



# **Kiégett fűtőelemek előéletének meghatározása gamma-spektrometriával (2. év)**

**Kirchknopf Péter**

BME fizikus MSc hallgató, Nukleáris Technika szakirány

**Kocsonya András**

MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Sugárbiztonsági Laboratórium

**Szalóki Imre**

BME Nukleáris Technika Intézet, Atomenergetika Tanszék

# Vállalt feladatok

- Fűtőelem előélet meghatározása gamma-spektrometriával, az üzemeltetési paraméterek ismerete nélkül



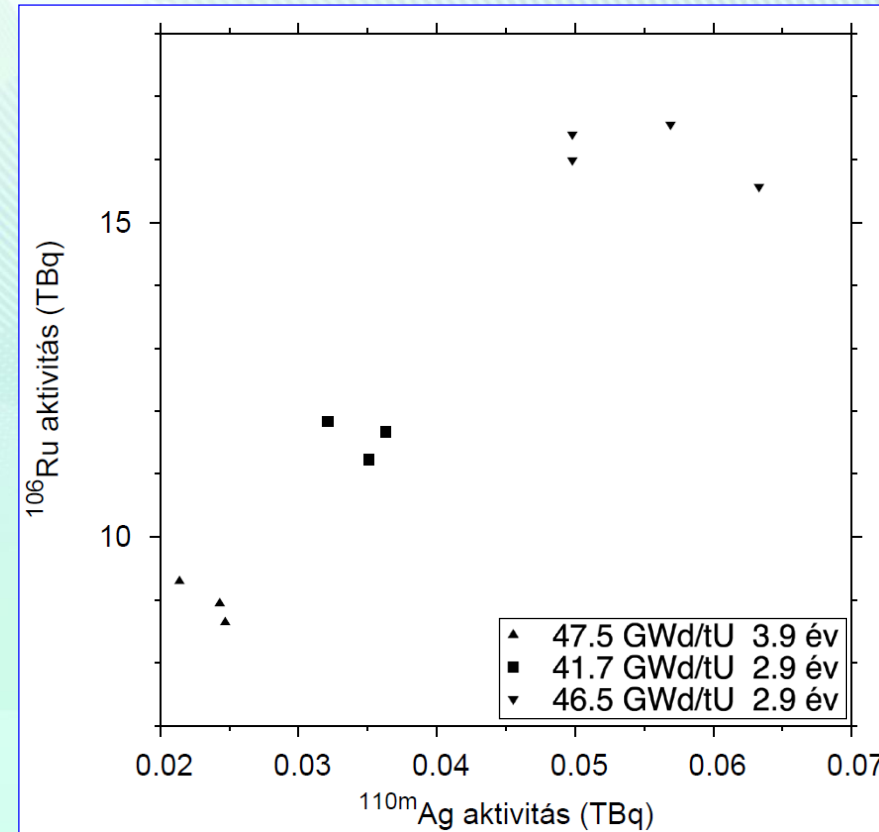
Safeguards szempont, az operátor állításának ellenőrzése

Előélet jelentése: kampányok száma, időpontja, időtartama, kiégés

- Hasadási termékek aktivitásának számítása erre alkalmas programmal
- Kiértékelés: feltevések a kazetta előéletre, számítások végzése, paraméterek módosítása az eredmények egyezéséig

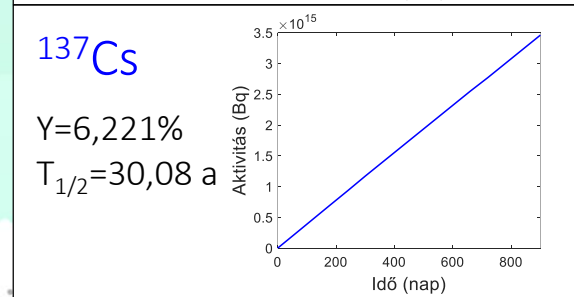
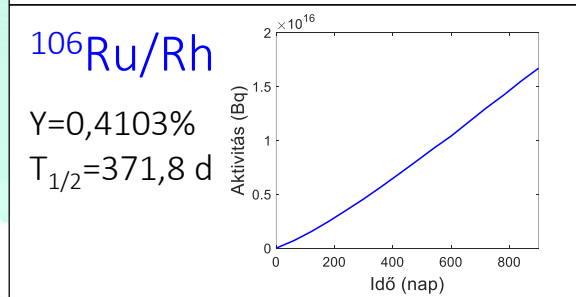
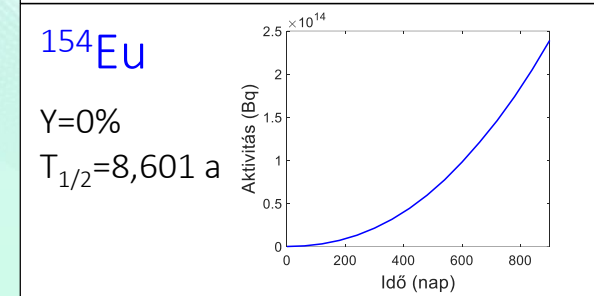
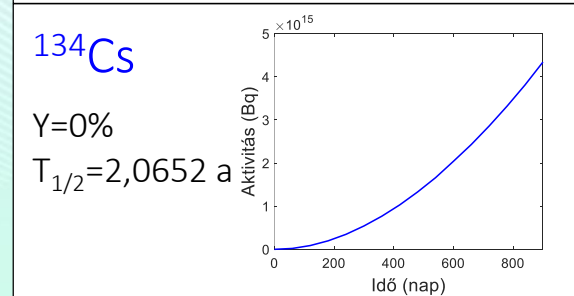
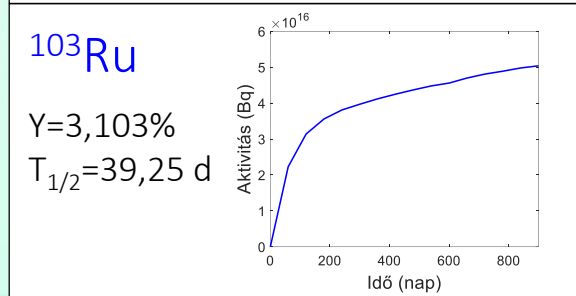
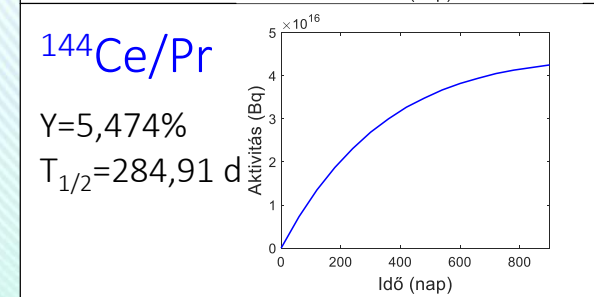
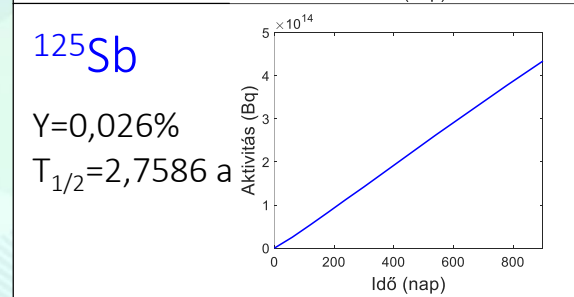
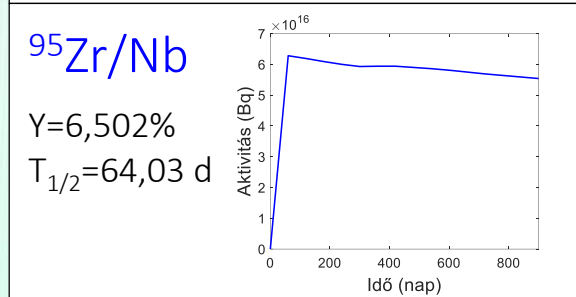
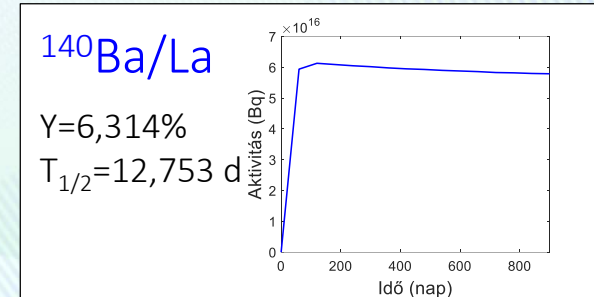
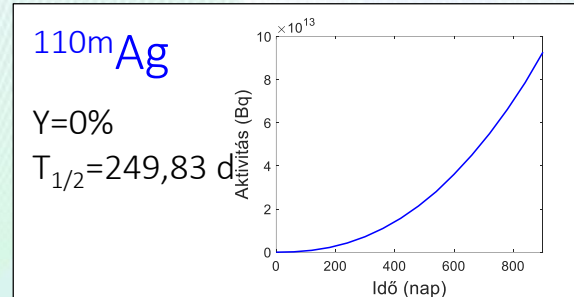
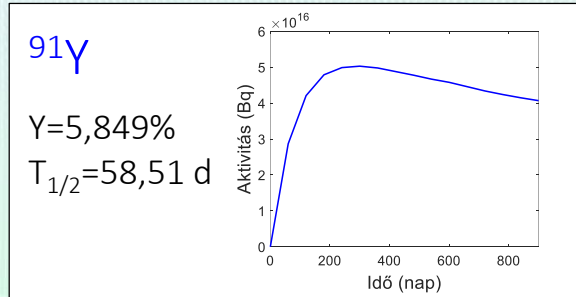
Nuklidok aktivitásai: N-dimenziós térbeli pont

