

# Magyar részvétel a Future Circular Collider (FCC) tervezésében



Barna Dániel  
Wigner Fizikai Kutatóközpont

Simonyi Károly emléknep  
2019. 10. 18.  
Magyar Tudományos Akadémia

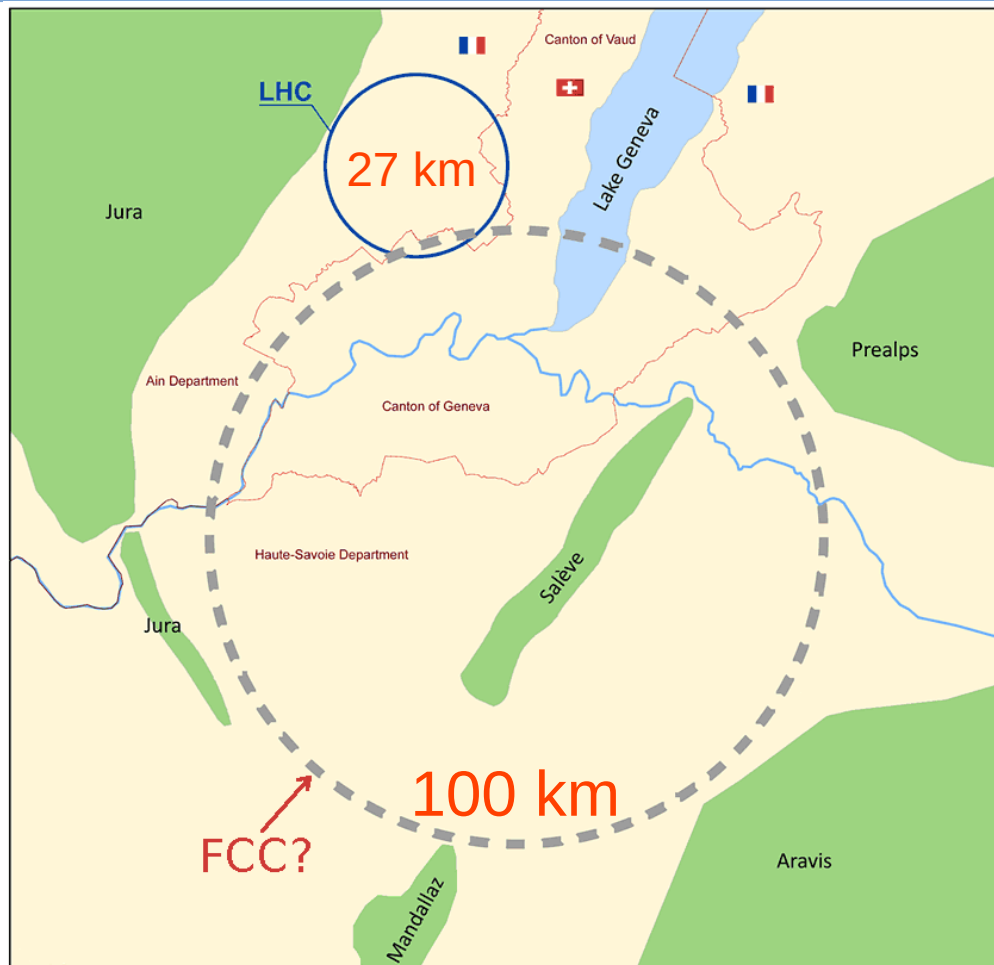
# Áttekintés

- A Future Circular Collider projekt mint kitűnő K+F környezet
- SuShi szeptum projekt
- Beam dilution projekt
- HITRI – orvosi gyorsító

Az FCC projekt

(...mint K+F környezet)

# FCC – Future Circular Collider



- Az LHC 2035-re kimeríti a lehetőségeit
- 2014: FCC Study
  - következő gyűrű koncepcióterve,
  - kulcs problémák azonosítása
  - megoldások/prototípusok kidolgozása



# 1. fázis: elektron-pozitron (FCC-ee)

- Nyaláb energiák [GeV]: Z(45.6), WW(80), ZH(120),  $tt_{\text{bar}}$ (175)
- 2 x 50 MW szinkrotron sugárzás  
(Paks régi blokkok: 500 MW)
- Fő kihívások:
  - Szupravezető RF rendszer, gyorsító rezonátorok, klystronok
  - Szinkrotron sugárzás & hőterhelés kezelése

# 2. fázis: proton-proton (FCC-hh)

- 50+50 TeV ütközési energia
- 16 Tesla dipól mágnesek
  - új technológia: Nb<sub>3</sub>Sn (a jól bevált, standard NbTi helyett)
  - Nagyon komoly R&D (CERN & USA), >15 Tesla a jelenlegi rekord
- 8 GJ/beam teljes nyalábenergia (!)

# FCC Study mint kitűnő K+F környezet

- Biztosított költségvetés
- Sok különböző szakterület és szakember koordinált bevonása
- Könnyű új partnereket találni
- Cél: új **konceptiók** kidolgozása...
- ... akár FCC-től függetlenül hasznosulhatnak, pl gyógyászatban vagy máshol használt gyorsítók méret- és árcsökkentése.
- CERN elkötelezett, de HiLumi-LHC upgrade a humán erőforrásaik javát leköti →
- Együttműködő partnerek bevonása, segítése (akár anyagilag is)
- Kedvező körülmények új játékosok belépésére

# FCC nyalábkicsatolás, Magyar fejlesztések

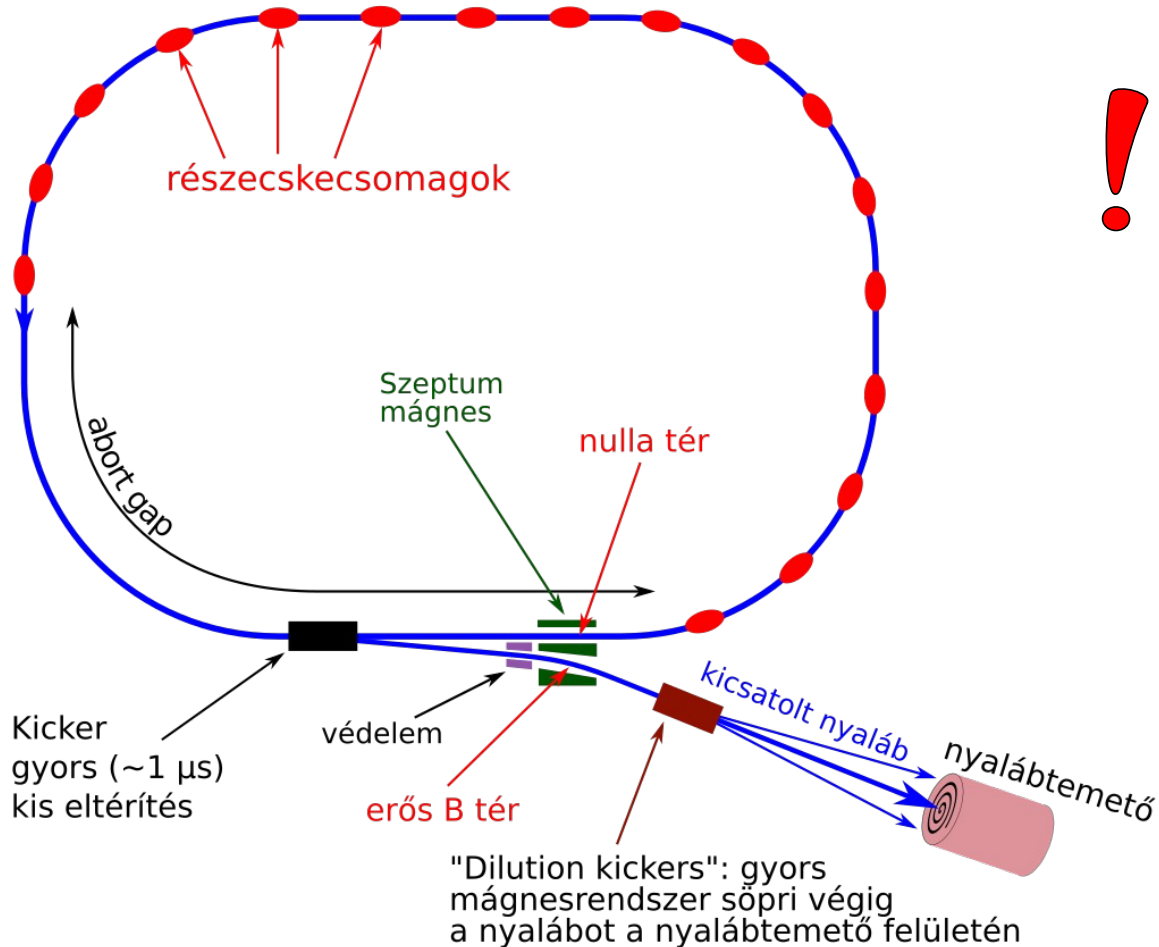
# A nyaláb nem játék...

## FCC nyalábja

- 8 GJ  
(Boeing 747: 330 tonna, 800 km/h)
- 12 tonna rezet megolvasztana
- 300 méter rézen átfúrja magát  
1 pontba becsapódva



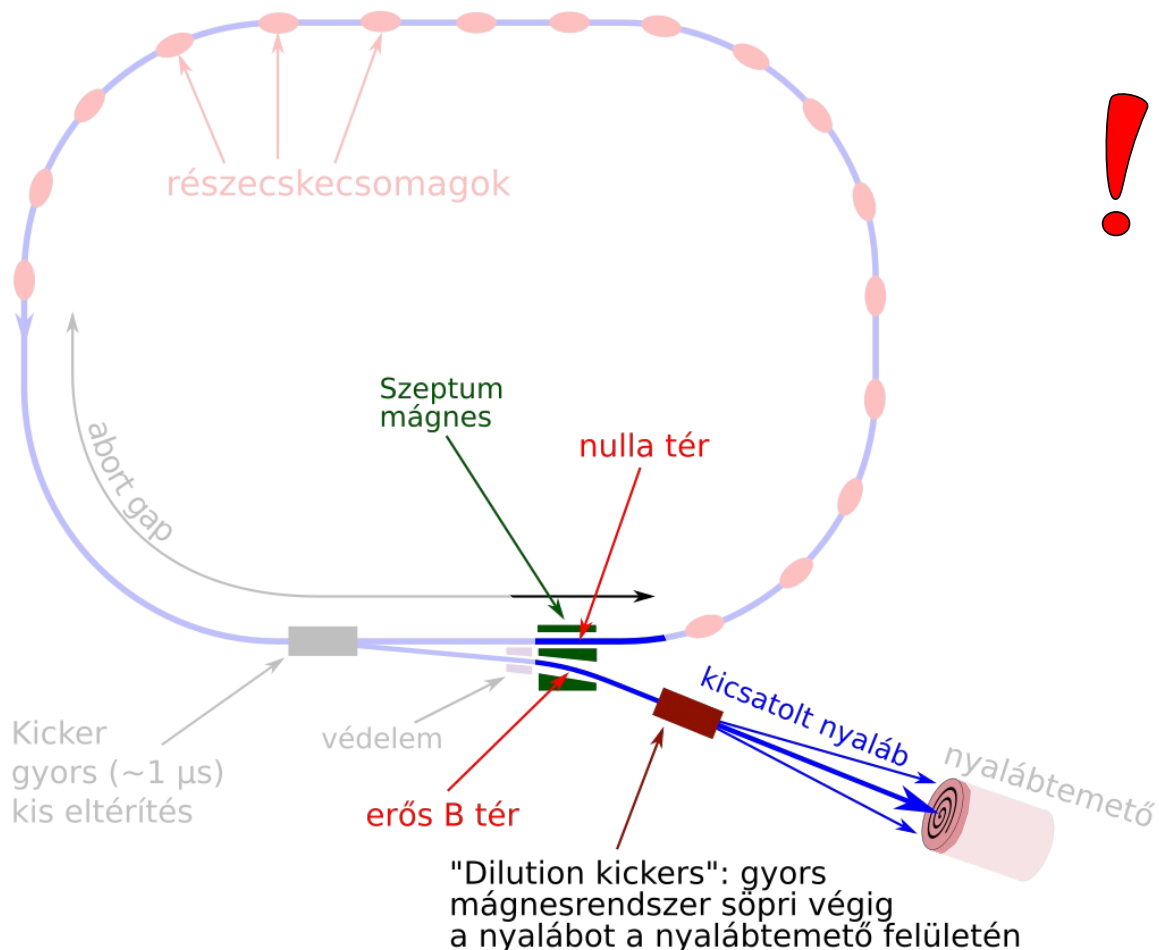
# A kicsatoló/nyalábtemető rendszer



Nyaláb biztonságos eltávolítása:

- az ütközési ciklus végén
- ha bármi hibajel érkezik bárholonnan

# A kicsatoló/nyalábtemető rendszer



Nyaláb biztonságos eltávolítása:

- az ütközési ciklus végén
- ha bármi hibajel érkezik bárhol

Magyar részvétel:

