



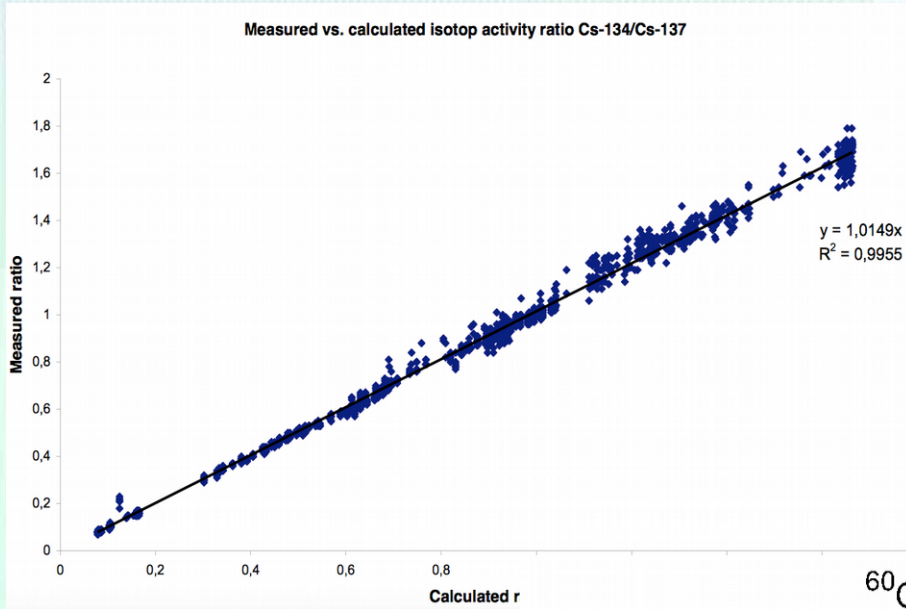
MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA **ENERGIATUDOMÁNYI KUTATÓKÖZPONT**

Kiégett fűtőelemek előéletének meghatározása gamma- spektrometriával

Kocsonya András

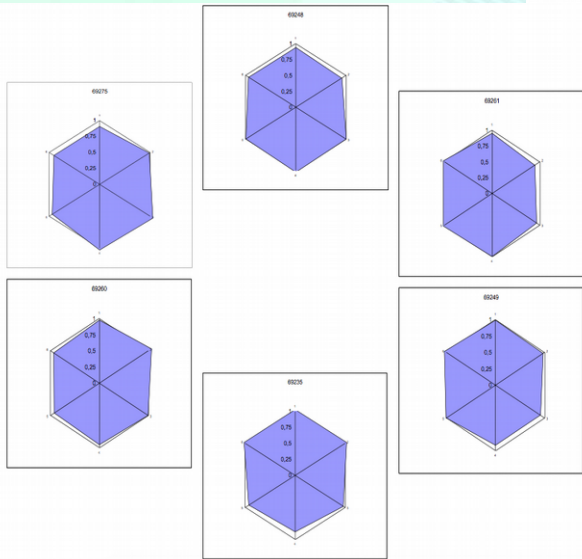
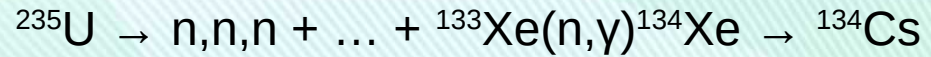
MTA Energiatudományi Kutatóközpont
Sugárbiztonsági Laboratórium