Az aktivitások **2 dimenziós korrelációi** is függenek a kazetta előlelettől



Forrás: Kocsonya András, *Kiégett fűtőelemek előéletének meghatározása gamma-spektrometriával*, 2016.

# A számításokban használt nuklidok



$Y$ :  $^{235}\text{U}$  termikus hasadására vonatkozó kumulált hasadási hozam

$X$  tengely: 900 nap besugárzási idő

# Az Origen 2.2 számítógépes kód

Bateman-egyenletek megoldása mátrix exponenciális módszerrel

Input: teljesítmény vagy neutronfluxus, besugárzás és hűlés időbeli szerkezete

Output: nuklidok aktivitása és/vagy mennyisége a megadott időpontokban

A számított értékek ellenőrzése:

120 kg U üzemanyag

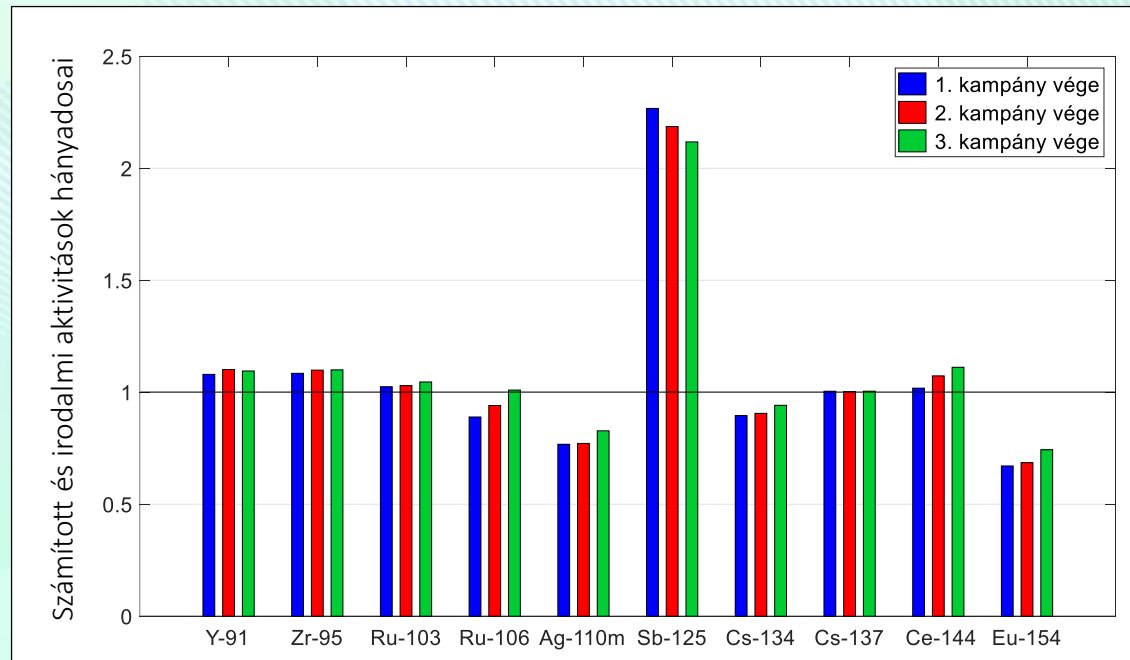
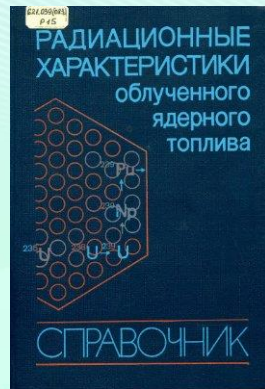
3,6% dúsítás

300 napos kampányok

1375 MW reaktor-teljesítmény

Referencia adatok forrása:

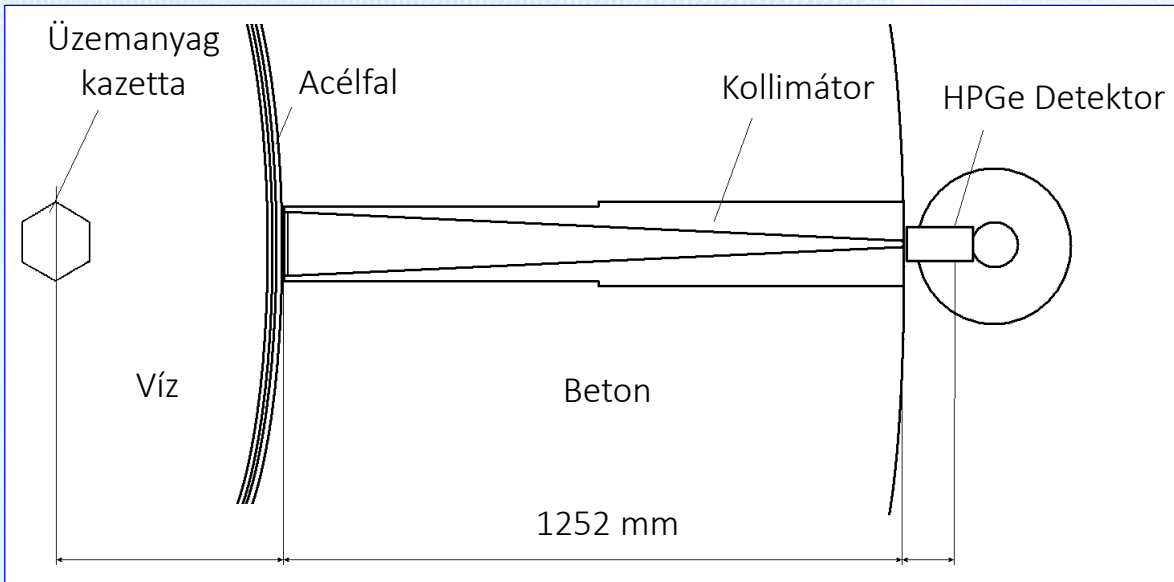
V. M. Колобашкин et al,  
Радиационные  
характеристики  
облученного ядерного  
топлива  
(Besugárzott nukleáris  
üzemanyagok sugárzási  
karakterisztikái), 1983.



Irodalmi adatok és az Origen számítások összehasonlítása

# A számítások validációja MCNP-vel

Fluxus-adatok forrása:  
Paksi Atomerőmű RFO



*Forrás: Kocsonya András, Kiegészített fűtőelemek előéletének meghatározása gamma-spektrometriával, 2016.*

Origen input: besugárzás és hűlés paramétereit

Origen output: aktivitások

MCNP input

Gamma-spektrum mérések szimulálása MCNPX-el

Input 1

F1

Sugárforrás

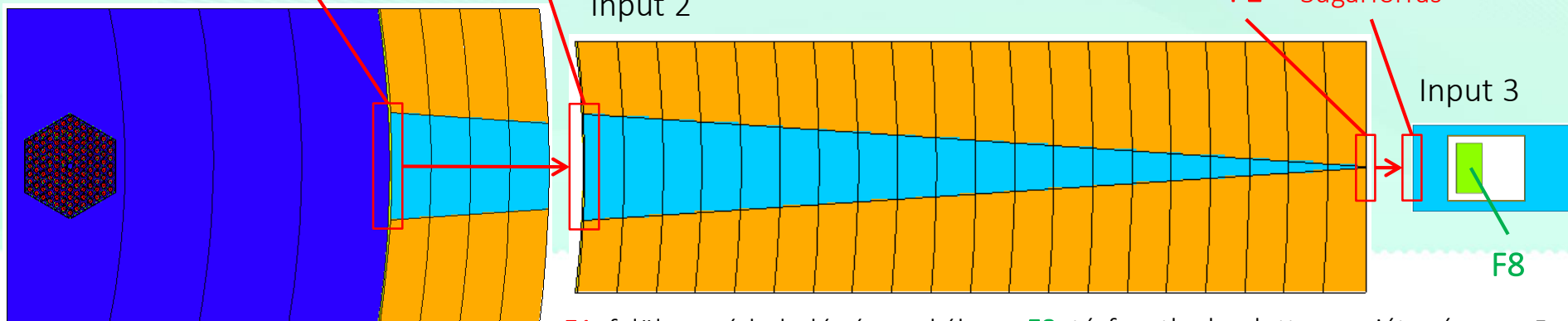
Input 2

F1

Sugárforrás

Input 3

F8

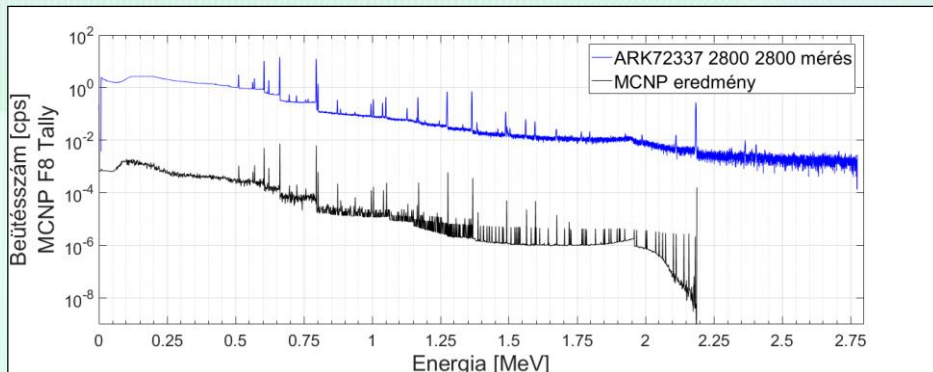


**F1:** felületen áthaladó részecskék számát méri (1 keV felbontással)

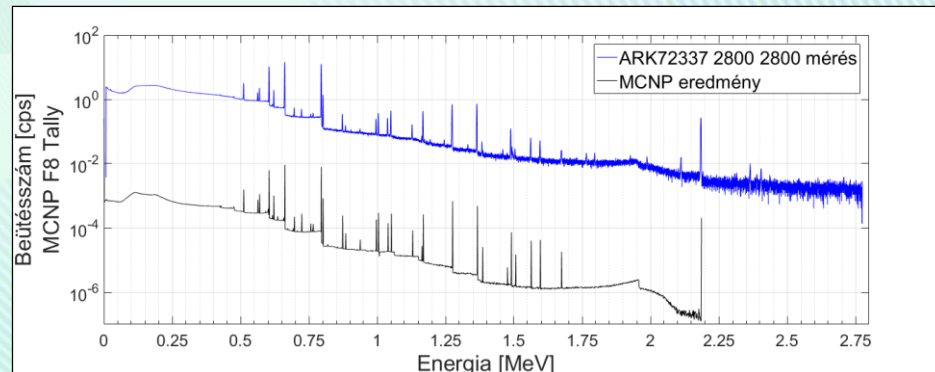
**F8:** térfogatba leadott energiát mér (1 keV felbontású gamma-spektrum)