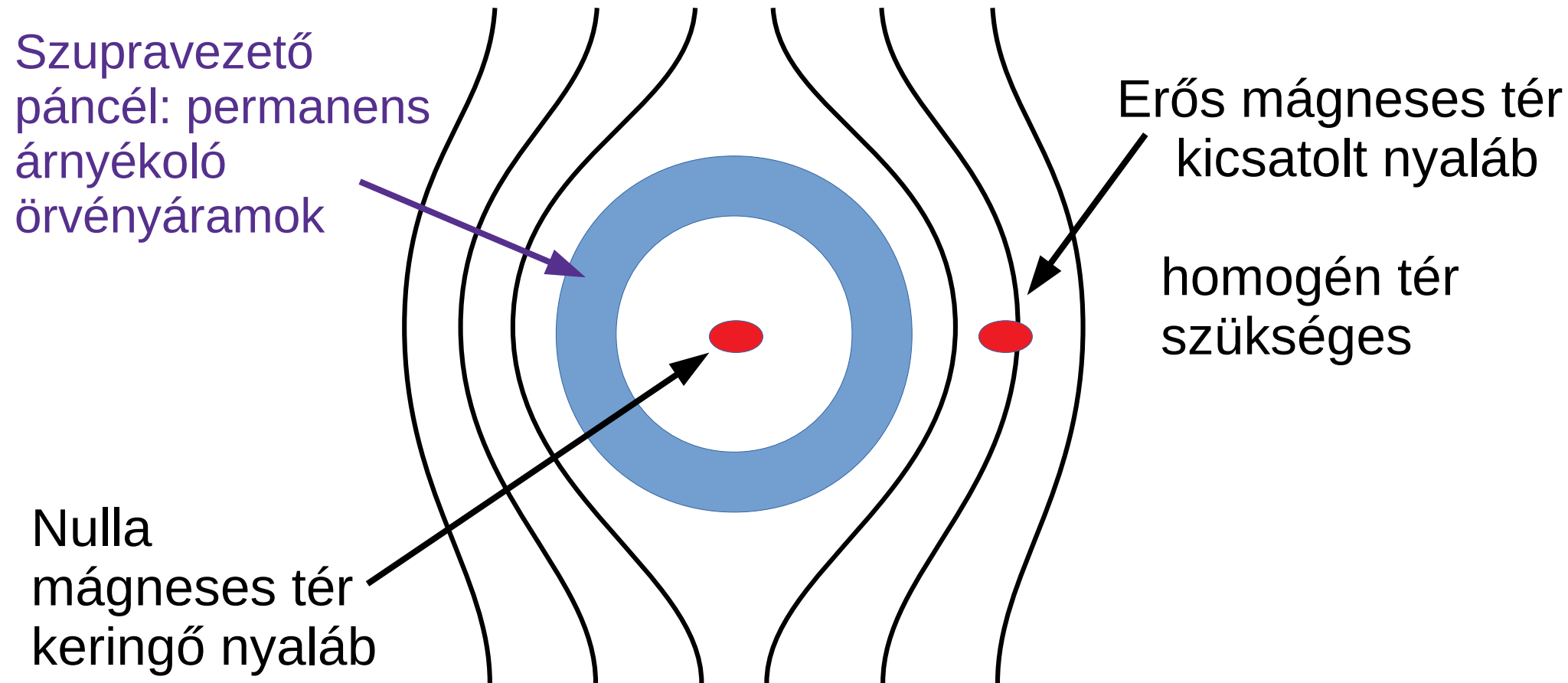
- Nagy terű szupravezető szeptum mágnes – új koncepció (→ FCC Conceptual Design Rep.)
- A nyalábtemető mintázatának és a "dilution kicker" rendszernek az optimalizálása

Superconducting Shield (SuShi)  
szeptum mágnes:

0 és nagy mágneses tér egymáshoz  
igen közel



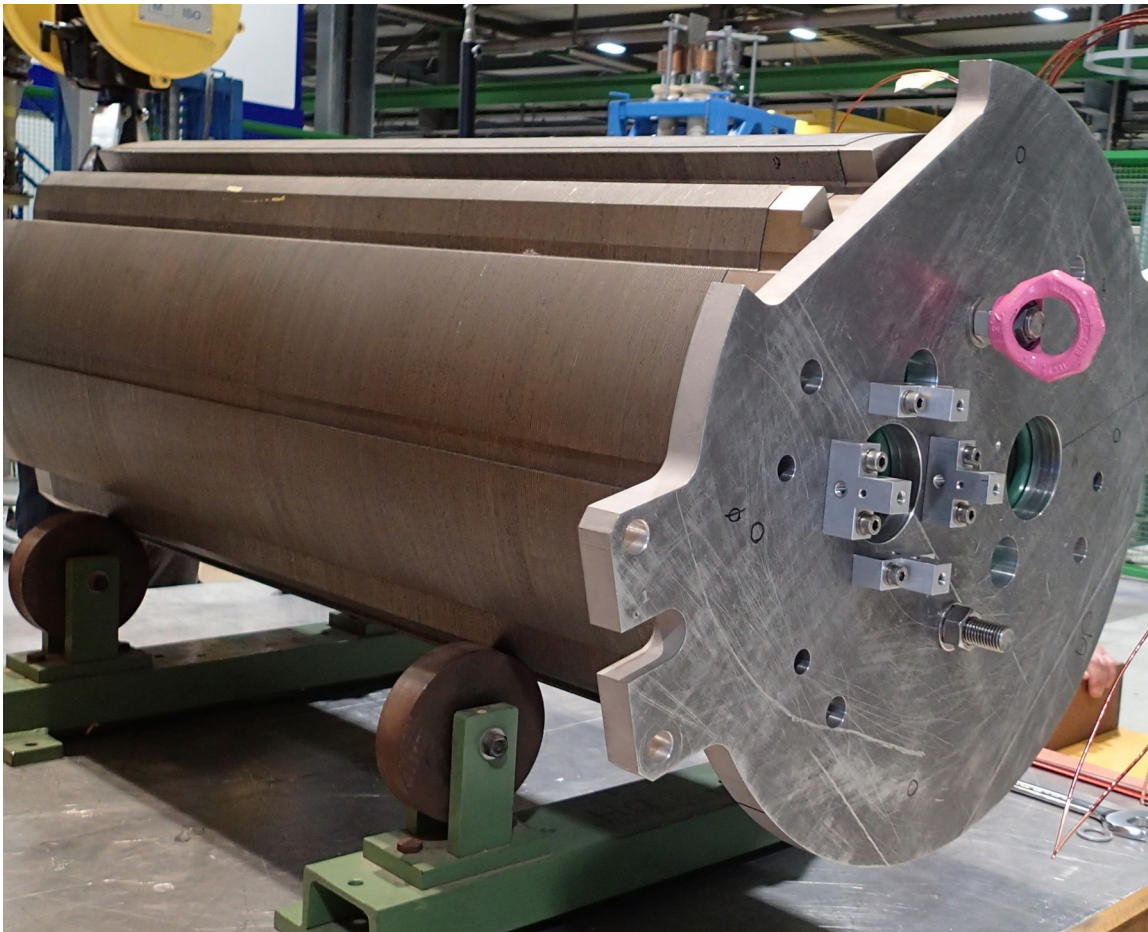
# $\mu_r \ll 1$ (ideális diamágnes) = szupravezető



# Projekt történet

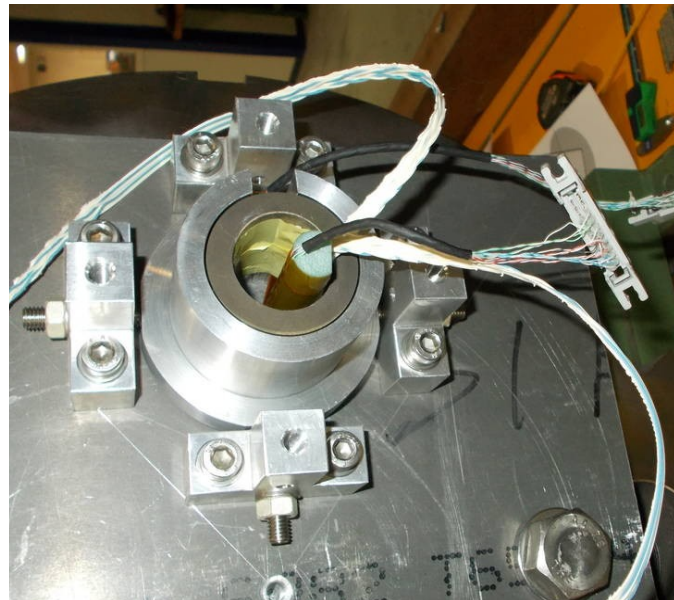
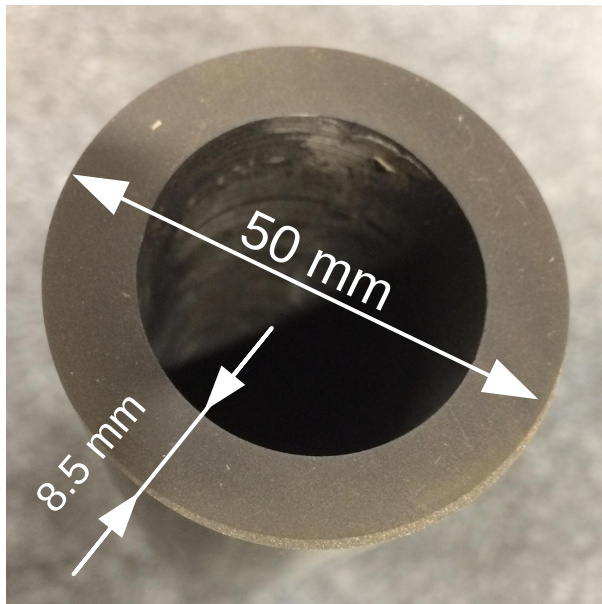
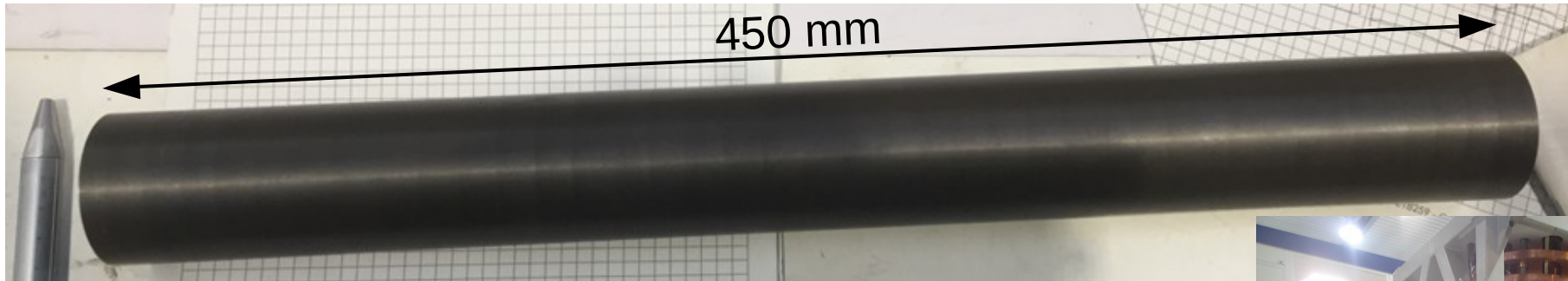
- 2016
  - Alapkoncepció ötlete
  - CERN-Wigner Memorandum of Understanding for FCC
  - Addendum #1 to MoU: supra páncél tesztek
    - CERN: \$, teszt infrastruktúra, személyzet, konzultáció
    - Wigner: szimulációk, tervezés, tesztelés, kiértékelés, publikáció
- 2017-2018
  - Sikeres tesztek
  - Részletes koncepció a teljes berendezésre
- 2019
  - Addendum #2: teljes prototípus tervezése, gyártása, tesztelése
    - CERN: \$, konzultáció, tréning, know-how transfer, meglevő CAD tervek
    - Wigner: szimuláció, tervezés, projektvezetés, gyártás, tesztelés, gyártási infrastruktúra kiépítése

# Szupravezető páncél tesztek: CERN SM18

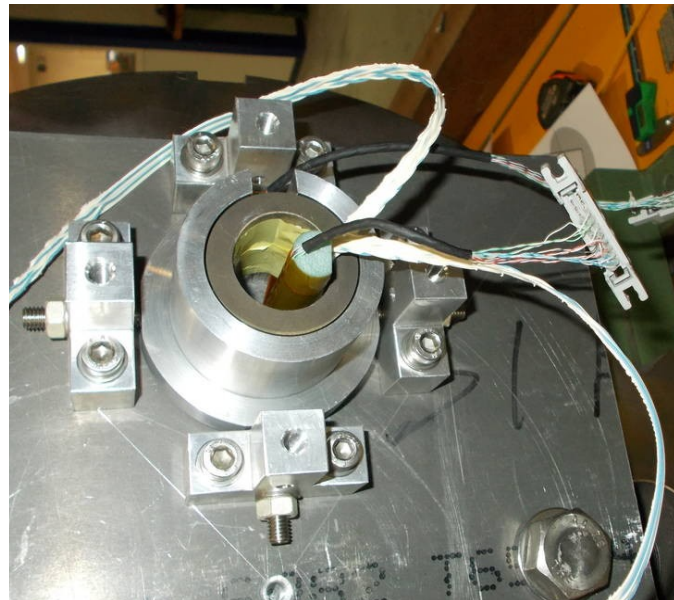
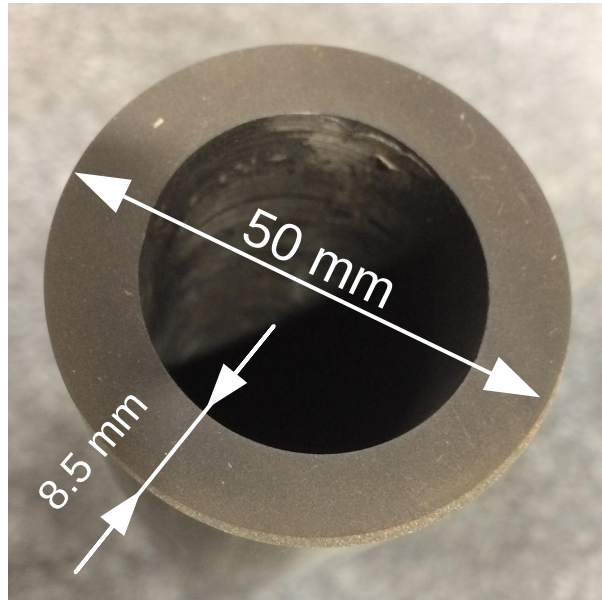
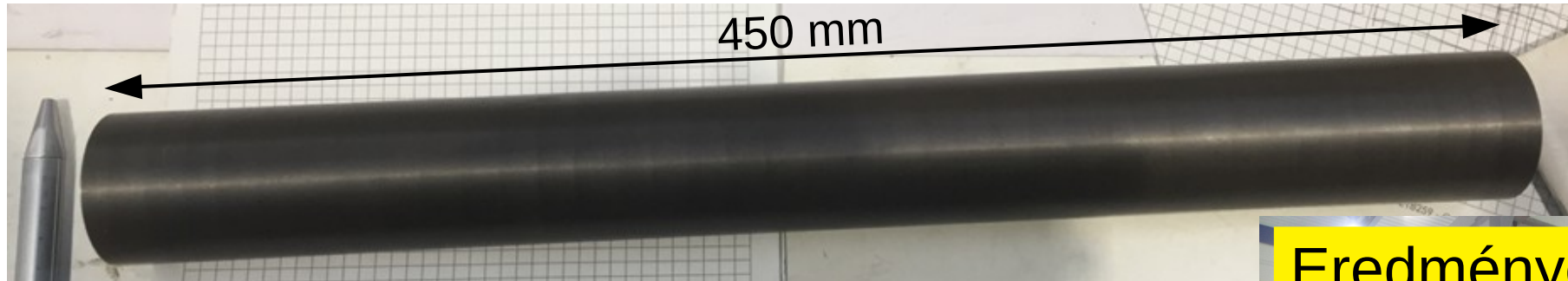