Előzmény: kiégés mérése

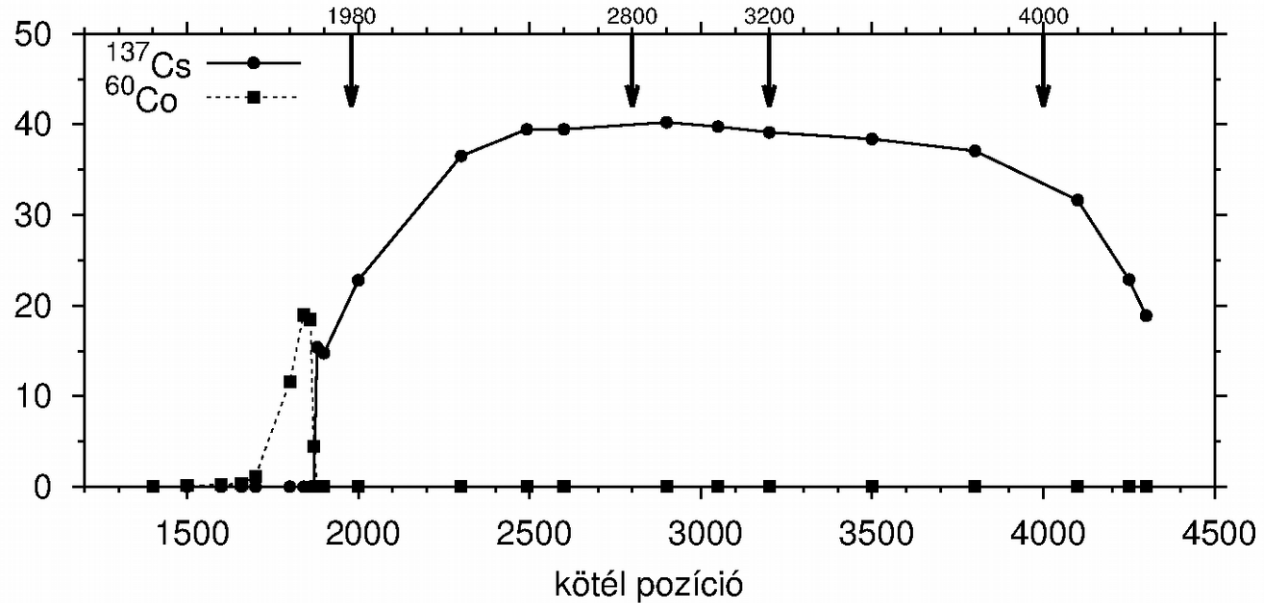


BU \sim ^{137}Cs aktivitás

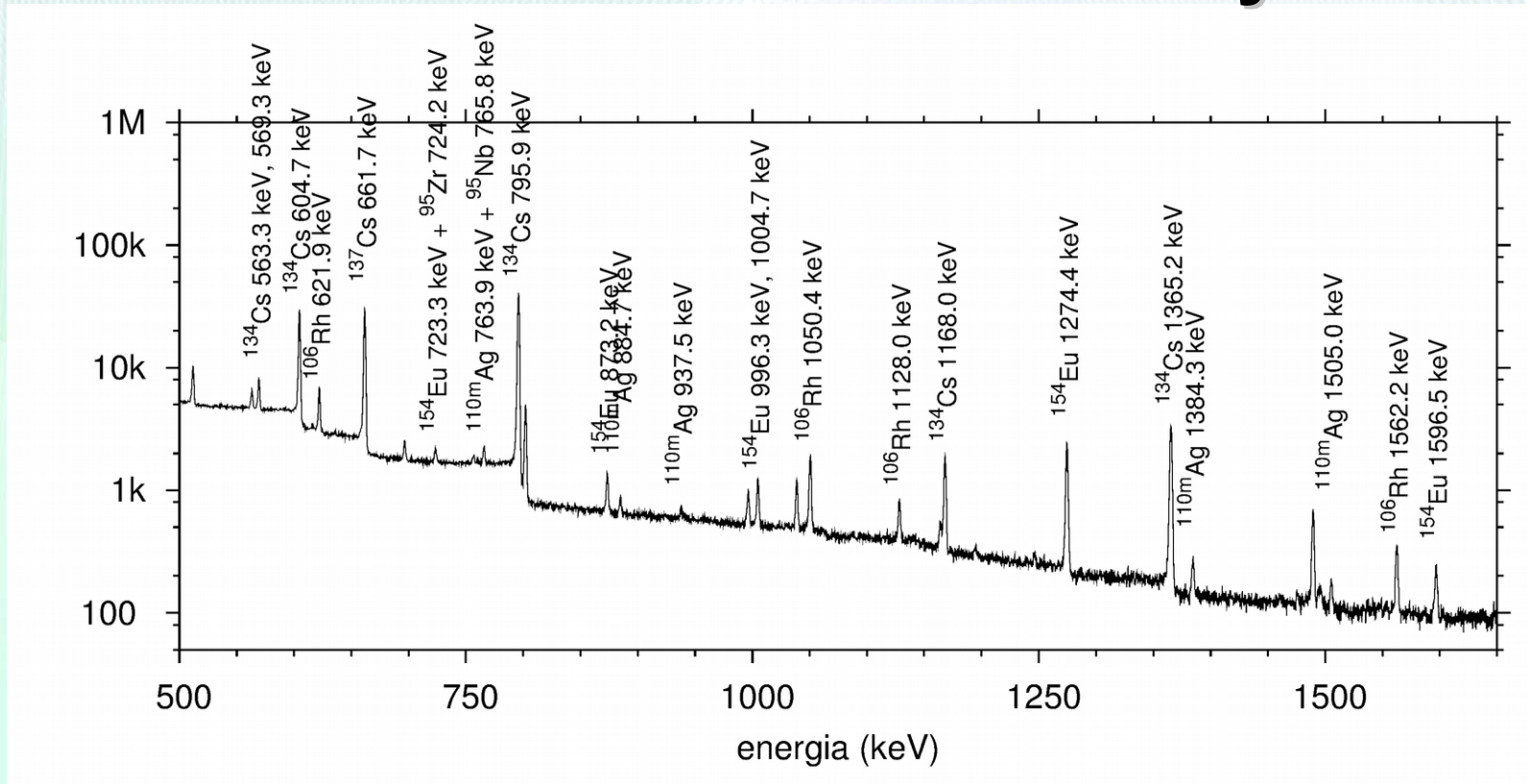
BU \sim $^{134}\text{Cs}/^{137}\text{Cs}$ aktivitásarány



^{60}Co és ^{137}Cs intenzitás a kazetta hossza mentén



„Melléktermék”: további hasadványok



2016-os cél: A hasadási termékek gamma-spektroszkópiai mérése kísérleti technikájának kidolgozása

Távolabbi cél: kiégett fűtőelemek előéletének meghatározása a hasadási termékek alapján

→ Safeguards-ban alkalmazható ellenőrzési technika kidolgozása

A hasadási termékek gamma-spektroszkópiai mérésének kísérleti technikája

A mérési eljárás kidolgozása

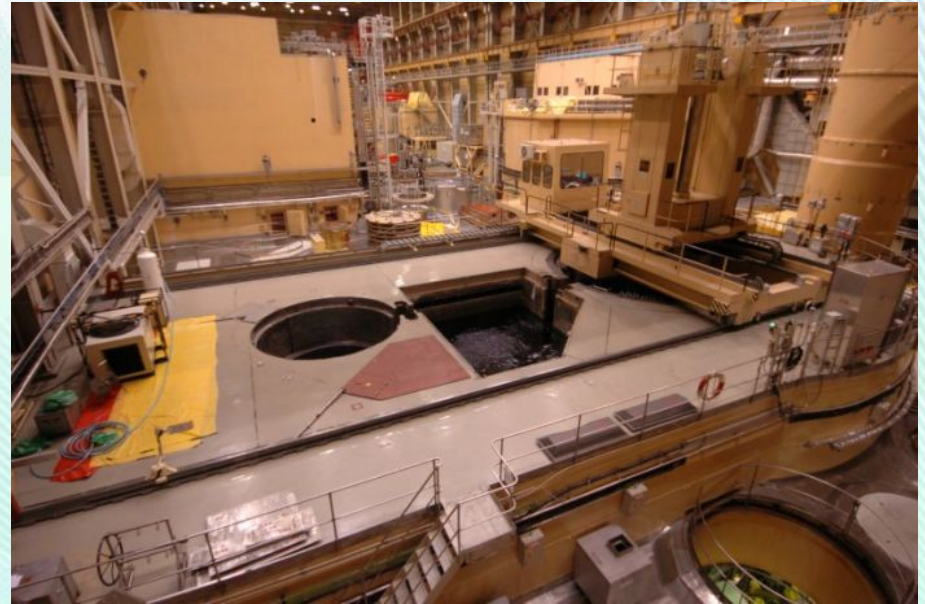
- mérhető nuklidok köre, mit hogyan határozunk meg
- mérőberendezés kalibrációja
- mérési körülmények optimalálása
- pontosság, kimutatási határok

Empirikus megfigyelések a 2015-16-os mérések
alapján

- hasonlóság-különbözőség jellemzése
- korrelációk a hasadási termékek aktivitásai között
- a kazetta kiegészítési folyamatára vonatkozó megfigyelések

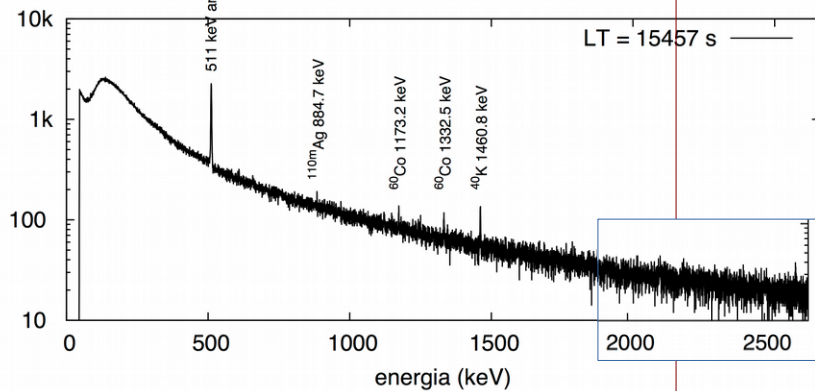
Jövőbeli tervek, kilátások

Mérési elrendezés



Title:kiil2gll2smll2rll2es_fellElnl2zet.eps
Creator:GIMP PostScript file plugin V 1,
CreationDate:Wed Aug 17 10:50:08 2016
LanguageLevel:2