# Gamma-spektrumok összehasonlítása

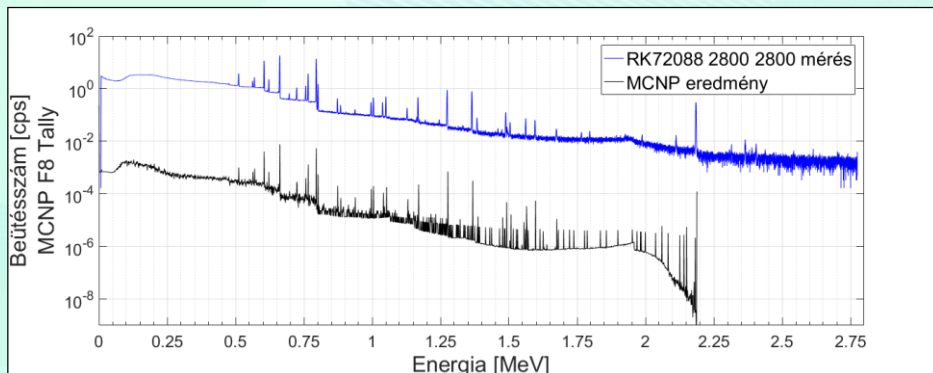
ARK72337 kollimátorral  
számított



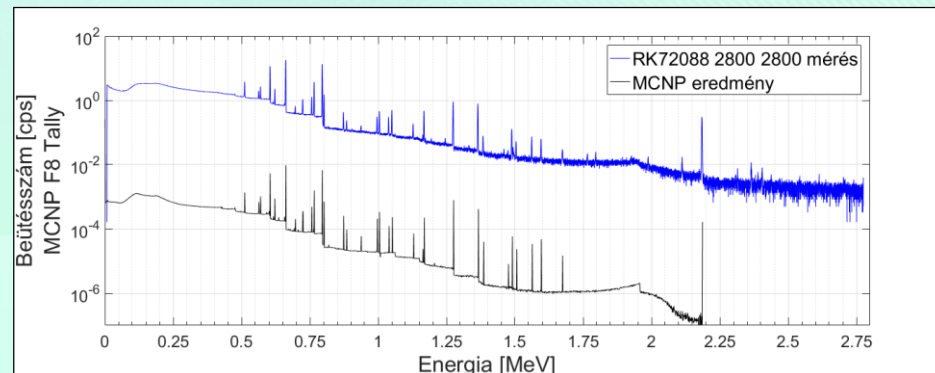
ARK72337 kollimátor nélkül  
számított



RK72088 kollimátorral  
számított



RK72088 kollimátor nélkül  
számított

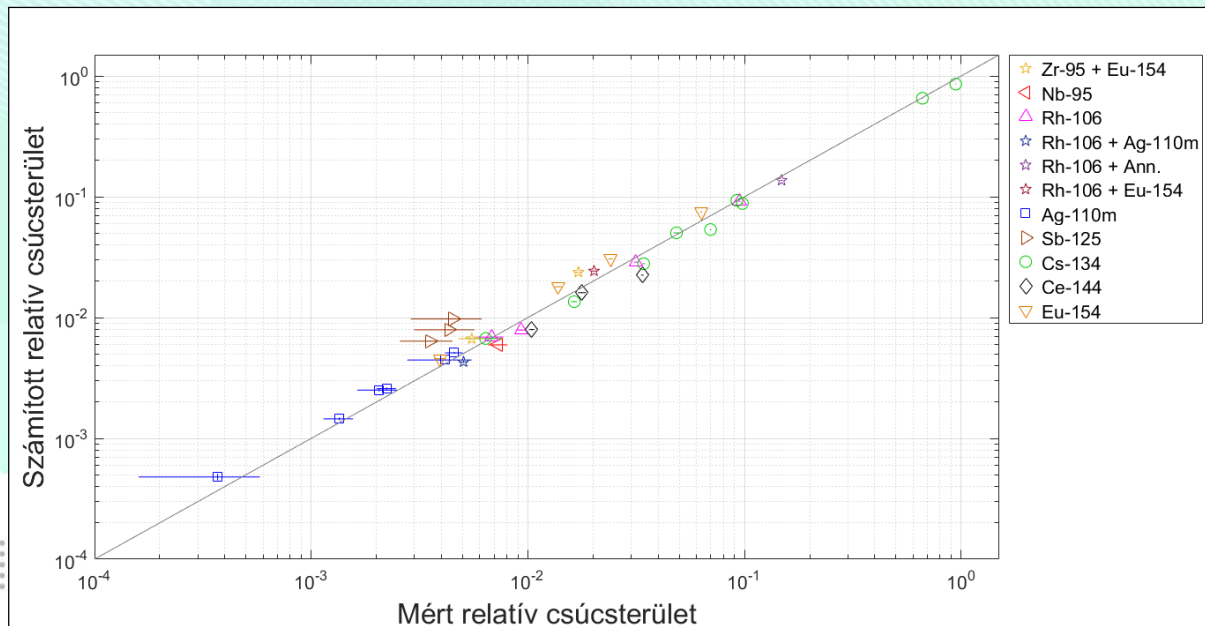
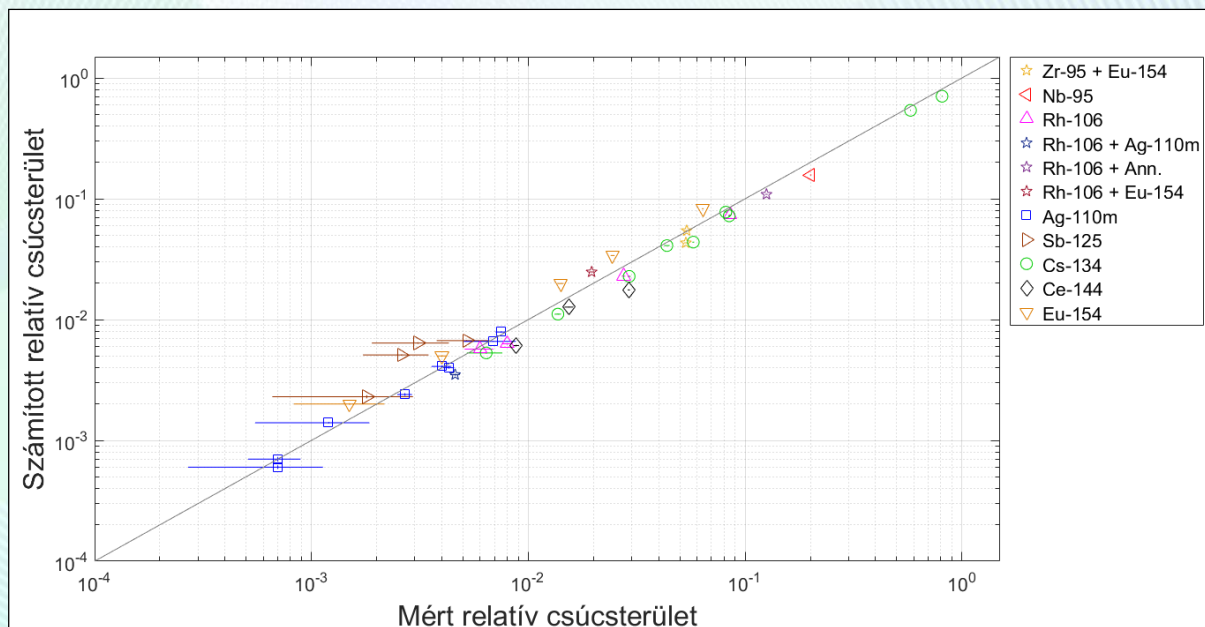


