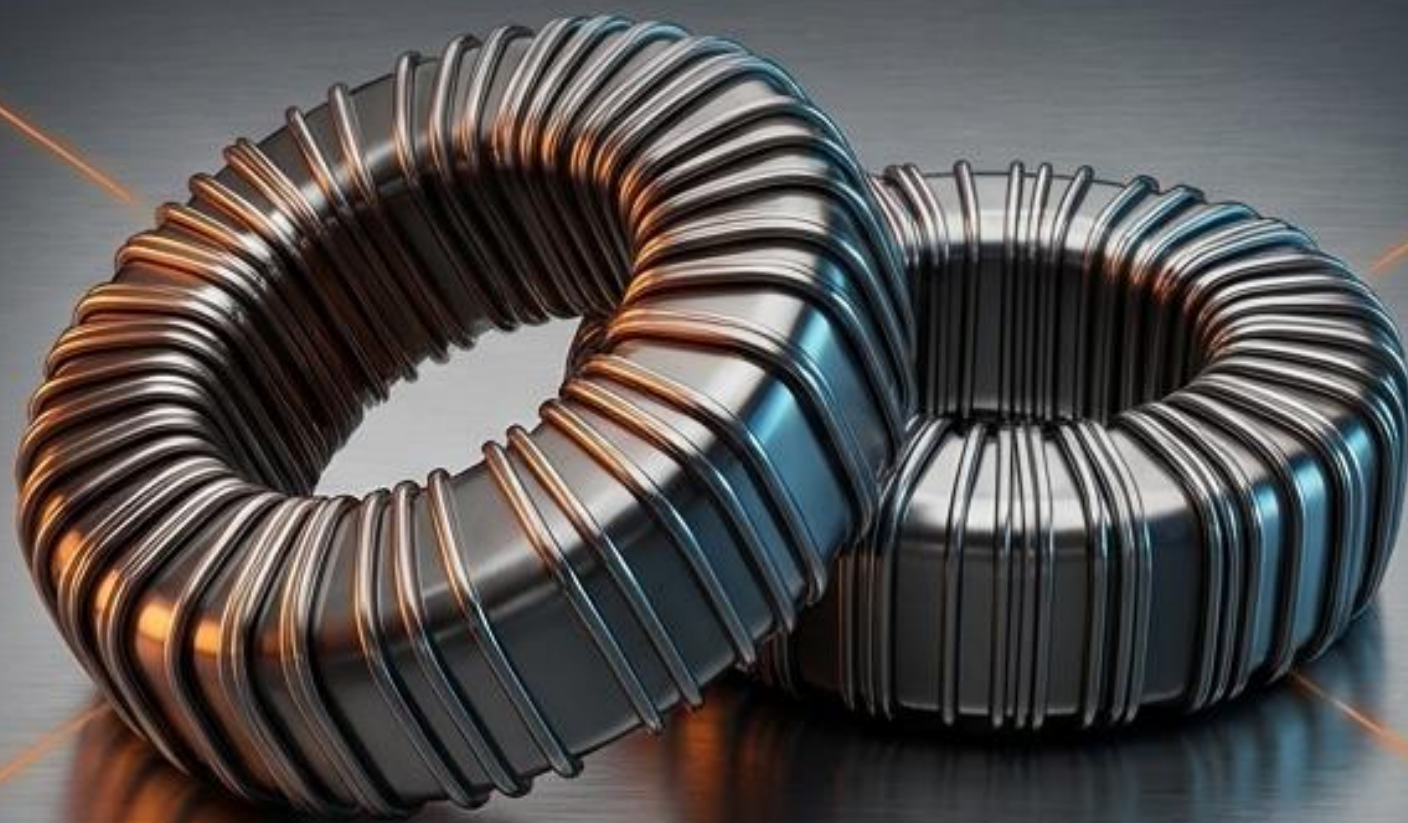
Új, saját fejlesztésű hőkezelő  
félüzemi berendezés.  
Reprodukálható feszültség-  
profilok és hőmérséklet-vezérlés.



# Prototípusok: Ultraalacsony Permeabilitású Magcsalád

Kész, zárt toroid geometria.

Minden egyes darab strukturálisan és mágnesesen validált.