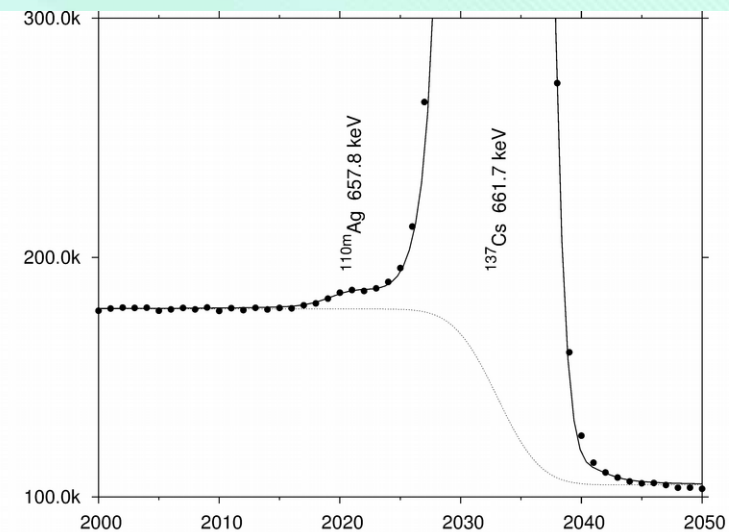
a 2016. évi kiégett kazetta mérések háttér összspektruma



A kimutatott hasadási termékek

Analízisre használt vonalak

nuklid (év)	felezési idő	megjegyzés	energia (keV)	gyakoriság (%)
^{137}Cs	30.07 év		661.7 keV	85.1
^{154}Eu	8.593 év		996.26 keV	10.60
^{125}Sb	2.7582 év		635.95 keV	11.31
^{134}Cs	2.0648 év		795.86 keV	85.53
^{106}Ru	373.59 nap		884.68 keV	72.20
^{144}Ce	284.19 nap		1050.39 keV	1.56
$^{110\text{m}}\text{Ag}$	249.79 nap		1489.16 keV	0.278
^{95}Zr	64.02 nap	csak a 0.8 év hűlési idejű kazettákban mértük	765.79 keV	100.0
^{91}Y	58.51 nap	csak a 0.8 év hűlési idejű kazettákban mértük	497.08 keV	90.9
^{103}Ru	39.26 nap	csak a 0.8 év hűlési idejű kazettákban mértük		



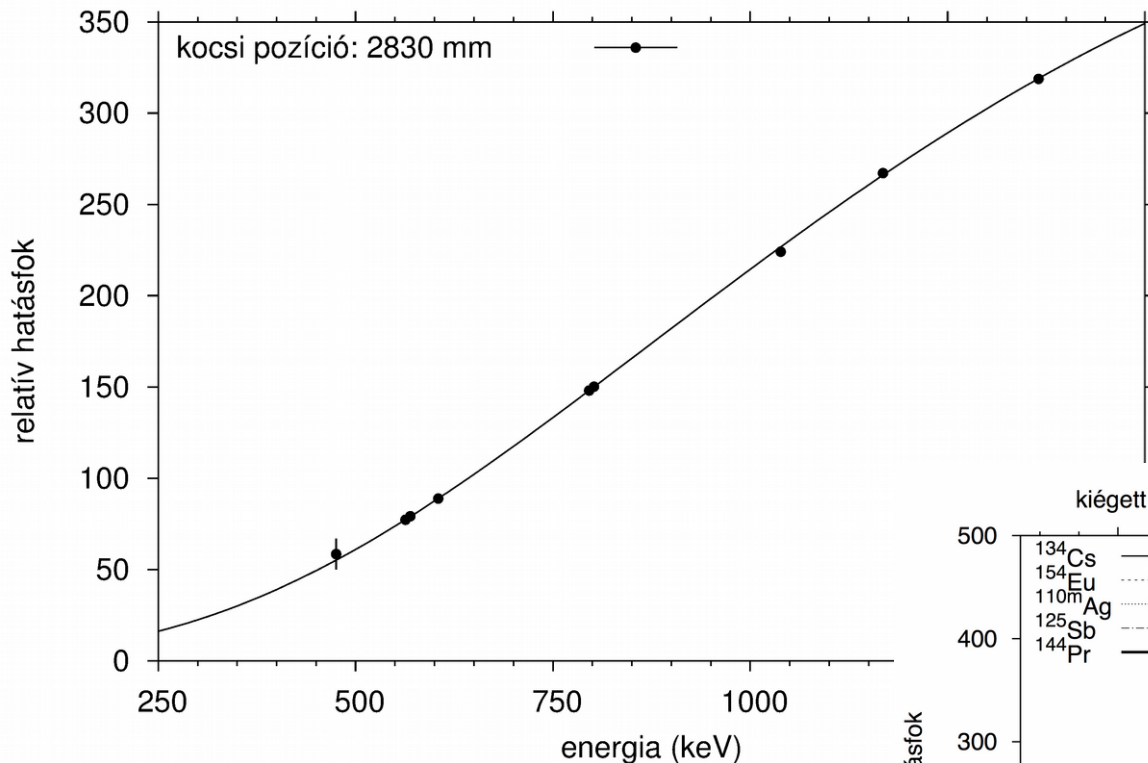
hatásfokkalibráció

A ^{134}Cs gamma-vonalai

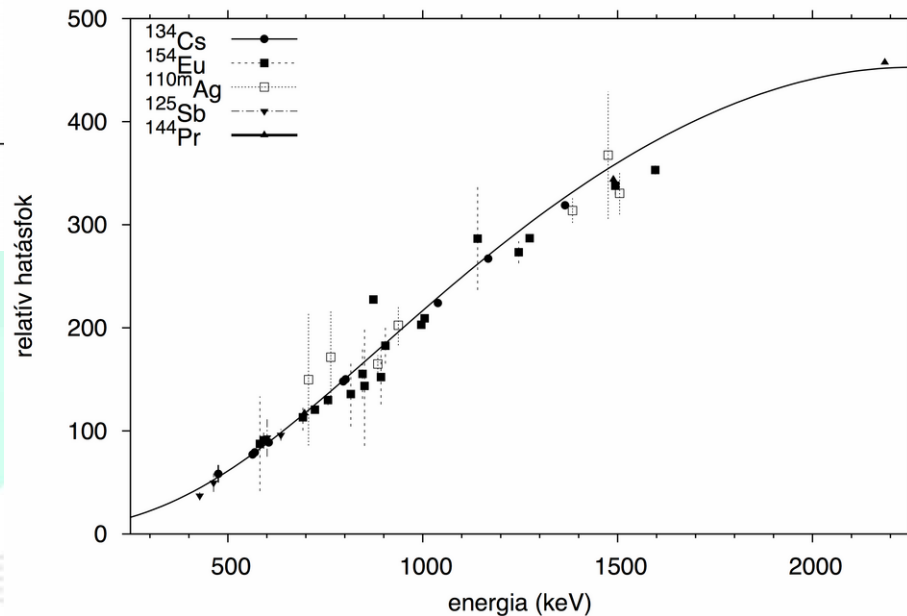
energia (keV)	gyakoriság(%)
475.37	1.49
563.35	8.35
569.35	15.38
604.72	97.62
795.86	85.53
801.95	8.69
1038.61	0.99
1167.97	1.79
1365.19	3.01