# Relatív csúcsterületek összehasonlítása

ARK72337 kollimátor  
nélkül számított

Relatív csúcsterület:  
 $^{137}\text{Cs}$  661,7 keV  
vonalának csúcsterületére normált

RK72088 kollimátor nélkül  
számított

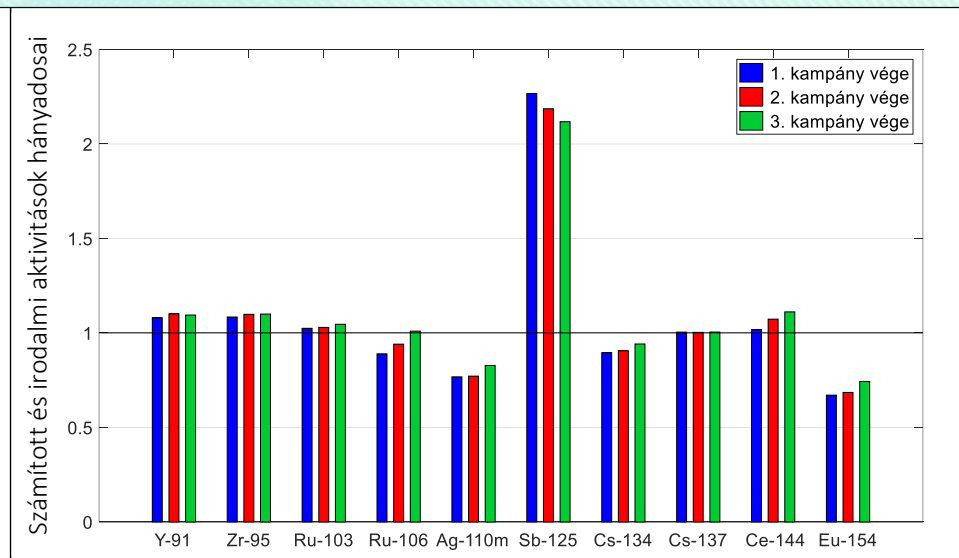
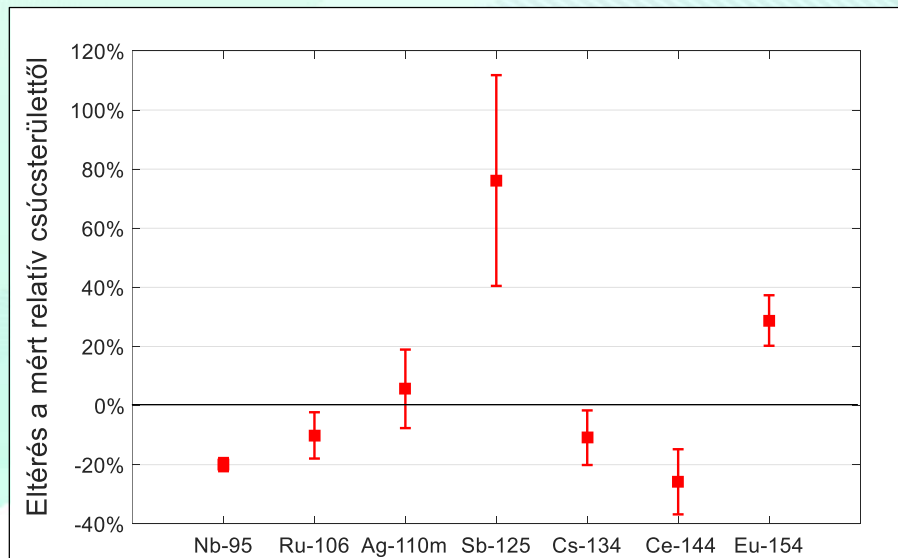


# Korrektíós faktorok

Nuklid	Faktor	Szórás	Rel. szórás (%)	Csúcsok száma
$^{95}\text{Nb}$	1,2501	0,0347	2,8	2
$^{106}\text{Ru}$	1,1196	0,0972	8,7	8
$^{110m}\text{Ag}$	0,9605	0,1214	12,6	14
$^{125}\text{Sb}$	0,5912	0,1364	23,1	7
$^{134}\text{Cs}$	1,1333	0,1158	10,2	18
$^{144}\text{Ce}$	1,3722	0,2008	14,6	6
$^{154}\text{Eu}$	0,7795	0,0521	6,7	9

Faktor = (mért) / (számított)  
relatív csúcsterület hányadosok  
átlaga

Az Origen számítások eredményeit  
ezekkel az értékekkel megszorozva  
korrigáljuk