# Szupravezető páncél teszt: $\text{MgB}_2$



# Szupravezető páncél teszt: $\text{MgB}_2$

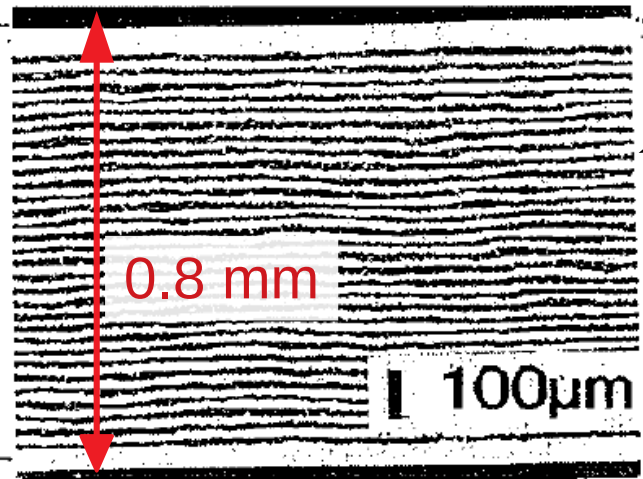


## Eredmények:

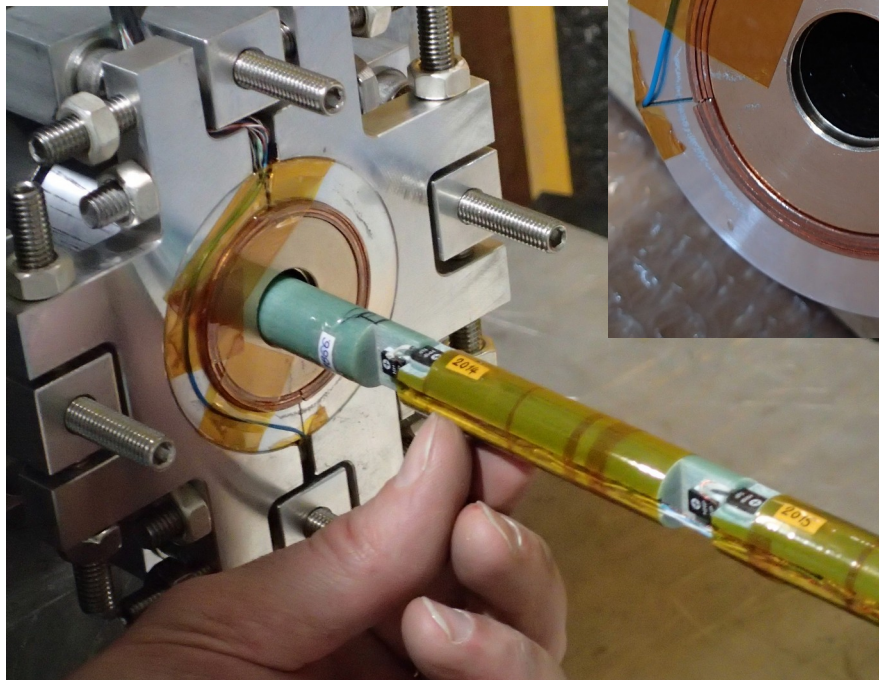
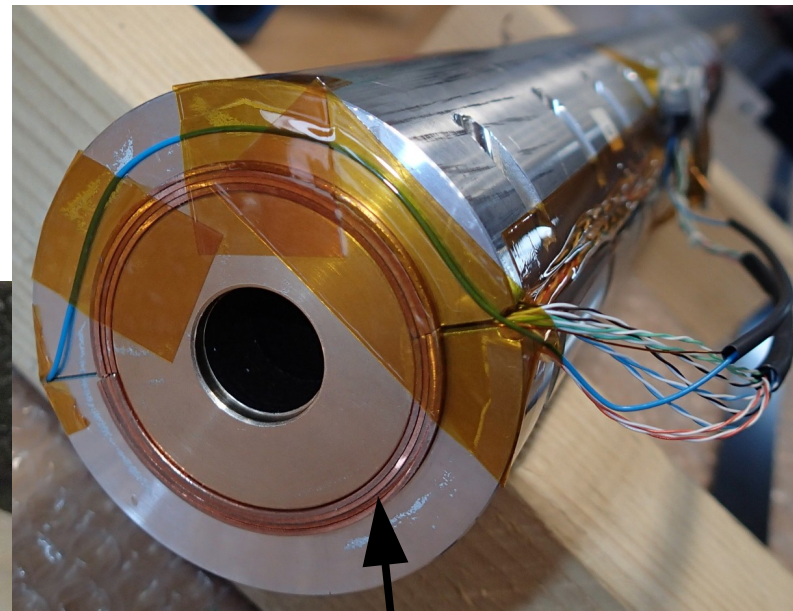
- Kívül 3 Tesla tér
- Belül 0 Tesla
- Falvastagság: 8.5 mm



# Szupravezető páncél tesztek: NbTi

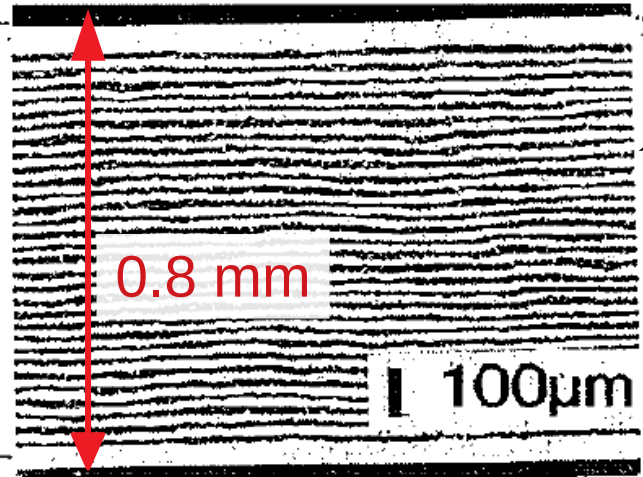


30-30 réteg  
NbTi & Cu  
(10 µm)



Szupravezető páncél

# Szupravezető páncél tesztek: NbTi



30-30 réteg  
NbTi & Cu  
(10  $\mu\text{m}$ )



Eredmények:

- 3.1 Tesla mágneses teret leárnyékolt
- 3.2 mm falvastagság (!)

Sajnos az anyag rettentő drága,  
egyetlen cég (Nippon Ltd) már nem  
gyártja...



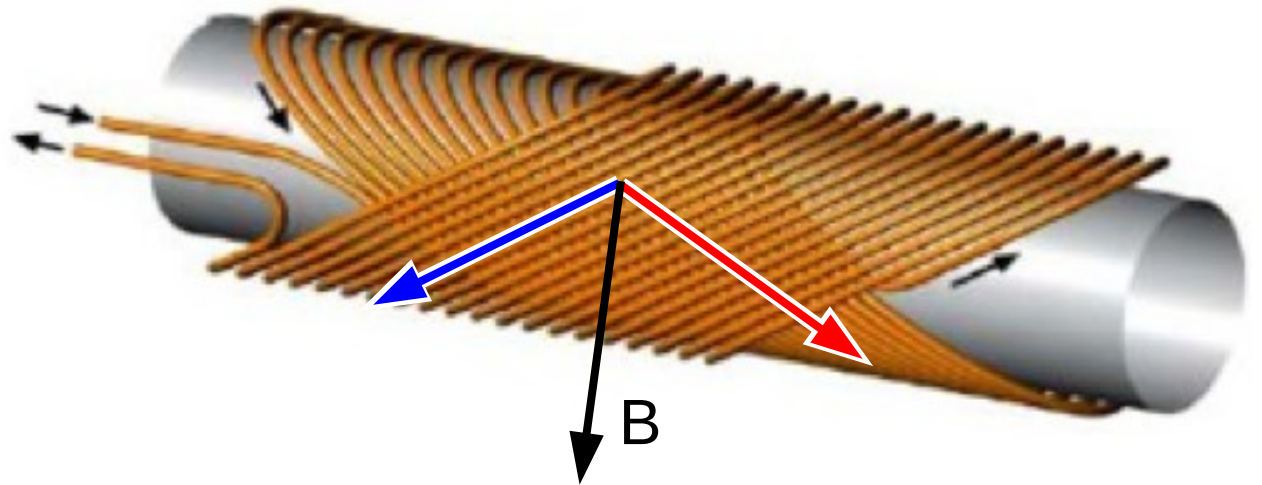
# Szupravezető mágnes

- A mágneses teret létre is kell hozni, hogy legyen mit leárnyékolni
- Szupravezető páncél és mágnes együttes optimalizálása  
→ homogén tér



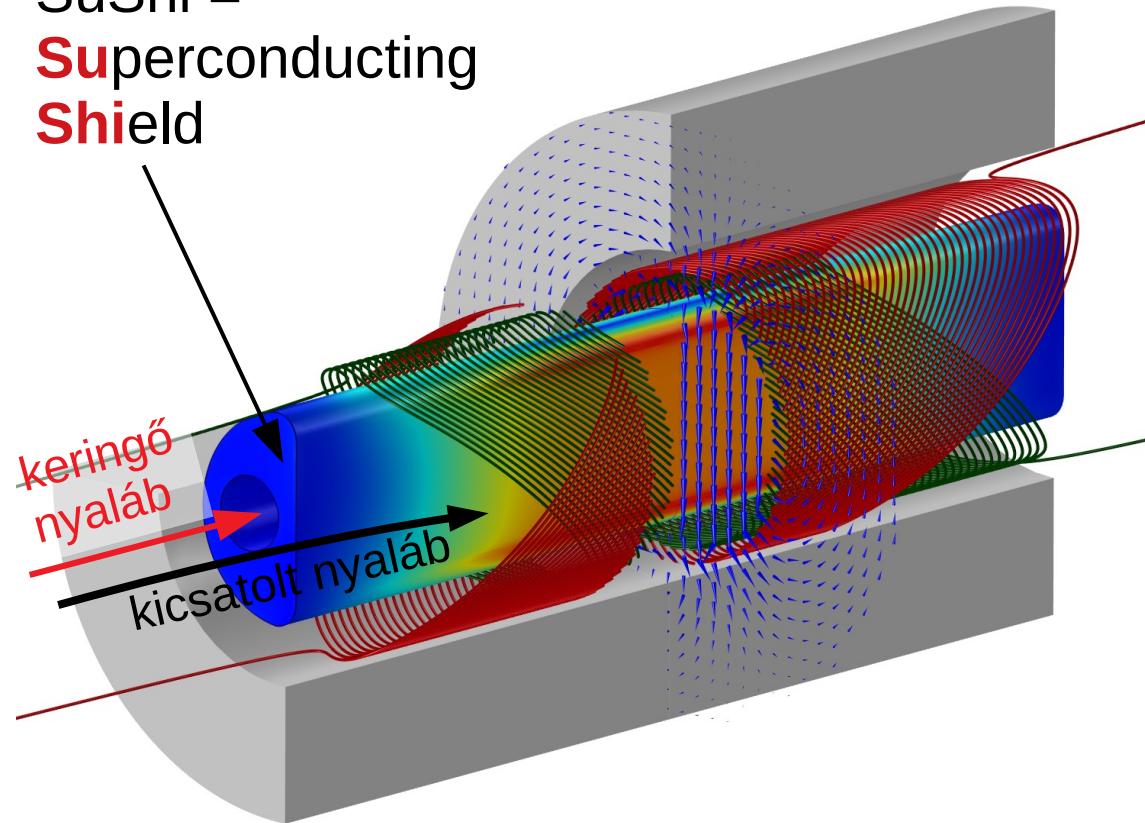
# Canted Cosine Theta (CCT) mágnes

- Régi ötlet újrafelfedezése
- Rendkívül egyszerű konstrukció
- Robusztus (alig van "quench")