kiégett kazetta mérés hatásfokkalibrációja ^{134}Cs gamma-vonalakkal

kocsi pozíció: 2830 mm



kiégett kazetta hatásfokkalibrációja: további nuklidok bevonása



Hatásfokkalibráció – analitikus leírás

$$\varepsilon(E) = \varepsilon_{\text{int}}(E) \times T(E) \times SA(E)$$

$\varepsilon_{\text{int}}(E)$

a detektor saját (intrinsic) hatásfoka

$T(E)$

a kazetta és a detektor közötti vízréteg átérésztése

$SA(E)$

a kazetta önabszorpciója

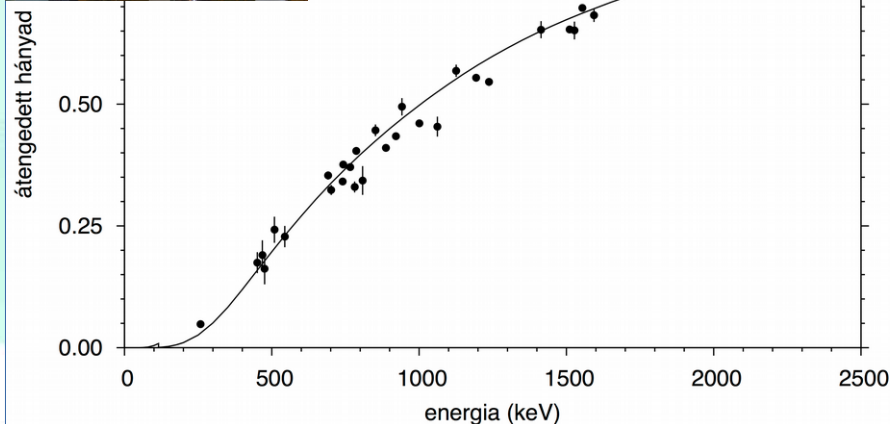
$$SA(E) = SA_{\text{d}}(E) \times SA_{\text{W}}^{\kappa}(E)$$

$SA_{\text{d}}(E)$ a szárazon levő kazetta önabszorpciója

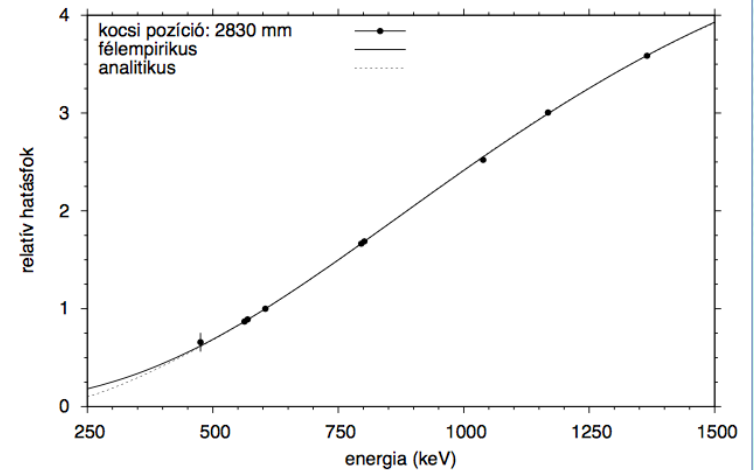
$SA_{\text{W}}^{\kappa}(E)$ a kazettát kitöltő víz járuléka az önabszorpcióhoz



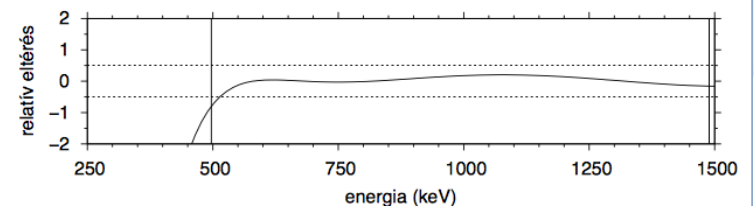
friss kazetta önabszorpciója



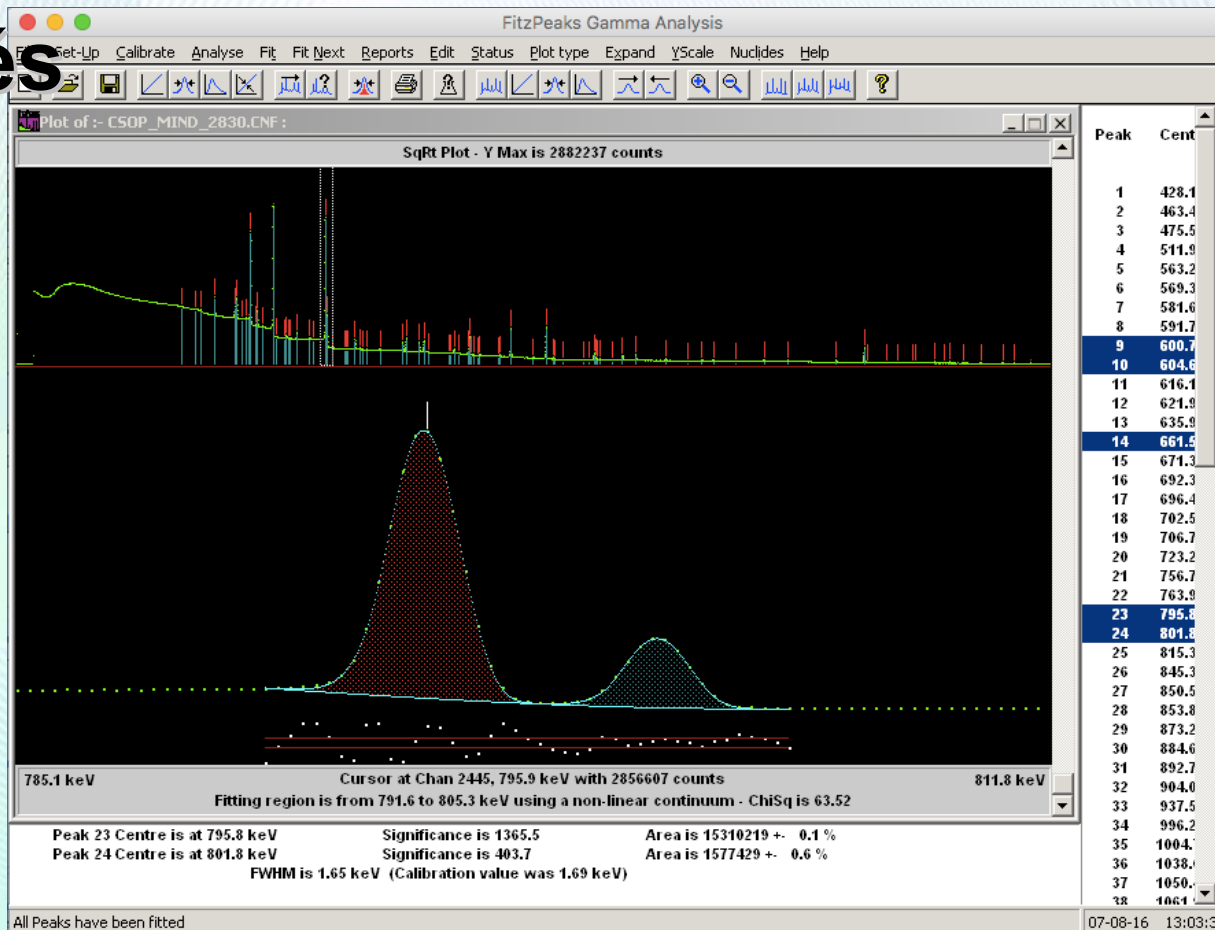
kigéett kazetta mérés hatásfokkalibrációja -- félempirikus és analitikus formula