# A korrekciós faktorok szórásának hatása az aktivitásokra

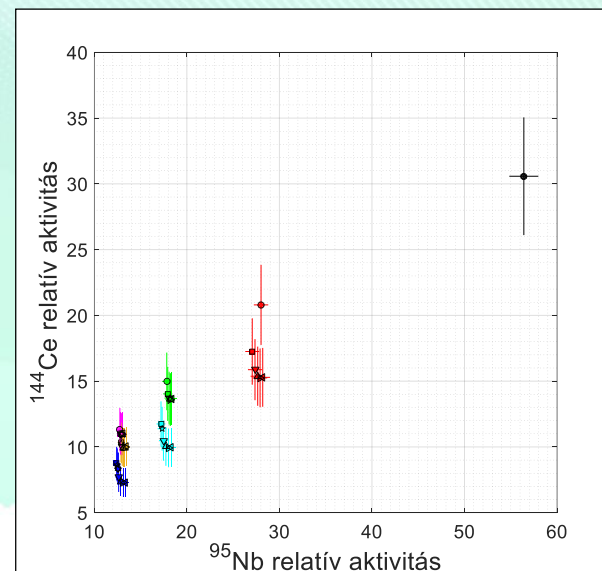
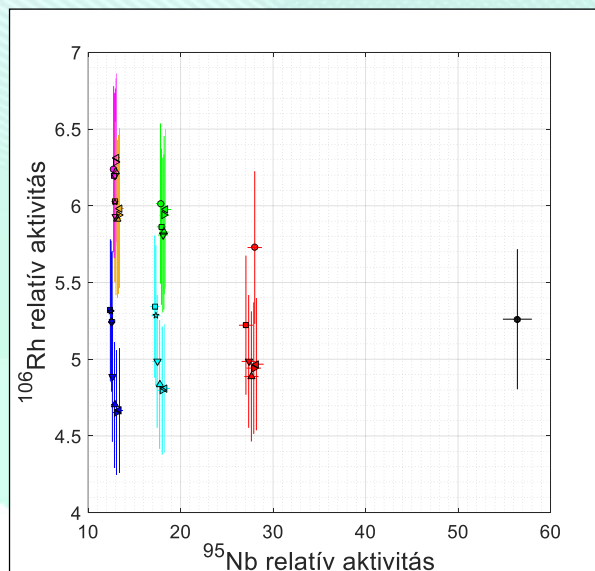
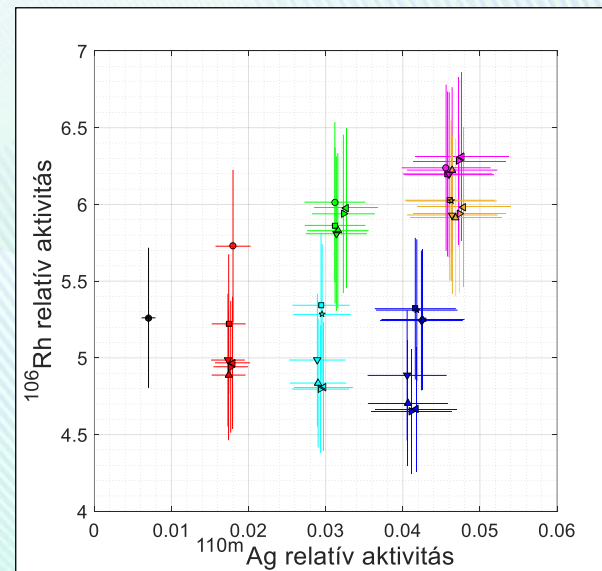
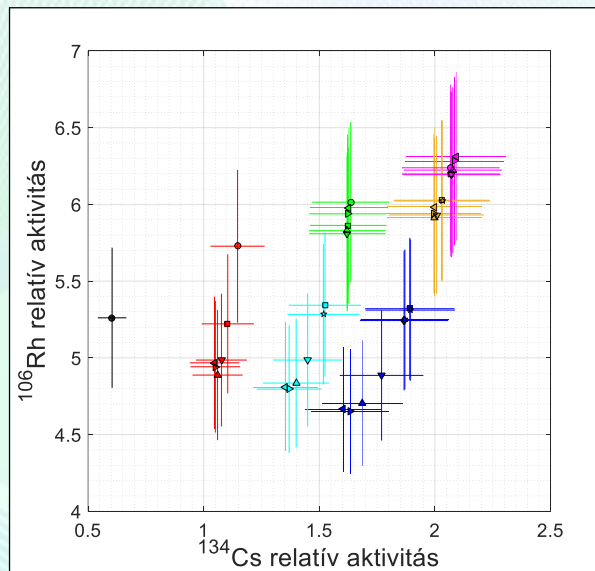
A faktorok bizonytalansága elmosza a különböző előéletek közötti különbségeket

Az üzemelt kampányok száma, valamint az „előélet csoportok” még megállapíthatóak

(kivéve az  $1(n \times 0)111$  és  $11(n \times 0)11$  csoportokat)

Jelölések:

1,  $1(n \times 0)1$ ,  $1(n \times 0)11$ ,  
 $11(n \times 0)1$ ,  $1(n \times 0)111$ ,  
 $11(n \times 0)11$ ,  $111(n \times 0)1$



# Különböző kazetta-teljesítmény hatása az aktivitásokra

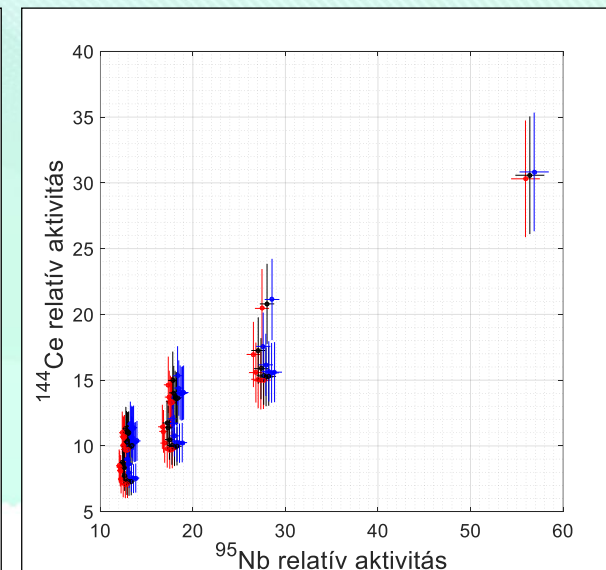
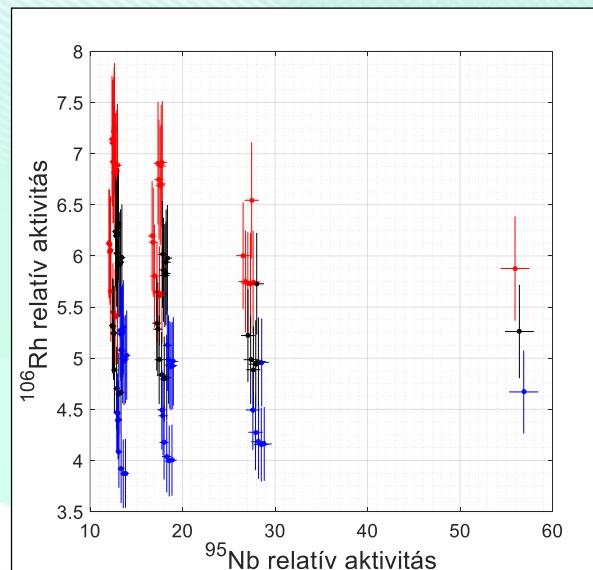
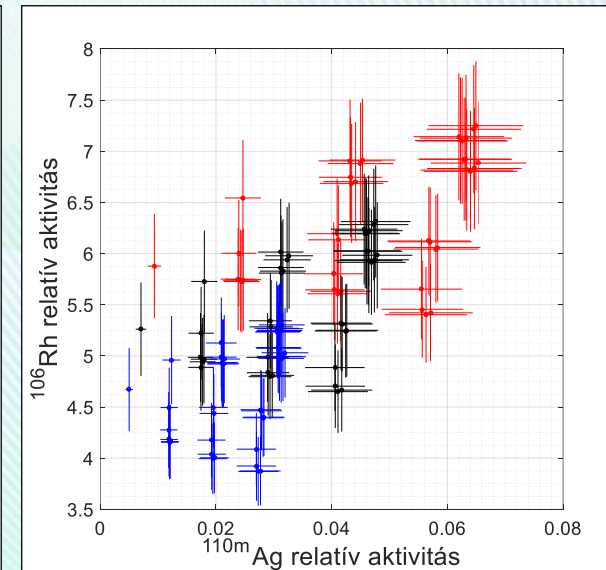
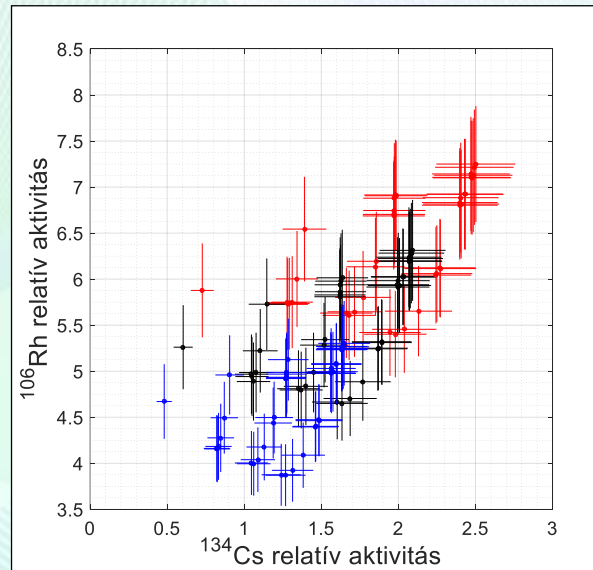
A kazetta-teljesítmény ismeretének hiányában a pontok még jobban összemosódnak