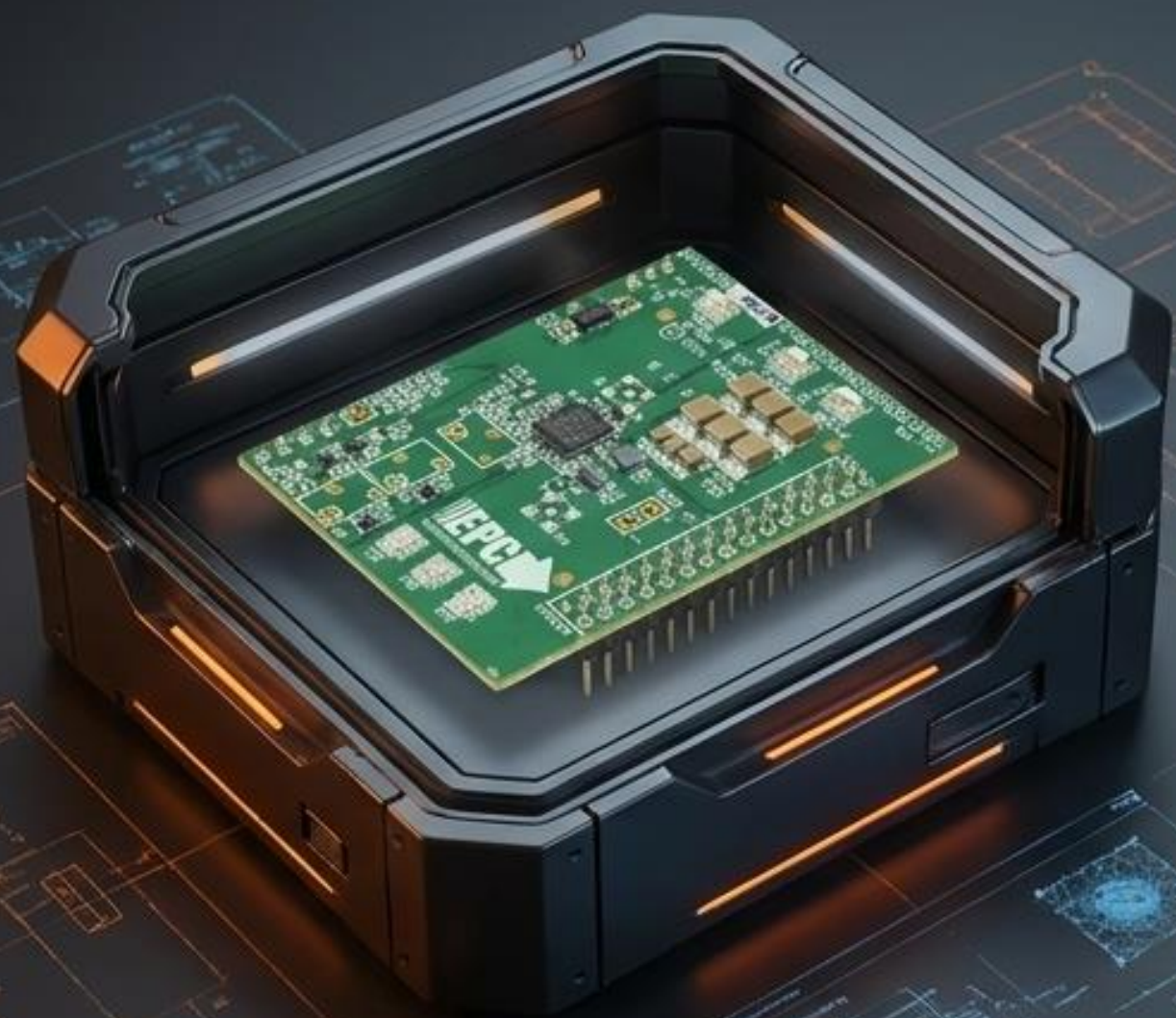


Feszültséges hőkezeléssel beállított, garantált paraméterek.

Azonnal integrálható nagyfrekvenciás áramkörüi topológiákba.



# Validációs Mérések és Precízió



**Eszközök:** Agilent E4980A precíziós RLC méter és dedikált B-H hurok mérő.

**Statisztikai Szórás:** A kétféle módszerrel végzett mérések maximális eltérése 5-7%.

**Kritikus Eredmény:** **Ugyanazon módszerrel mérve a reprodukált magok permeabilitás értékei 1%-on belüli szórást mutattak.**

**Tervezhetőség:** Tökéletesen megbízható adatbázis a jövőbeli áramkörtervezéshez.



# Versenyelőny: A Piac Újragondolása

## Heatmap Matrix

Termék	Max Hőmérséklet	Max Frekvencia	Méretkorlát
Magnetics Ltd (MPP)	Max 200°C	1-2 MHz	Van
Micrometals (Iron)	Max 155°C	45 MHz	Van
<b>PROGEN Co-Alapú Nanokompozit</b>	<b>&gt;200°C (Kiváló)</b>	<b>Nincs gátló korlát</b>	<b>Nincs</b>

**Gyártási Költségigény:** Kompaktálási igény hiánya miatt kiemelten költséghatékony.



# A projekt által létrehozott tudásbázis (IP)



## Szabadalomra Kész Ötvözet

Új, egyedi összetételű kobalt alapú fém-fém rendszer paraméterei.



## Skálázható Hőkezelési IP

Félüzemi berendezés terveit és a feszültséges hőkezelés pontos receptúrája.



## Tervezési Karakterisztikák

1%-os pontosságú mérési protokollok és alkalmazástervezési adatbázis.



## Gyártástechnológiai Know-How

Porok kompaktálását kiváltó, zárt szalagos csévéelési és hőkezelési módszertan.



# Összegzés: Innovációtól a Piacig

- ✓ **Kutatási Cél Teljesítve:** Létrejött az ultraalacsony permeabilitású,  $<1$  A/m koercitív erejű nanokristályos anyag.
- ✓ **Technológiai Skálázhatóság:** Félüzemi szintre emelt, stabil és gazdaságos (kompaktálás-mentes) gyártástechnológia.
- ✓ **Piaci Dominancia:** A versenytársak fizikai és hőmérsékleti korlátait túlszárnyaló termékcsalád és tudásbázis.



**Készen az ipari hasznosításra.**



# KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Kutatásunkat az NKFIH –  
a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap –  
támogatta.

Ezúton is köszönjük a pénzügyi támogatást,  
amely lehetővé tette kutatásunk megvalósítását.



NEMZETI KUTATÁSI,  
FEJLESZTÉSI ÉS INNOVÁCIÓS  
HIVATAL

AZ INNOVÁCIÓ LENDÜLETE



**KÖSZÖNÖM  
A FIGYELMET!**

---