az analitikus és a félempirikus hatásfokfüggvény relatív eltérése



Spektrumértékelés

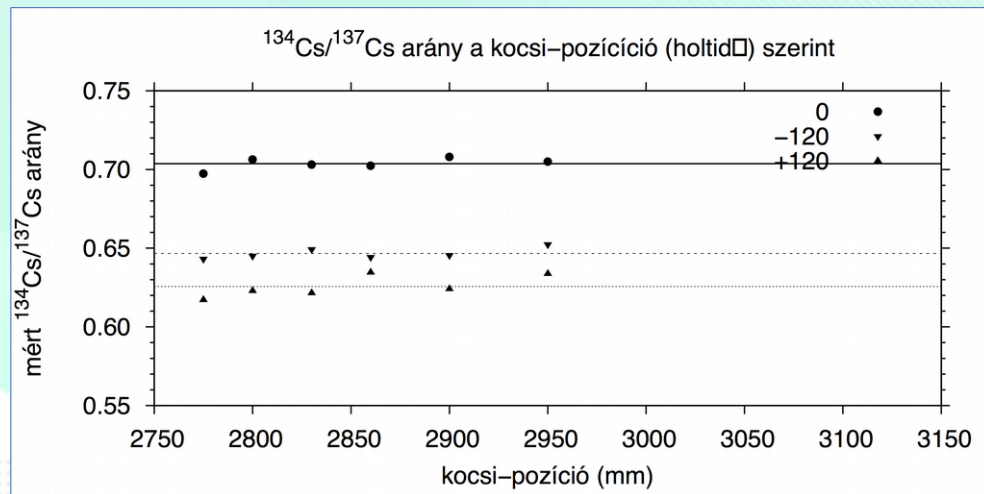
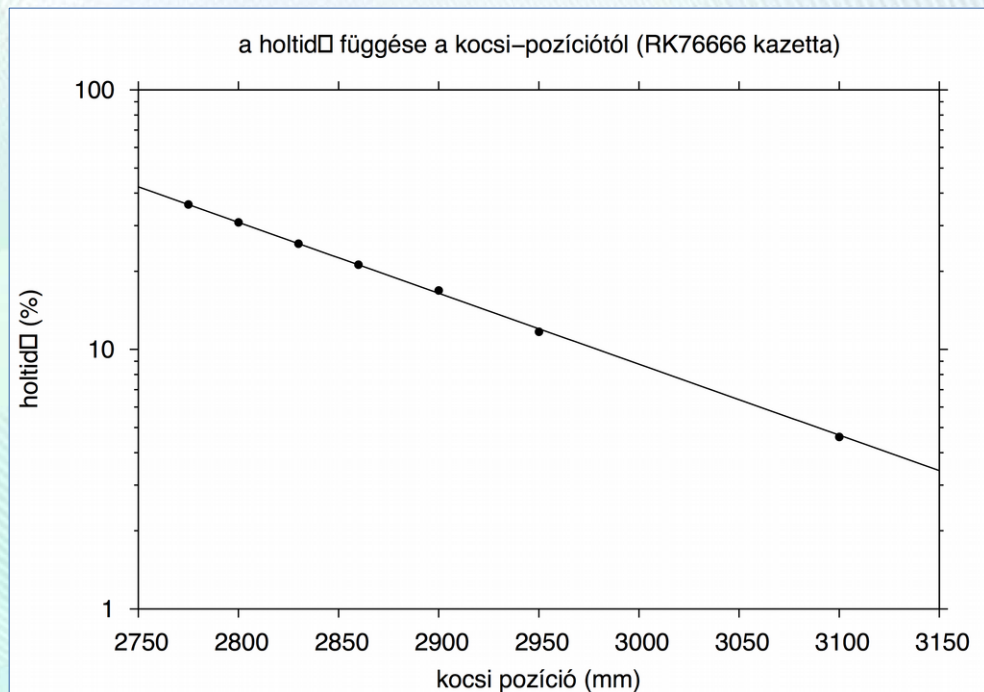
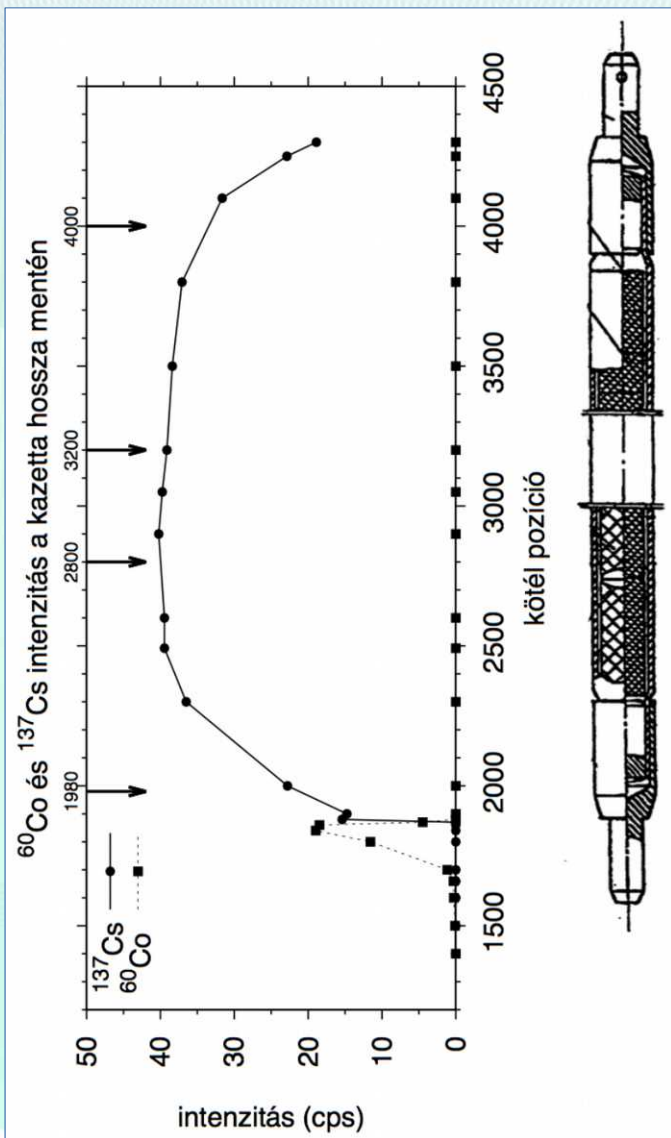