Ilyen módon a teljesítményre nehéz becslést adni

A kampánytörténet meghatározásának szempontjából a  $^{95}\text{Nb}$ – $^{144}\text{Ce}$  aktivitás korreláció a legalkalmasabb

Jelölések:

- 80% teljesítmény
- 100% teljesítmény
- 120% teljesítmény



# Különböző kezdeti dúsítás hatása az aktivitásokra

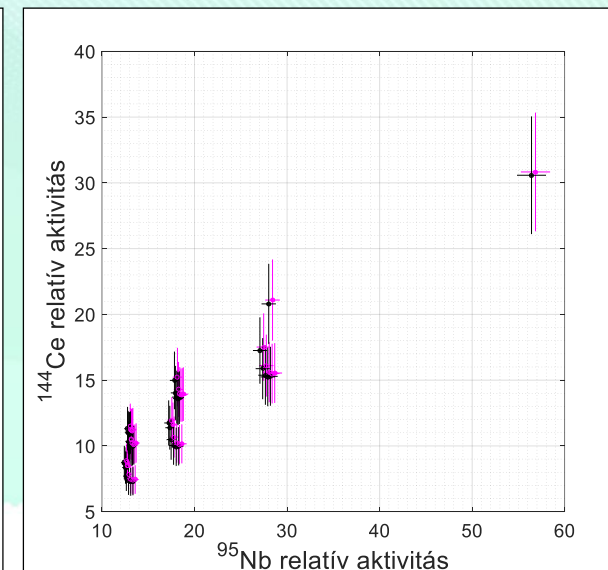
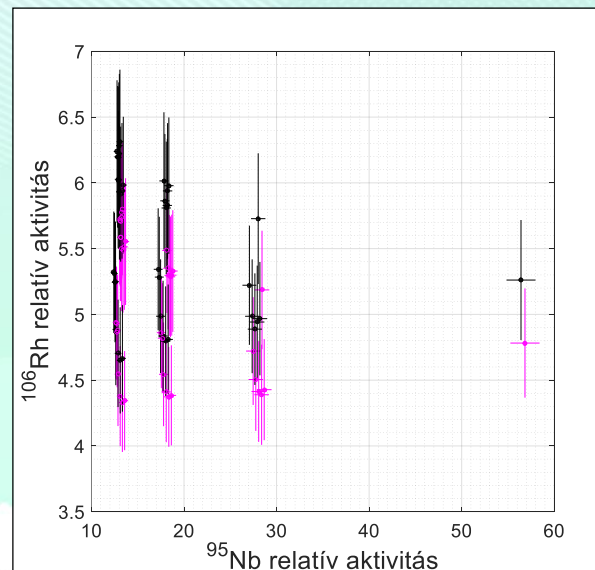
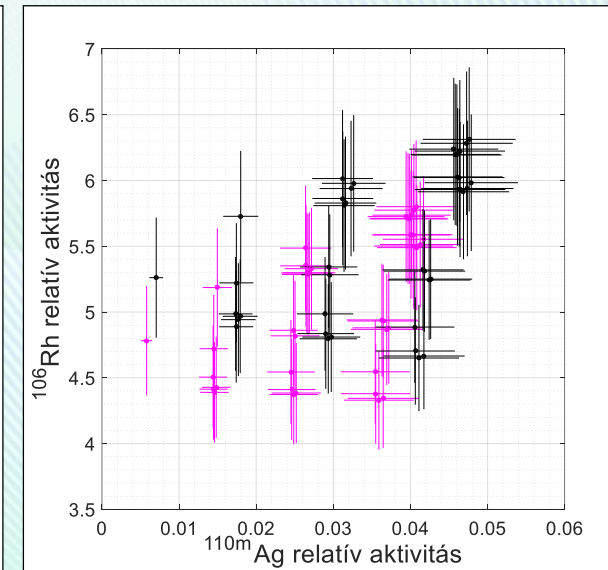
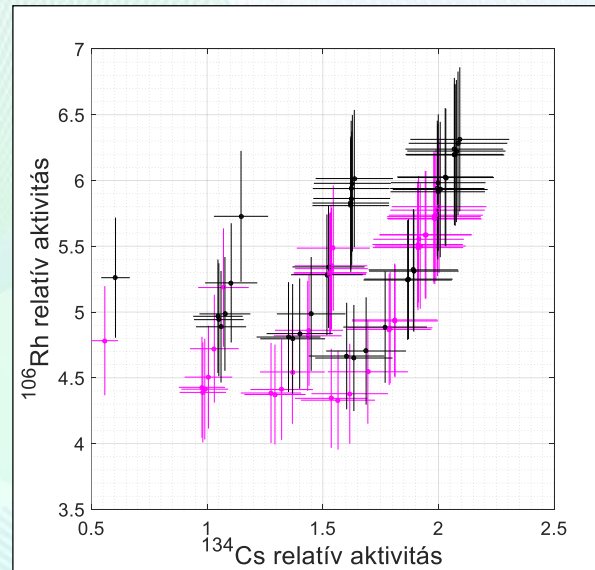
A kezdeti dúsítás 4,2%-ra növelése kb. 10%-os teljesítmény csökkenésnek felel meg