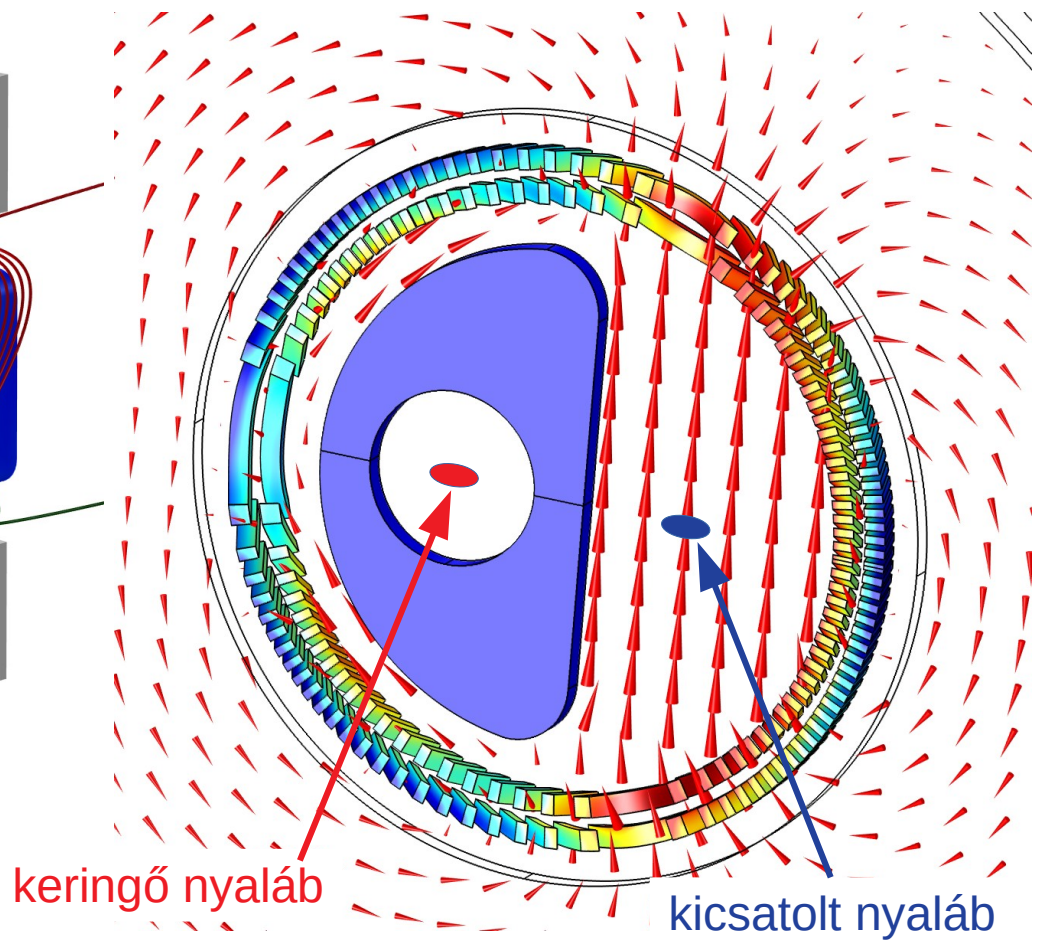
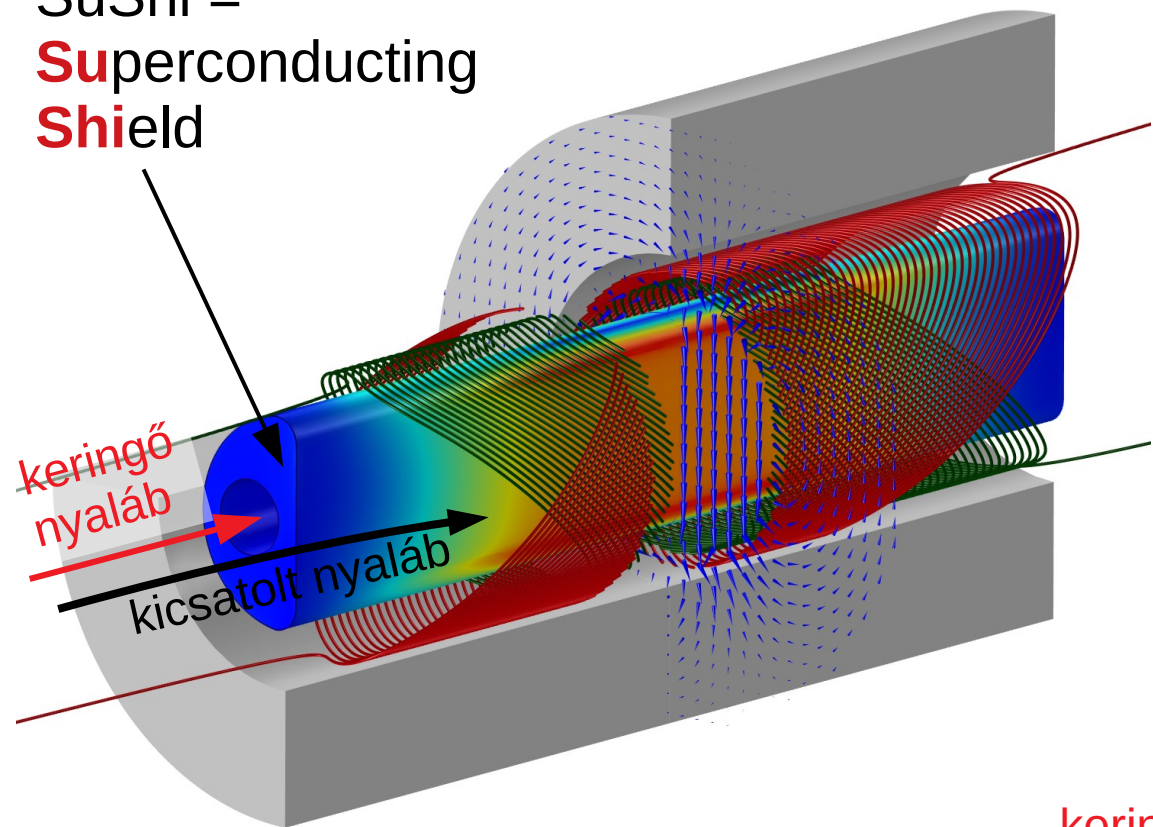
# SuShi szeptum

SuShi =  
**S**uperconducting  
**S**hield



# SuShi szeptum

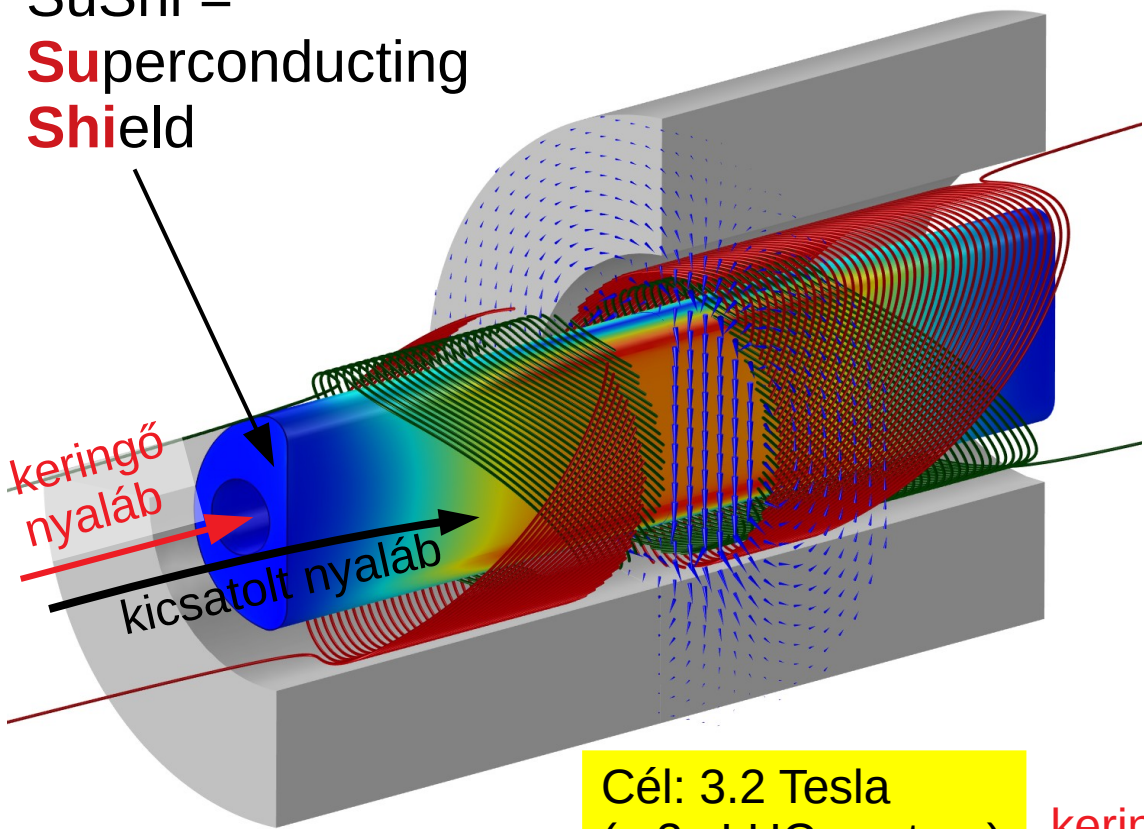
SuShi =  
**S**uperconducting  
**S**hield



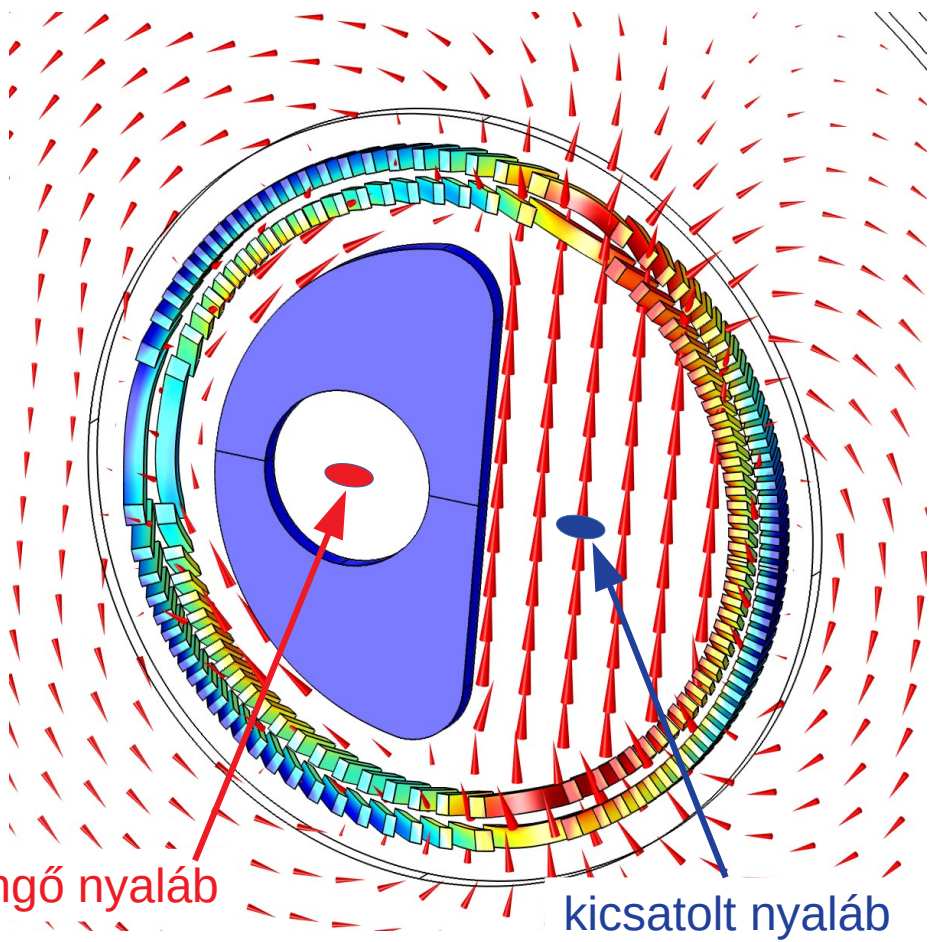


# SuShi szeptum

SuShi =  
**S**uperconducting  
**S**hield



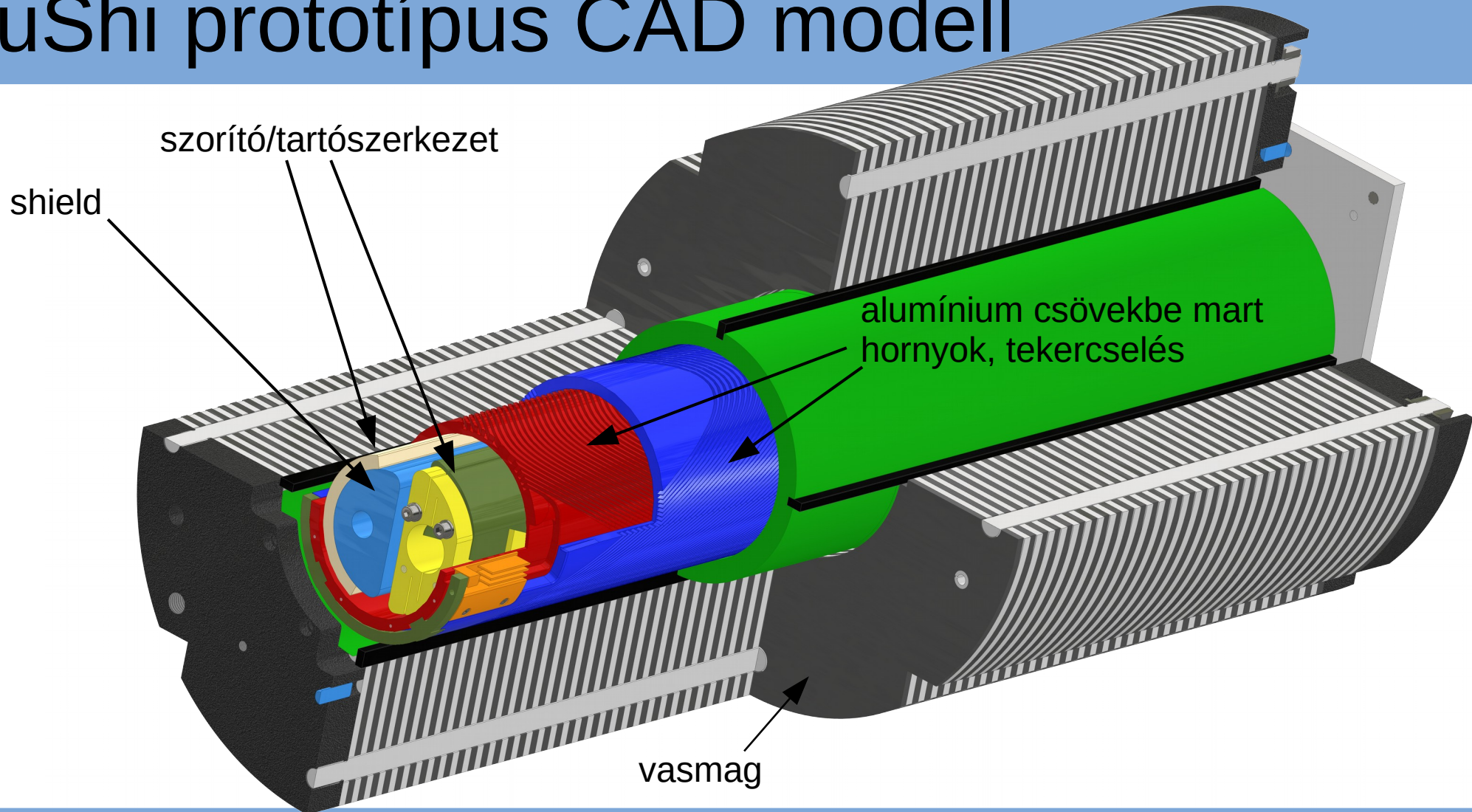
Cél: 3.2 Tesla  
( $\approx 3x$  LHC septum)