Peak Energy	Centre Channel	FWQHM (KeV)	Goodness Signif	Peak of Fit	Peak Area	% Uncert.	Gammas per sec.	% Uncert.	2 Sigma Background
-------------	----------------	-------------	-----------------	-------------	-----------	-----------	-----------------	-----------	--------------------

The Peak at Channel 140 was dropped, too near LLD Step

428.1	1313.8	1.31	15.0	0.76	61209	12.1	5.0621e-01	12.1	3512282
463.4	1422.4	1.44	6.4	1.11	28709	18.1	2.3744e-01	18.1	3613091
475.5	1459.6	1.49	23.0	1.04	104984	14.6	8.6825e-01	14.6	3438577
511.9	1571.6	1.50	251.4	7.18	1475566	0.6	1.2203e+01	0.6	2918112

Optimálás: mérési pozíciók



A 2016. évi mérések

kazetta	kiegészítés GWd/tU	hűlési idő év	kampányok
RK68233	46.47	4.6	323, 324,325,326
RK71242	39.01	4.6	324, 325, 326
RK71244	39.58	4.6	324, 325, 326
RK72546	47.56	3.9	422, 423, 424, 425
RK72561	47.56	3.9	422, 423, 424, 425
RK72572	47.56	3.9	422, 423, 424, 425
RK76666	41.69	2.9	423, 424, 425,426
RK76684	41.69	2.9	423, 424, 425,426
RK76686	41.69	2.9	423, 424, 425,426
RK76688	46.47	2.9	423, 424, 425,426
RK76689	46.468	2.9	423, 424, 425,426
RK76691	46.463	2.9	423, 424, 425,426
RK76693	46.470	2.9	423, 424, 425,426
RK79535	37.65	0.8	426,427,428
RK78247	44.40	0.8	425,426,427,428
RK79604	48.85	0.8	425,426,427,428

6. táblázat. A 2016. évi mérési program

hűlési idő (év)	tárolás kezdete (év)	kazetta típusa, jellege	kezdeti dúsítás (%)	darabszám
1	2015	Különböző előéletű, előtörténetű kazetták	4.2	3
3	2013	ekvivalens pozícióban levő kazetták két csoport, 3 – 3 darab	4.2	2 × 3 = 6
4	2012	ekvivalens pozíciójú kazetták	3.8	3
5,6	2010 – 2011	különböző előélet, előtörténet	3.8	3
összesen				15

Mért aktivitások

kazetta	^{137}Cs	^{154}Eu	^{134}Cs	$^{110\text{m}}\text{Ag}$	$^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$	$^{144}\text{Ce}/^{144}\text{Pr}$	$^{95}\text{Zr}/^{95}\text{Nb}$	^{103}Ru
RK68233	20.0314	0.9325	7.4256	0.0055	3.4955	2.1362		
RK71242	20.2056	1.0139	8.8550	0.0088	4.7596	3.6031		
RK71244	20.4946	1.0133	8.9590	0.0093	4.9644	3.4394		
RK72546	24.6814	1.3421	14.6390	0.0247	8.6372	5.8228		
RK72561	26.0474	1.4034	15.4524	0.0214	9.2924	6.0193		
RK72572	24.8257	1.3416	14.6837	0.0243	8.9392	5.8966		
RK76666	22.0866	1.2055	14.5602	0.0321	11.8368	10.5363		
RK76684	22.1953	1.1967	14.4529	0.0351	11.2280	10.4141		
RK76686	22.2249	1.1986	14.5759	0.0363	11.6688	10.6374		
RK76688	25.0862	1.4466	19.6220	0.0498	15.9906	14.7988		
RK76689	25.3046	1.4798	19.9496	0.0569	16.5566	15.0775		
RK76691	25.4300	1.4321	19.8391	0.0498	16.4007	15.2696		
RK76693	25.3299	1.4674	19.8387	0.0633	15.5672	14.0678		
RK78247	24.8428	1.5320	30.3630	0.2466	46.3730	61.7603	8.8895	0.7220
RK79535	21.3587	1.3060	28.8053	0.3035	58.1752	104.0990	23.5250	1.5636
RK79604	26.8972	1.7862	41.5904	0.4711	70.3162	96.8965	21.2122	1.6112