Jelentőség: hibásan jelzett kazetta (megtörtént eset\*)

\*Csom Gyula: Atomerőművek Üzemtana II/3, 366-367. oldal

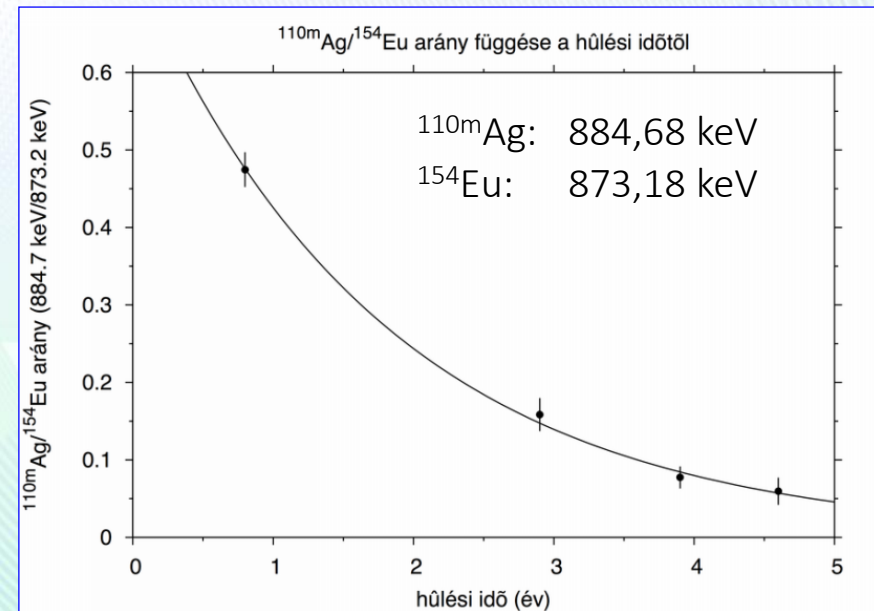
Jelölések:

- 3,8% dúsítás
- 4,2% dúsítás



# Mért aktivitások visszaszámítása

- Számítások: utolsó kampány vége, nincs hűlési idő
- Mérés: az üzem vége után ismeretlen hosszú hűlési idő

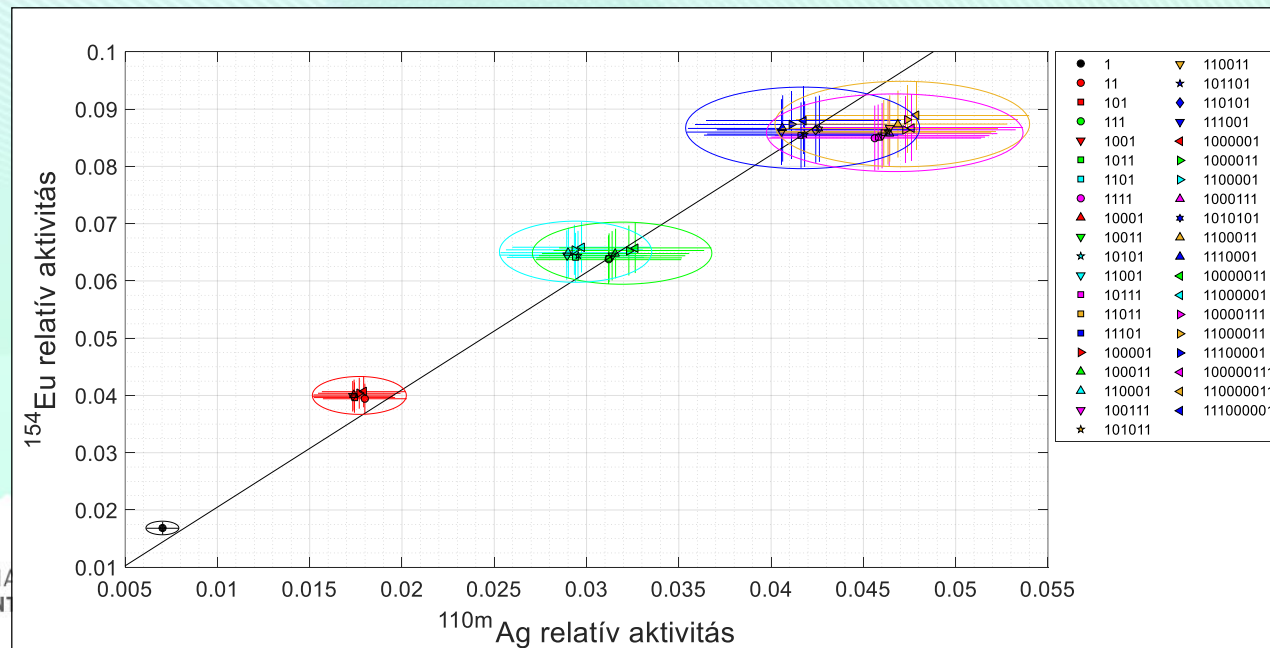


Az aktivitásokat az üzem végére vissza kell számítani!

Forrás: Kocsonya András, *Kiégett fűtőelemek előéletének meghatározása gamma-spektrometriával*, 2016.

Az  $^{110m}\text{Ag}/^{154}\text{Eu}$  arány az eltérő előéletek között keveset változik

Ismeretlen előélet esetén jól használható a hűlési idő meghatározására



# Összefoglalás

- Megadtuk a módszer használatának szempontjából alkalmas nuklidok körét
- Az aktivitások számítására az Origen 2.2 nevű programot használtuk
- Az aktivitás számítások eredményeit összevetettük az irodalomban lévő és a saját mérési adatokkal
- Az MCNP szimulációk alapján korrekciós faktorokat határoztunk meg
- Sok különböző előéleti scenáriót számításba véve megvizsgáltuk a módszer érzékenységét
- Megvizsgáltuk a kiégett kazetták hűlési idejének egy mérési lehetőségét ismeretlen előélet esetén

# Folytatási lehetőségek

- A módszer alkalmazhatóságának vizsgálata az eddig megmért kiégett kazettákra
- Számítások végzése különböző kampány időtartamokra, C15 kampányokra átállás közben üzemelő kazetták vizsgálata
- Számítások pontosítása, korrekciós faktorok szórásának csökkentése

**Köszönjük a Paksi Atomerőmű ZRt. Reaktorfizikai  
Osztálynak a neutronfluxus-adatokat.**

**Köszönjük az OAH „Atomenergia biztonságos  
alkalmazásának hatósági ellenőrzését szolgáló műszaki  
megalapozó tevékenység (ABA MMT)” program  
támogatását.**

**Köszönöm a figyelmet!**