# SuShi szeptum prototípus

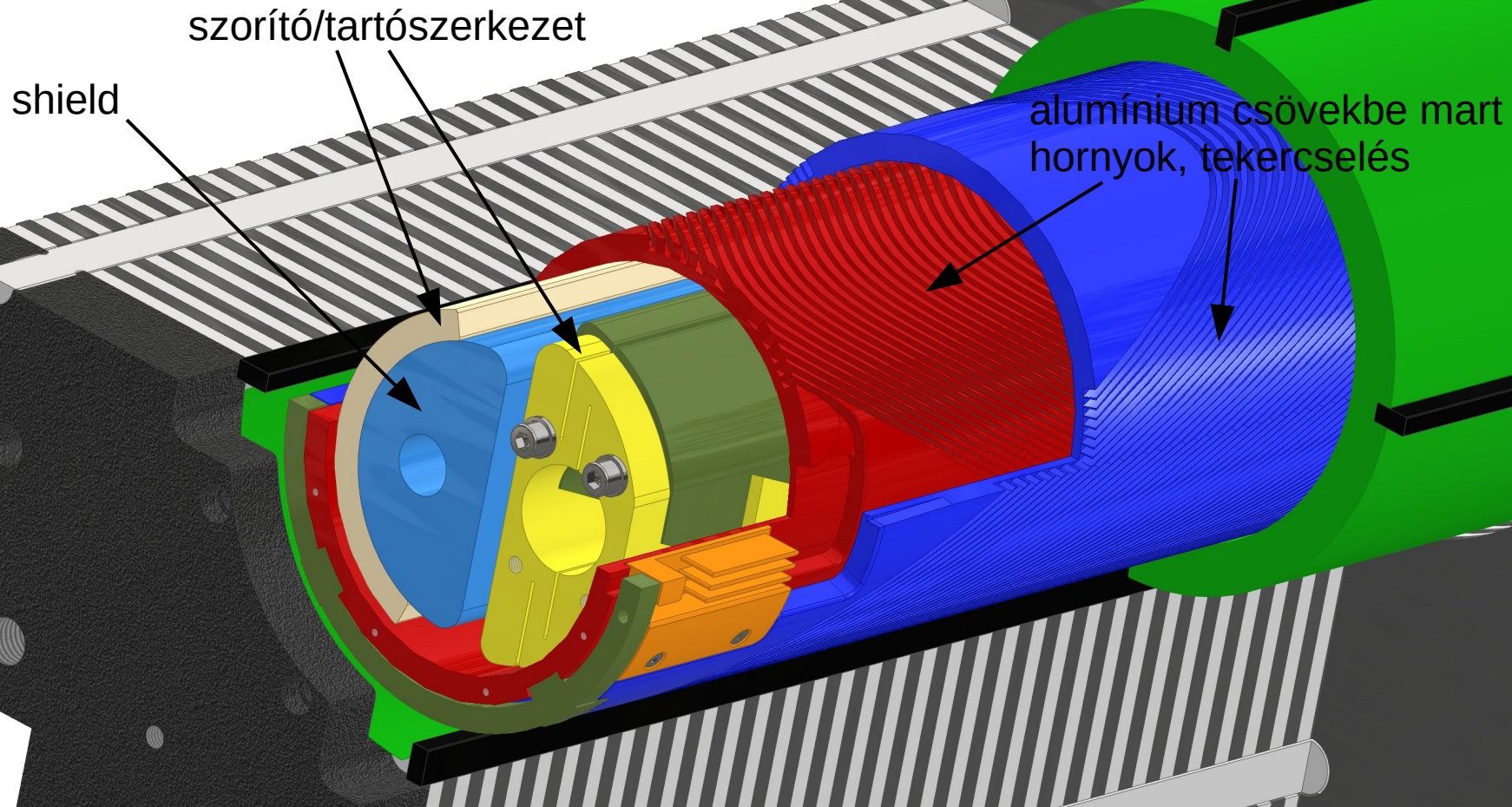
- ✓ Konceptióterv idén készült el
- ✓ 3D mágneses szimuláció
- ✓ Mechanikai szimuláció
- ✓ CAD tervek, magyar gyártó cégekkel együttműködve
- Quench védelem, szimuláció

# SuShi prototípus CAD modell

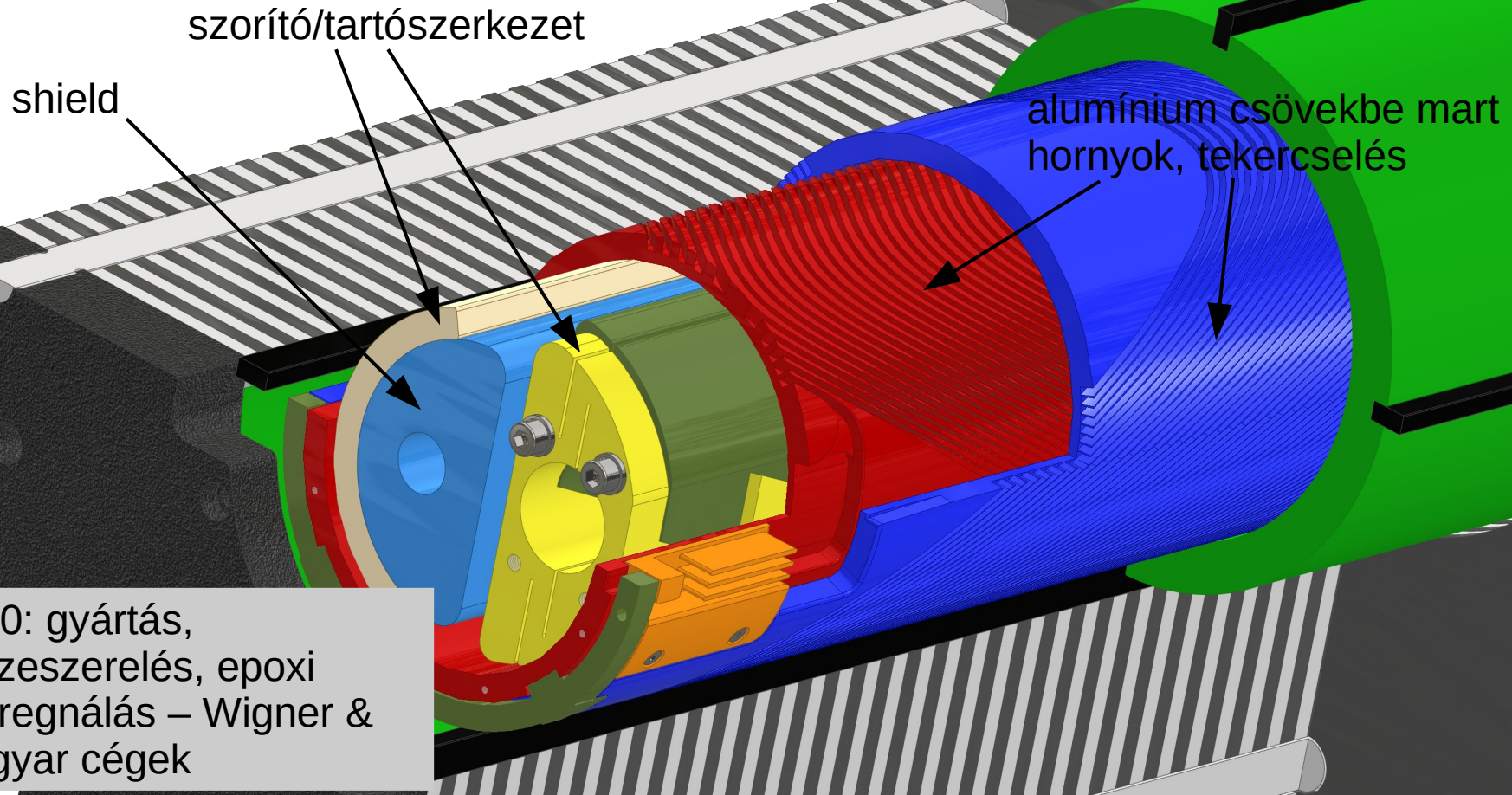




# SuShi prototípus CAD modell



# SuShi prototípus CAD modell



2020: gyártás, összeszerelés, epoxi impregnálás – Wigner & magyar cégek



# Szupravezető mágnesépítés a CERN-ben



- Részvétel az LHC-ba beépítendő CCT mágnes építésében
- Napi szintű konzultáció

# Gyártási infrastruktúra @ Wigner

Tekercselő gép



Epoxy vákum impregnáló rendszer





# “Mellékvágány”: NbTi/Cu lemez gyártási technológiájának fejlesztése

Együttműködés –  
Miskolci Egyetem Műszaki  
Anyagtudományi Kar

Elérhető infrastruktúra – hengermű,  
hőkezelés, anyagvizsgálat

Cél

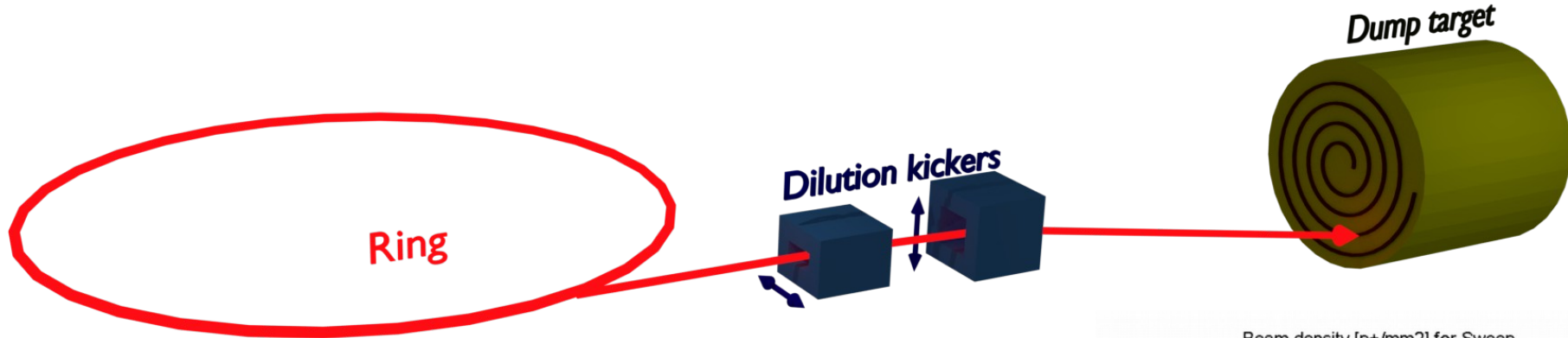
- A gyártási technológia átörökítése
- ... és továbbfejlesztése, olcsóbbá tétele, kis mennyiségekre is



# Beam dilution

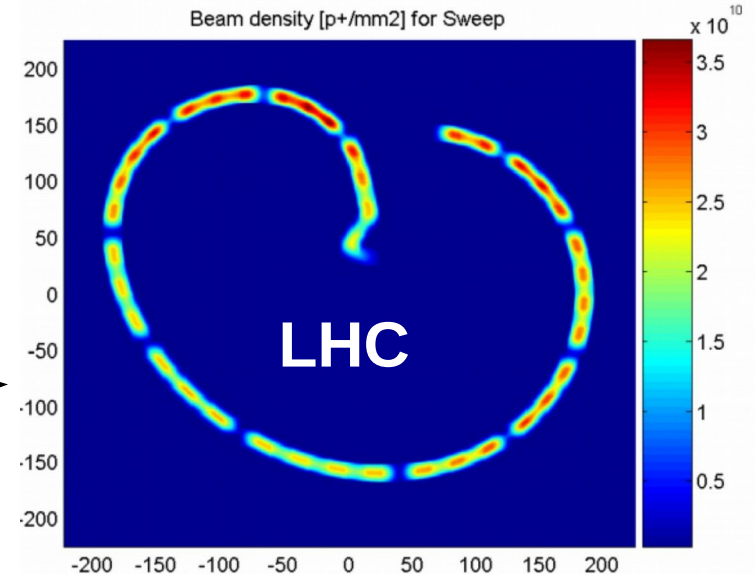
(nyalábszétterítés a nyalábtemető  
felületén)