Kazetták jellemzése: Euklédieszi távolságok

n db mérhető hasadási termék
n-dimenziós térbeli pont jellemzi a kazettát

Ezek között Euklédieszi távolságok képezhetők

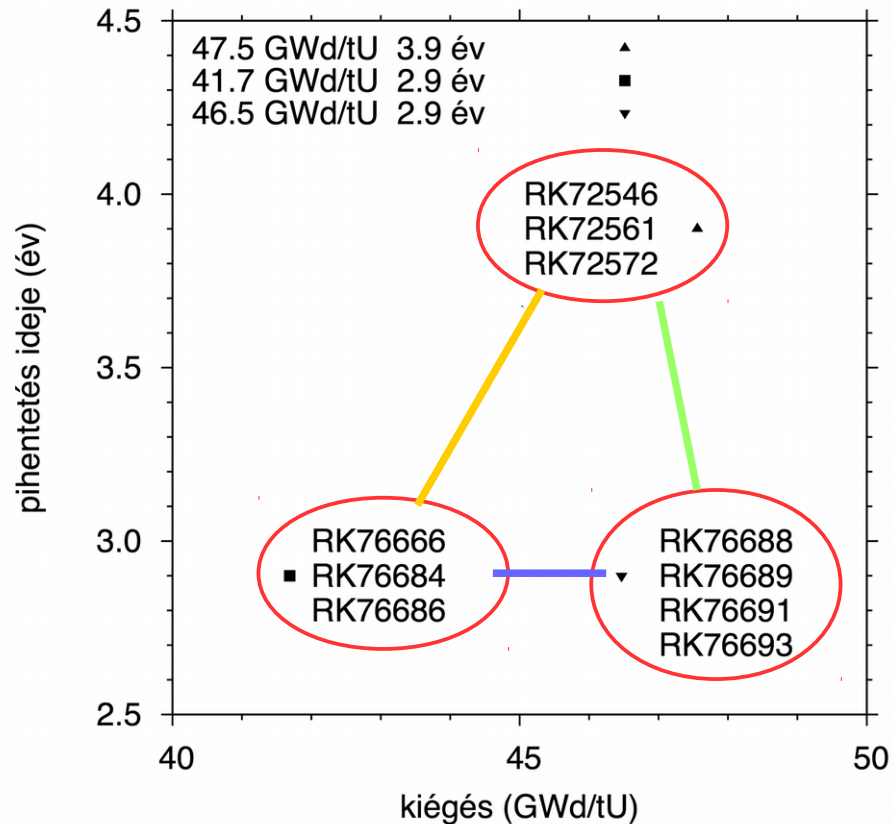
$$d^2 = \sum (x_i - y_i)^2$$

k db kazetta $\rightarrow \binom{k}{2}$ távolság

k=10 \rightarrow 45 távolság



4.2% kezdeti dúsítású kazetták kiégés-pihentetés diagramja

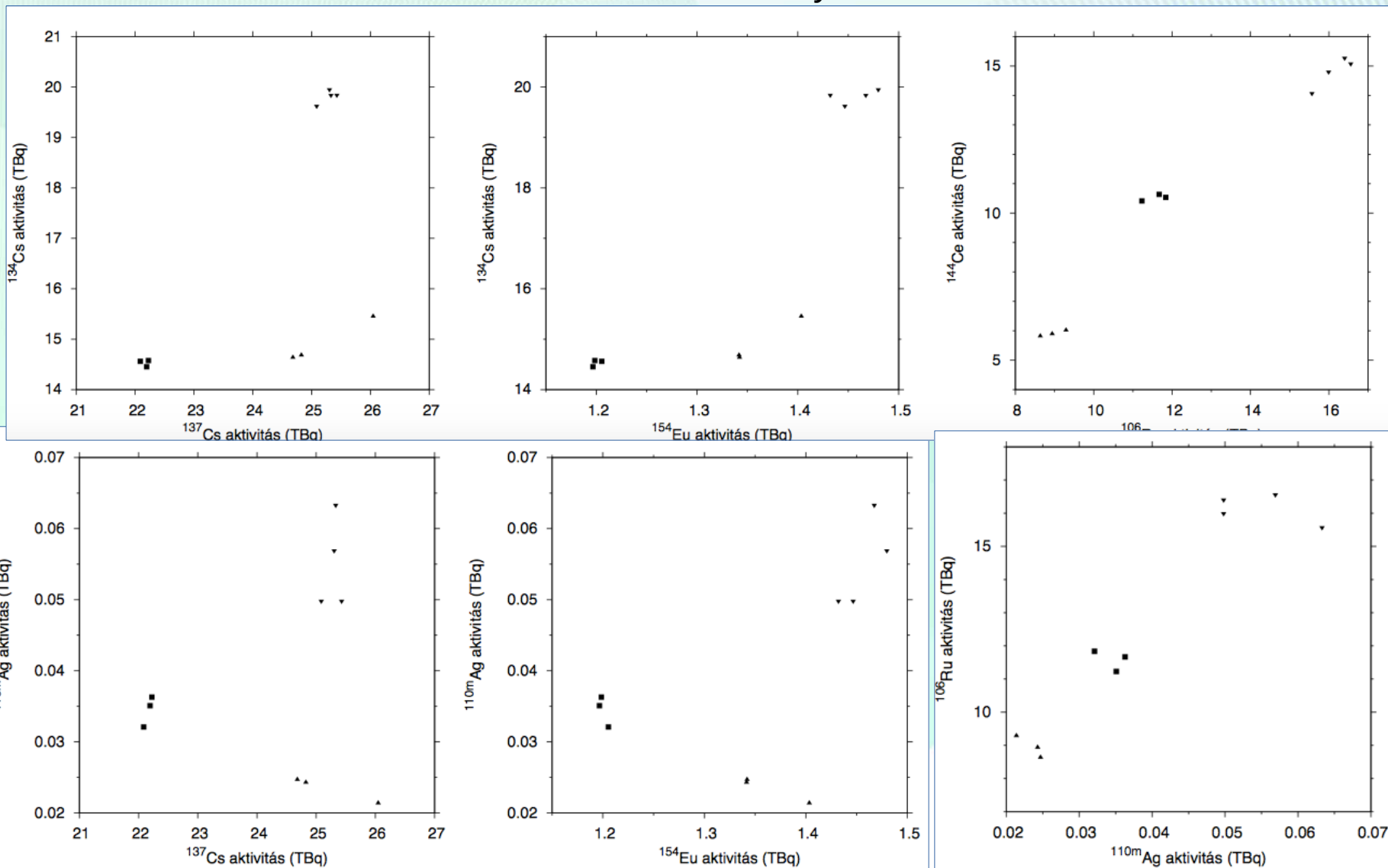


Korrelációk

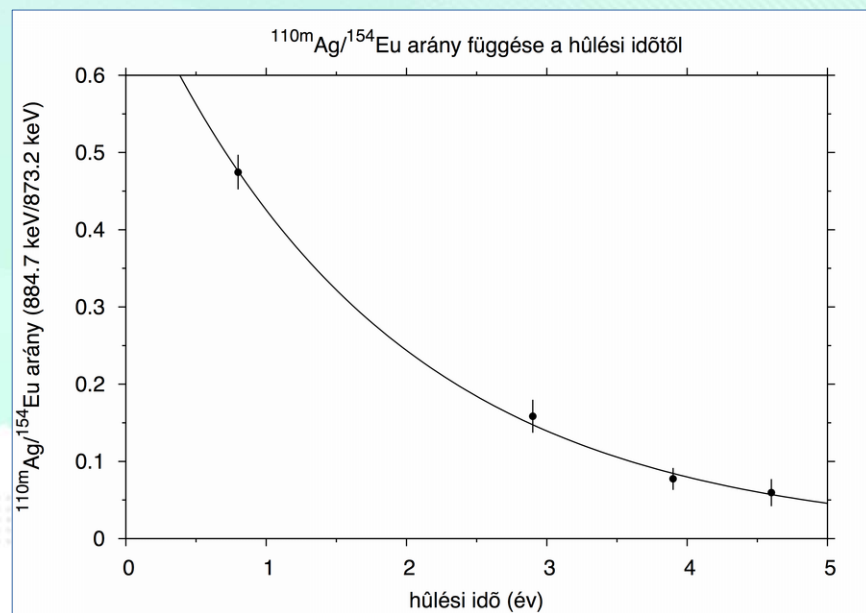
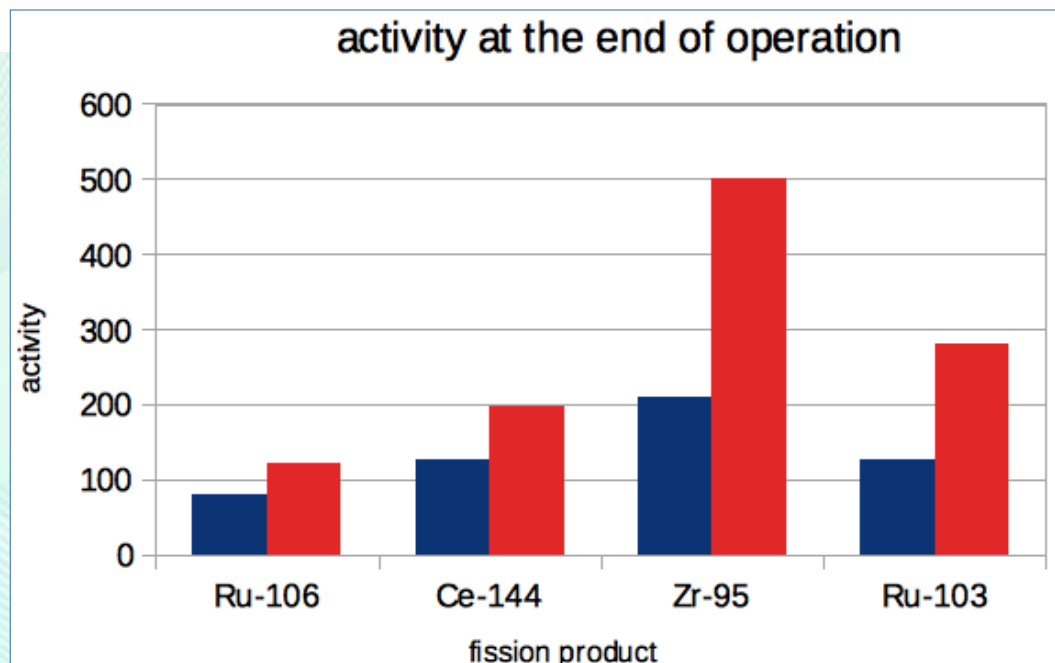
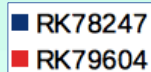
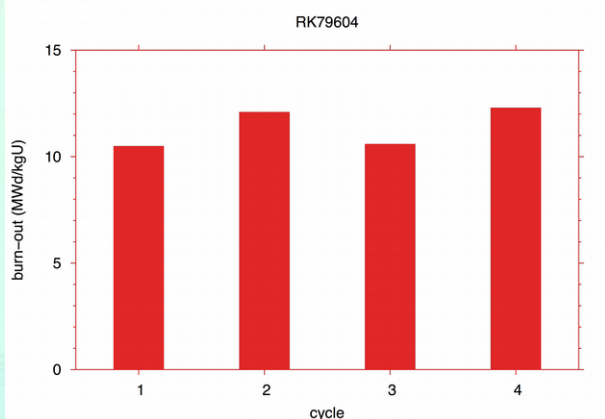
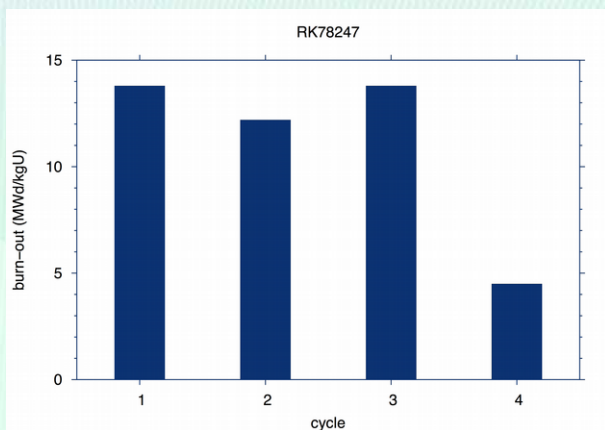
n hasadási termék ↔ n dimenziós tér

$$\rightarrow \binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2} \quad 2\text{-dimenziós vetület}$$

n=10 helyett 8 → 28 2D vetület



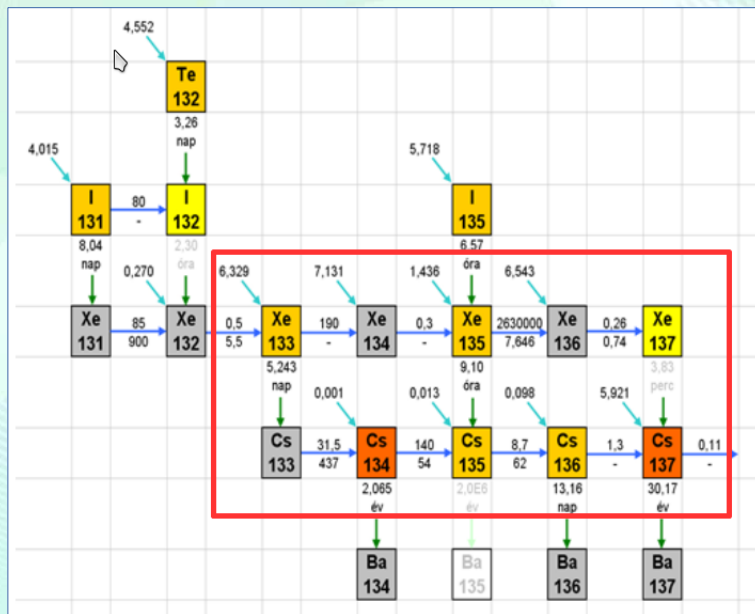
A kiegészi szenarió nyomkövetése



További terveink

A kiégett kazetták adatbázisának fejlesztése statisztikus értékeléshez

- A korábban elvégzett mérések kiértékelése a bemutatott módszerekkel
- További kiégett kazetta mérések: 12-15 kazetta/év



A hasadási termékek keletkezésének, átalakulásának és lebomlásának leírása:

- jellemző folyamatok → mérlegegyenletek
- a kiegészi folyamat numerikus szimulációja + összehasonlítás a mérésekkel

Köszönöm a segítséget!

OAH: "Atomenergia biztonságos alkalmazának hatósági ellenőrzését szolgáló műszaki megalapozó tevékenység" (ABA MMT)

PA. ZRt.: Reaktorfizikai Osztály
Nukleáris Biztonsági Osztály
Nukleáris Fűtőelem Üzem
átrakógép operátorok

MTA EK: Almási István, Hlavathy Zoltán, Völgyesi Péter, Kerner Zsolt, Dósa Gergely, Kovács Zsuzsanna, Mesterházy Dávid

Köszönöm a figyelmet!

KOCSONYA András PhD
tudományos főmunkatárs

MTA Energiatudományi Kutatóközpont
Sugárbiztonsági Laboratórium
KFKI Campus 21-es épület földszint 19.

tel.: 3342 e-mail: kocsonya.andras@energia.mta.hu