# Beam dilution

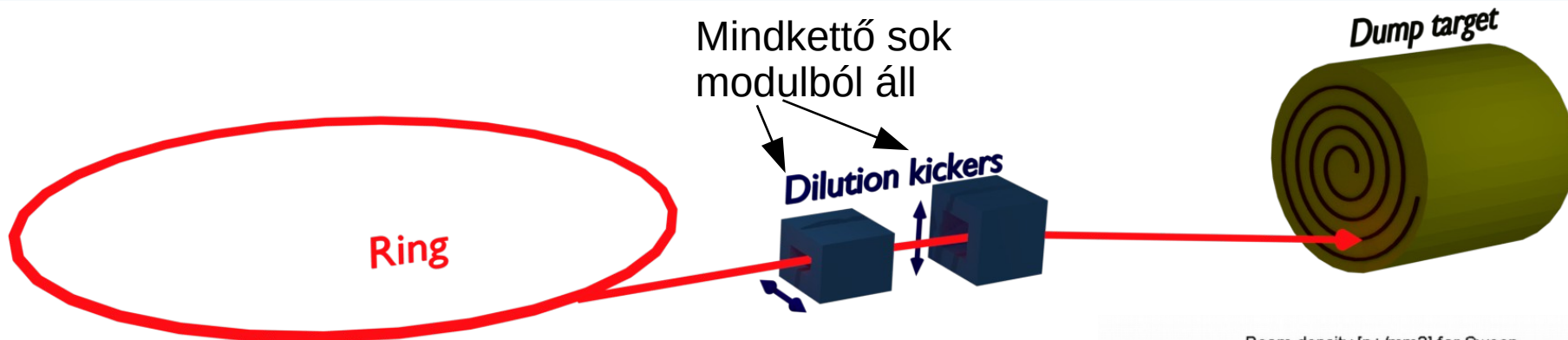


## Cél

- Leadott energiasűrűség mindenhol az anyag tűrése alatt legyen
- Mintázat: egyenletes eloszlás → nyalábtemető és kickerek minimalizálása
- LHC: rövid kunkor elegendő
- FCC: hosszú spirál

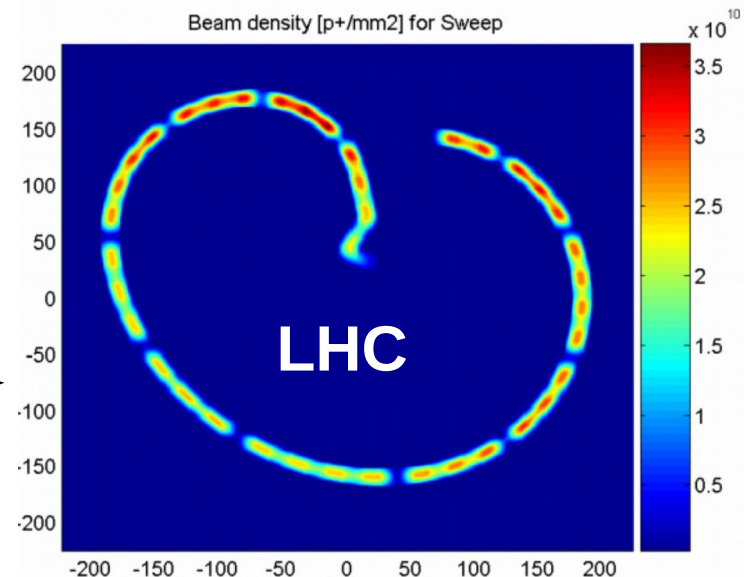


# Beam dilution

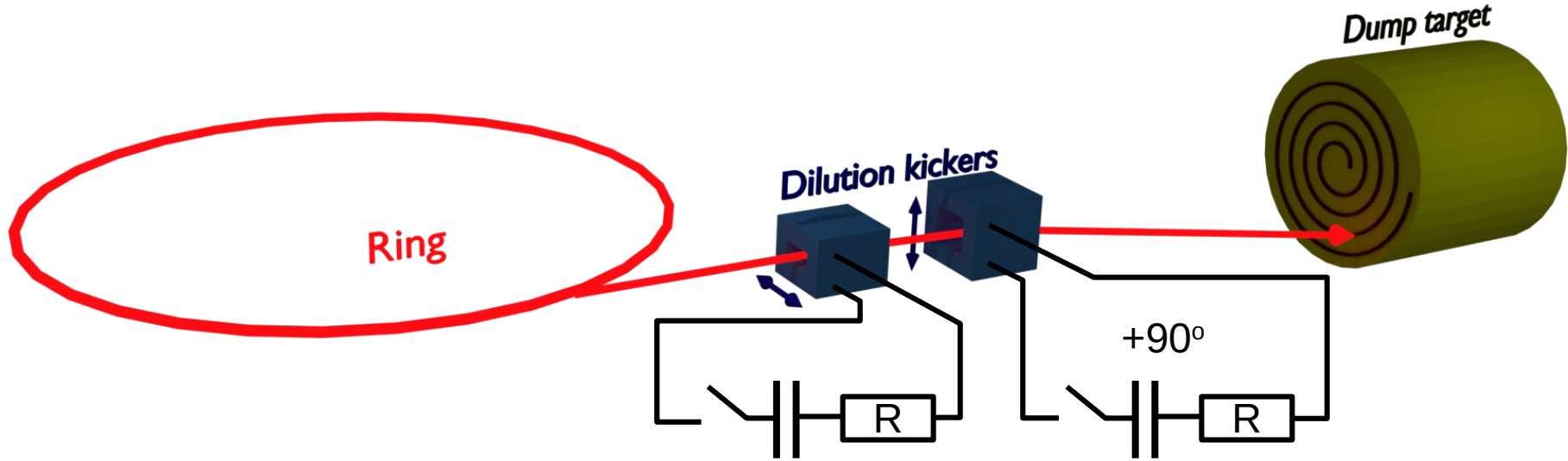


## Cél

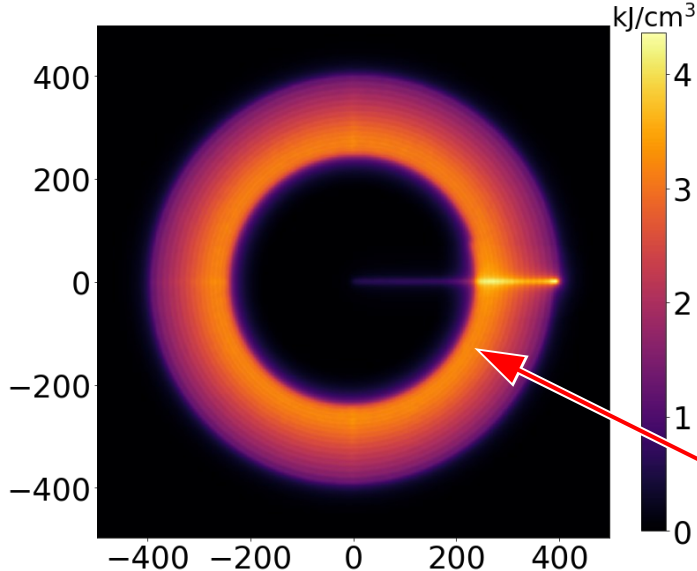
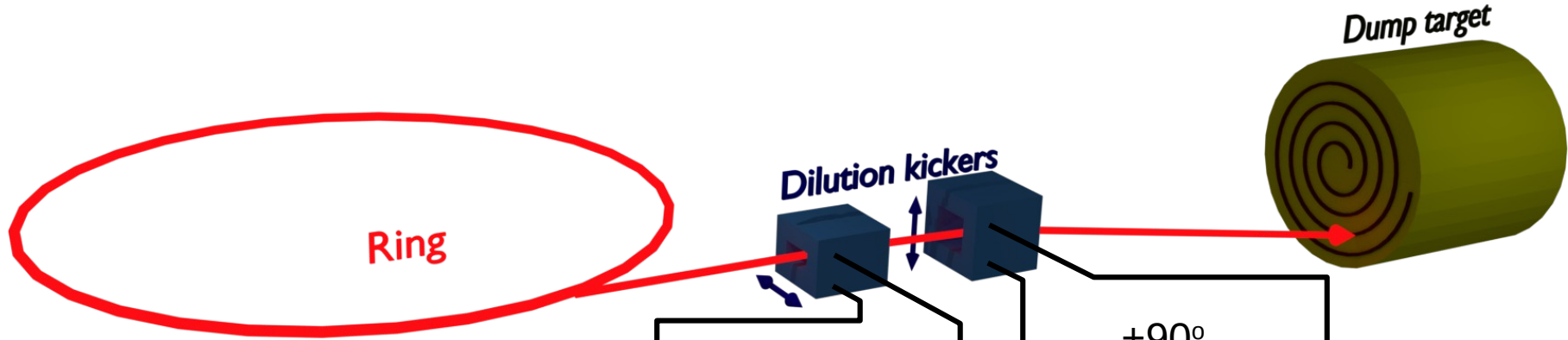
- Leadott energiasűrűség mindenhol az anyag tűrése alatt legyen
- Mintázat: egyenletes eloszlás → nyalábtemető és kickerek minimalizálása
- LHC: rövid kunkor elegendő
- FCC: hosszú spirál



# Csillapított oszcillátorokkal

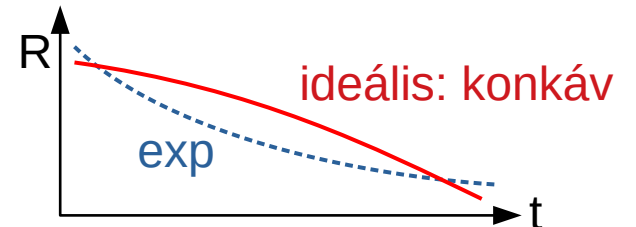


# Csillapított oszcillátorokkal



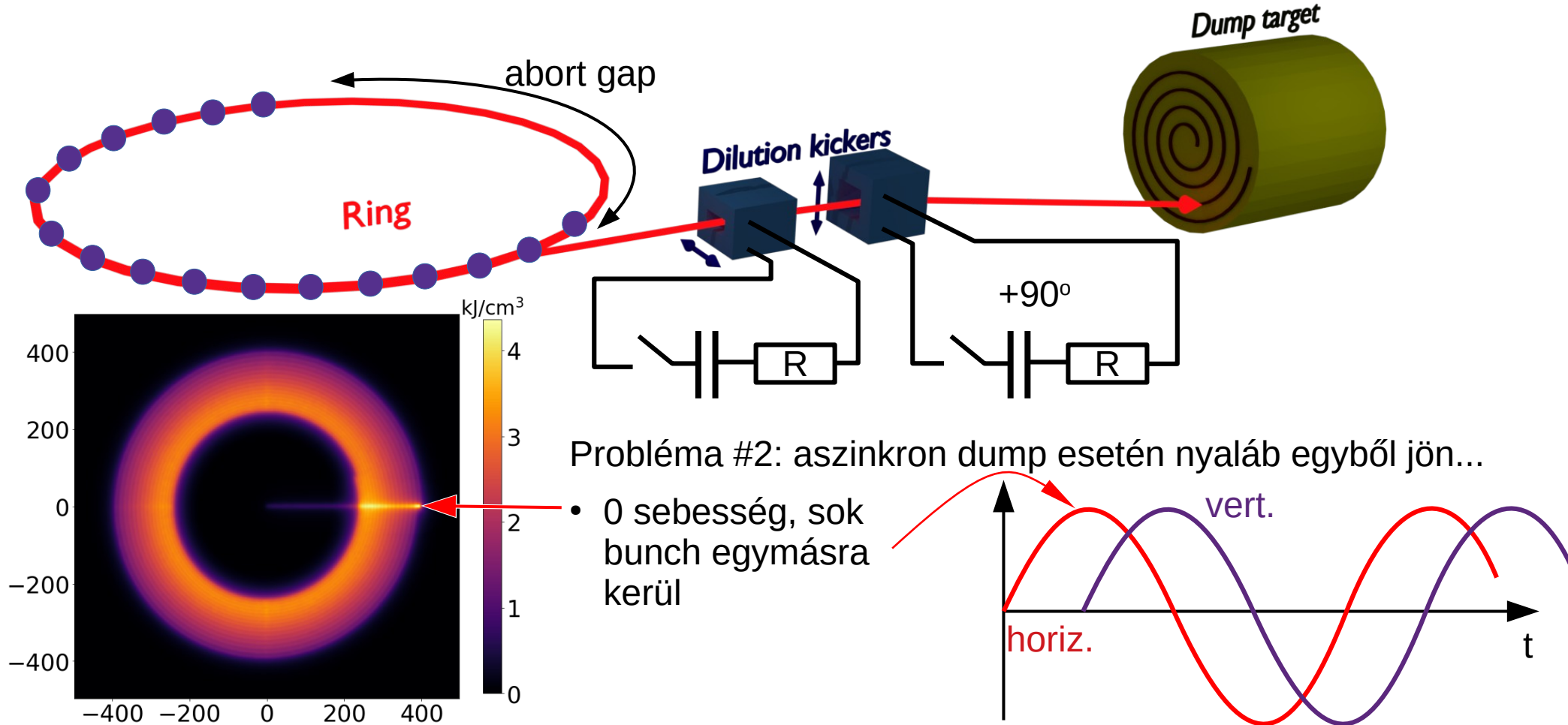
Probléma #1: kis sugárnál...

- kerületi sebesség csökken (fix frekvencia)
- Exponenciális lecsengés → radiális sebesség csökken
- Energiasűrűség nő





# Csillapított oszcillátorokkal



# Javasolt megoldás

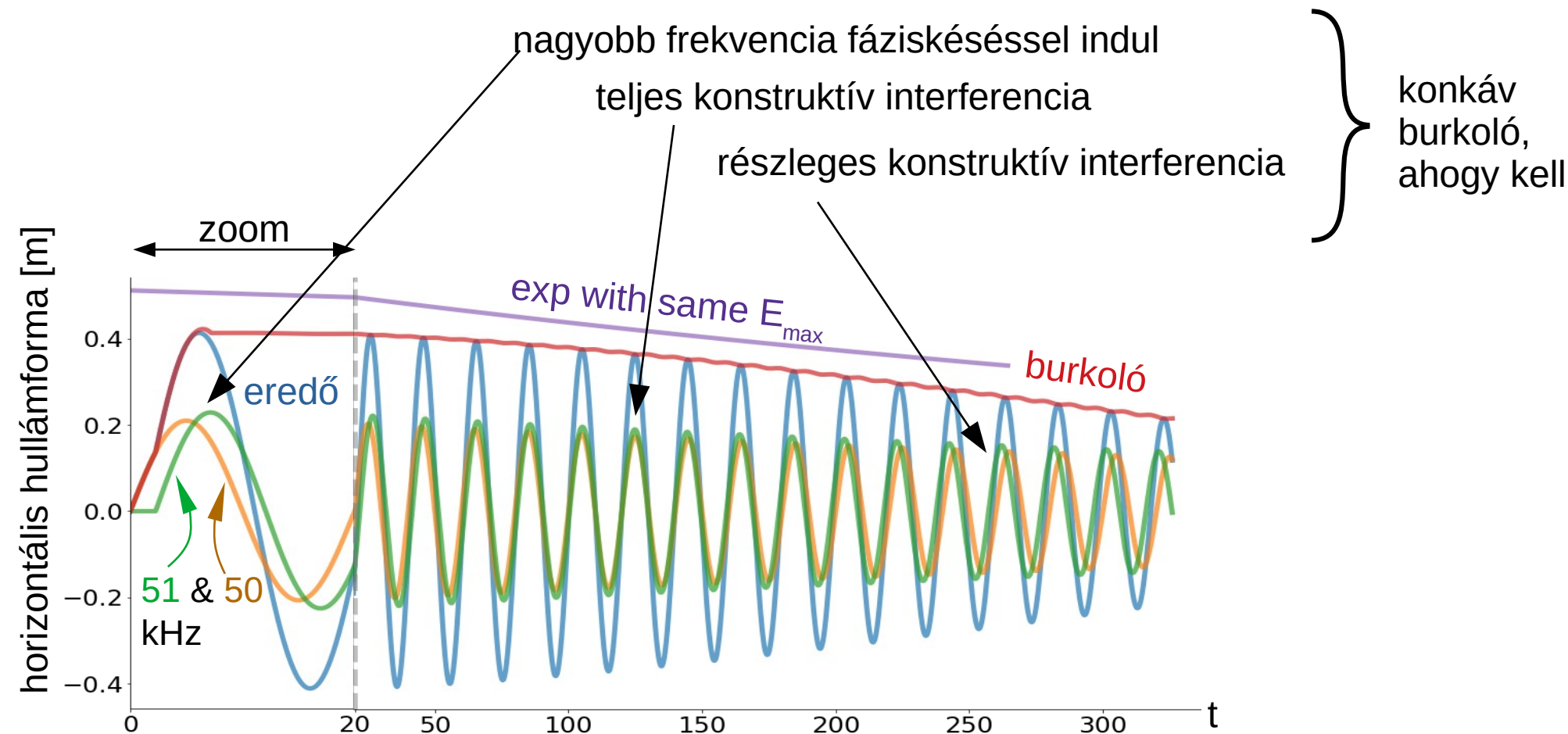
- Ideális minta Fourier-szintetizálása..., de:
  - **csillapított** oszcillátorokból
  - próbáljuk meg **csak 2 frekvencia** használatával

- Eltérítés alakja mindkét síkban:

$$F(t) = A_1 \exp(-t/\tau) \sin(2\pi f t) * (t>0) + A_2 \exp[-(t-\Delta t)/\tau] \sin[2\pi (f+\Delta f) (t-\Delta t)] * (t>\Delta t)$$

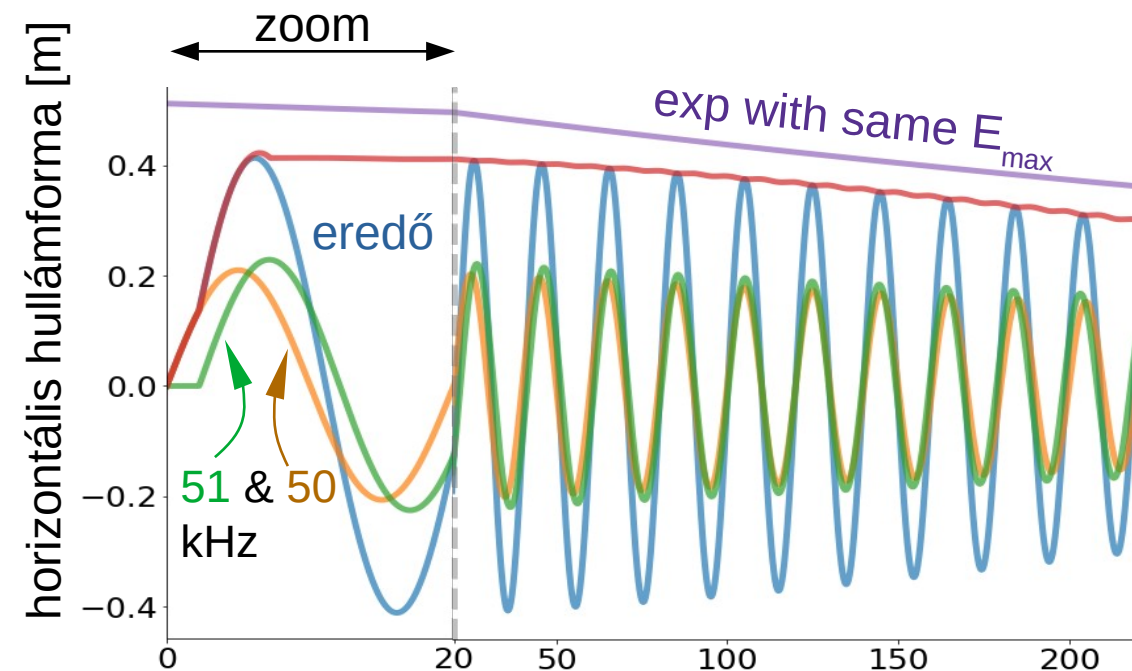
- Egy sík moduljai 2 különböző frekvenciájú csoportban
- Előnyök
  - Egyszerű hardware (ugyanaz, mint az alapötlet)
  - Modulok függetlenek, csak a hatásuk interferál a nyalábon

# Optimalizált hullámforma

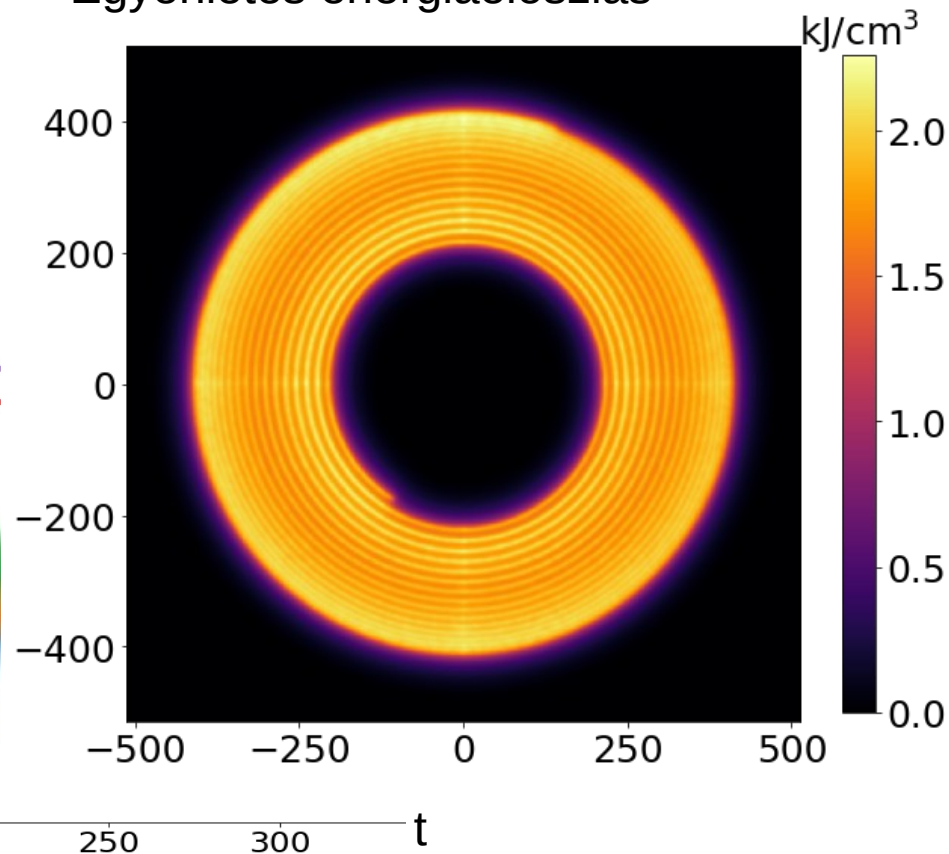


# Optimalizált hullámforma

- 23%-kal kisebb nyalábtemető méret
- 16%-kal gyengébb dilution kickerek

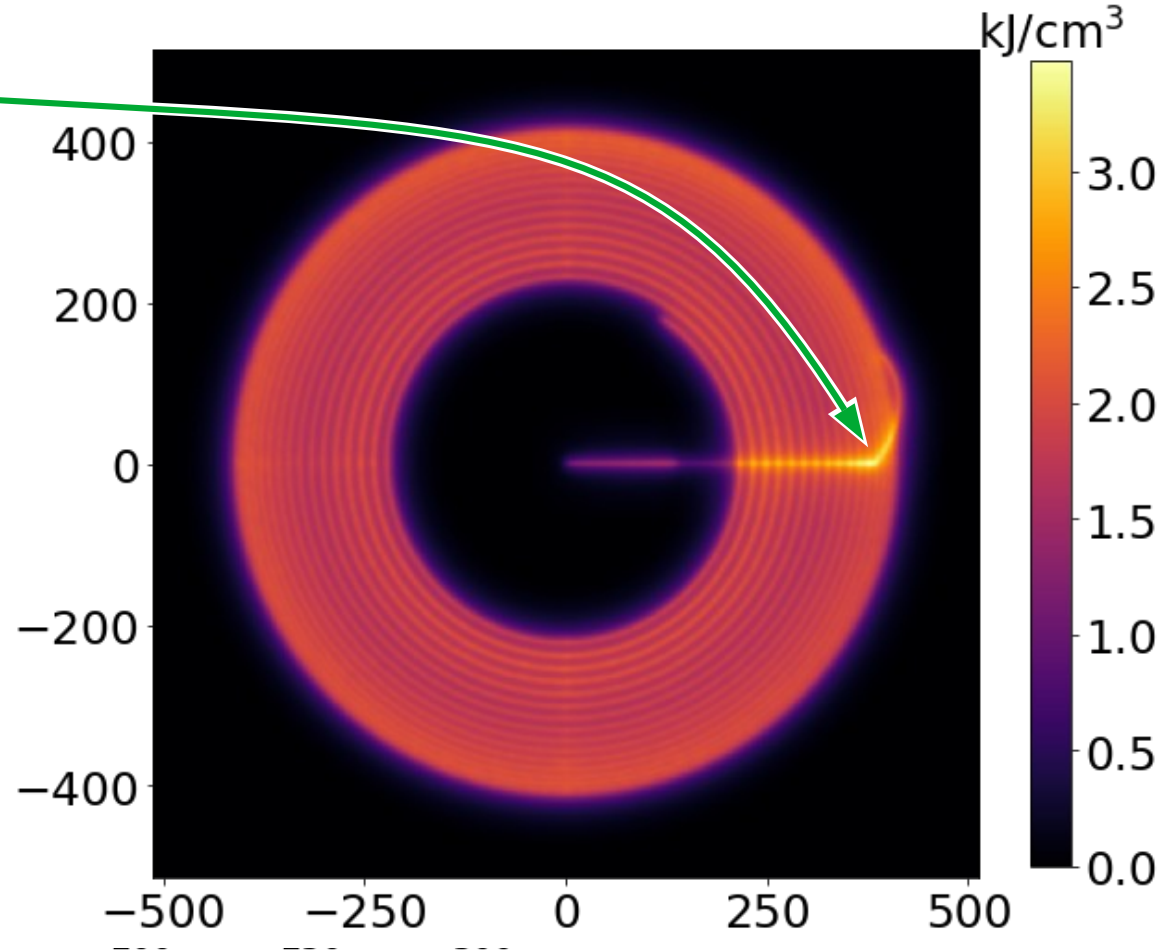
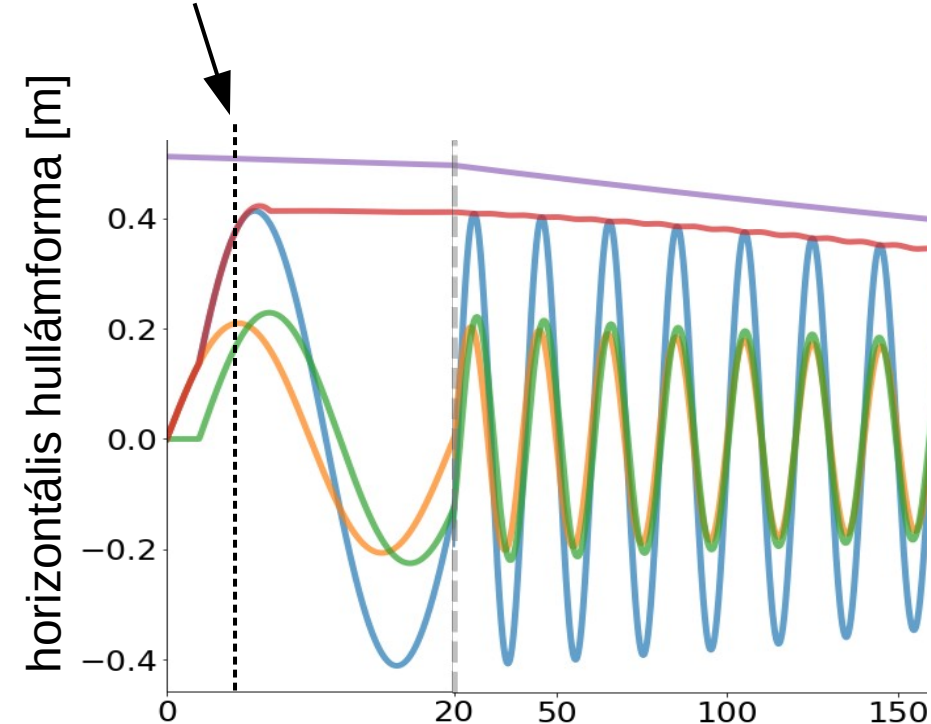


Egyenletes energiaeoszlás



# Bónusz: async. beam dump

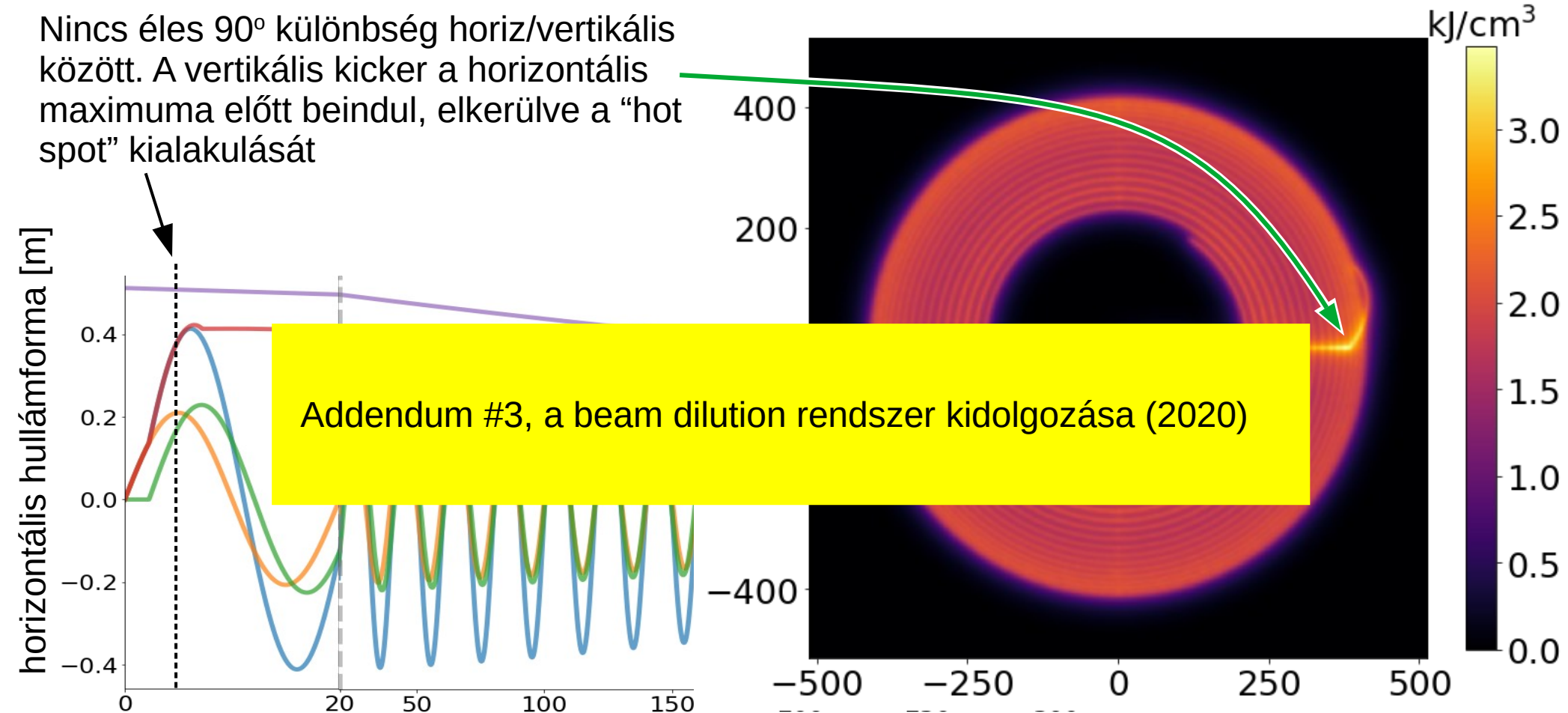
Nincs éles 90° különbség horiz/vertikális között. A vertikális kicker a horizontális maximuma előtt beindul, elkerülve a “hot spot” kialakulását





# Bónusz: async. beam dump

Nincs éles 90° különbség horiz/vertikális között. A vertikális kicker a horizontális maximuma előtt beindul, elkerülve a “hot spot” kialakulását



# Kitekintés

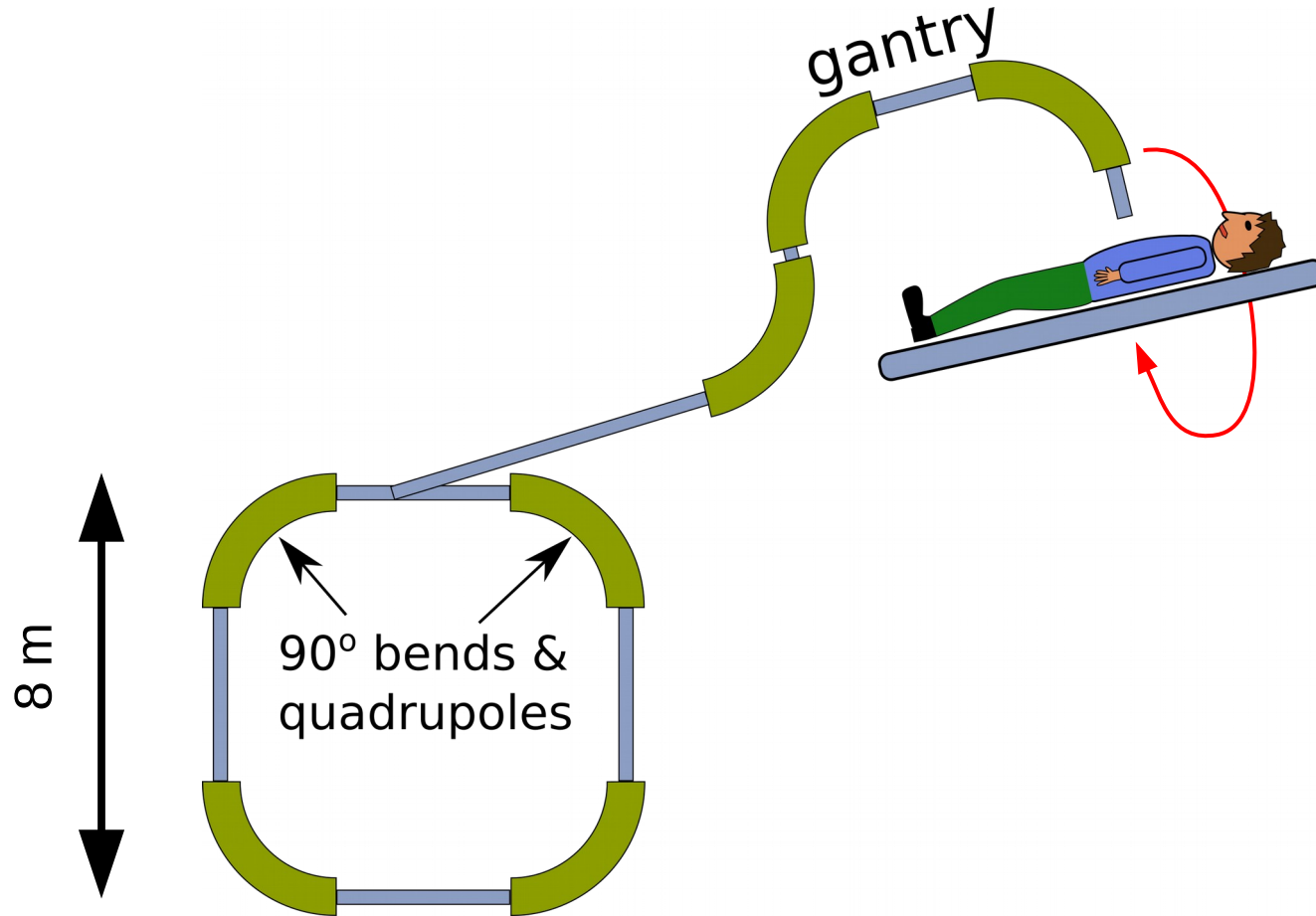
# HITRI

## Heavy Ion Therapy Research Infrastructure

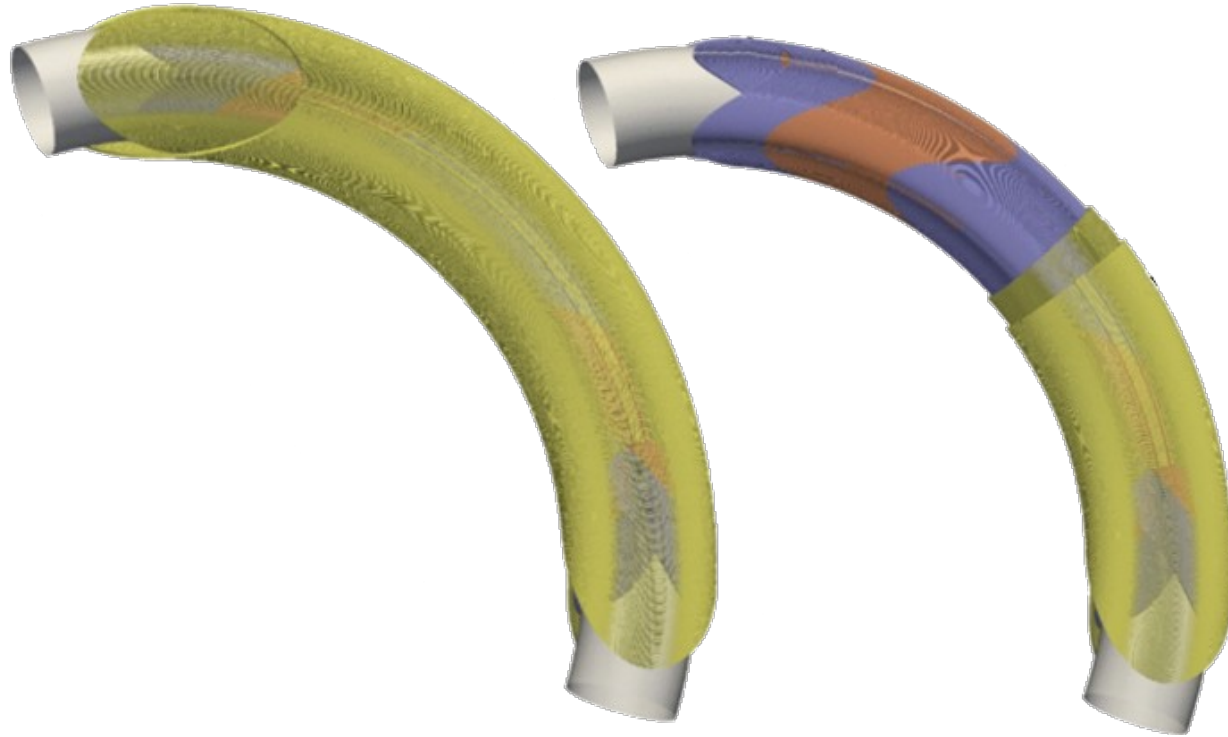
- EU-H2020 pályázat, beadás alatt
- 19 intézet, CERN vezetésével
- Célok:
  - kompakt szupravezető orvosi proton/ion szinkrotron terveinek kidolgozása (8x8 m)
  - új, olcsó hardware tervei, prototípusok (**CCT dipól & kvadrupól mágnesek, szupravezető gantry**, stb)
  - Ennek az “eszköztárnak” a licenszelése jövőbeli sugárterápiás központok számára



# HITRI nagyon sematikus elrendezés



# HITRI – CCT mágnesek



- 90 fokos
- íves
- dipól (& kvadrupól) mágnesek
- a gyűrű 4 sarkánál
- gantry egyik lehetséges megvalósítása

[https://www.researchgate.net/publication/309956941\\_Design\\_of\\_an\\_Achromatic\\_Superconducting\\_Magnet\\_for\\_a\\_Proton\\_Therapy\\_Gantry](https://www.researchgate.net/publication/309956941_Design_of_an_Achromatic_Superconducting_Magnet_for_a_Proton_Therapy_Gantry)

# HITRI

- Wigner FK szerepe
  - szupravezető nyalábkicsatoló rendszer tervezése, fejlesztése
  - a CCT mágnes prototípusok tervezésében, építésében való részvétel
- A pályázat egyik célkitűzése: olyan **európai** cégek “kinevelése”, amelyek képesek egy ilyen gyorsító, vagy az építőelemeinek tervezésére, gyártására.

# Összefoglaló

- FCC: koncepciók, tervek, szimulációk kidolgozásával sikerült bekerülnünk a “bizalom körébe”
- A költséges hardware fejlesztést
  - a CERN finanszírozza
  - itthon valósulhat meg
- Belépőként szolgált további együttműködésekhez: pl HITRI – orvosi alkalmazás
- Magyar cégeket bekapcsolhat komoly gyártási/fejlesztési projektekbe

# Köszönetnyilvánítás

- Anyagi támogatás
  - OTKA K124945
  - MTA INFRA 2019
  - NKFIH 2018-2.1.7-UK\_GYAK-2019 (Egyesült Királyságban tanuló diákok hazai nyári gyakorlata)
  - Bolyai János ösztöndíj
  - Aries & Eucard-2
  - FCC Study
- Kollégák
  - Novák Martin, Facskó Benedek, Brunner Kristóf, Szakály Marcell, Veres Dóra
  - CERN: Bajkó Márta, Glyn Kirby, Miro Atanasov, Juan Carlos Perez