



Zárt radioaktív sugárforrások törvényszéki analitikai célú elemzése (2. év)

Völgyesi Péter, Szabó Katalin Zsuzsanna, Nguyen Cong Tam,
Kirchknopf Péter, Hlavathy Zoltán, Almási István, Dósa Gergely,
Soós Krisztián Roland, Kovács-Széles Éva

volgyesi.peter@energia.mta.hu

MTA Energiatudományi Kutatóközpont
Sugárbiztonsági Laboratórium

Vázlat

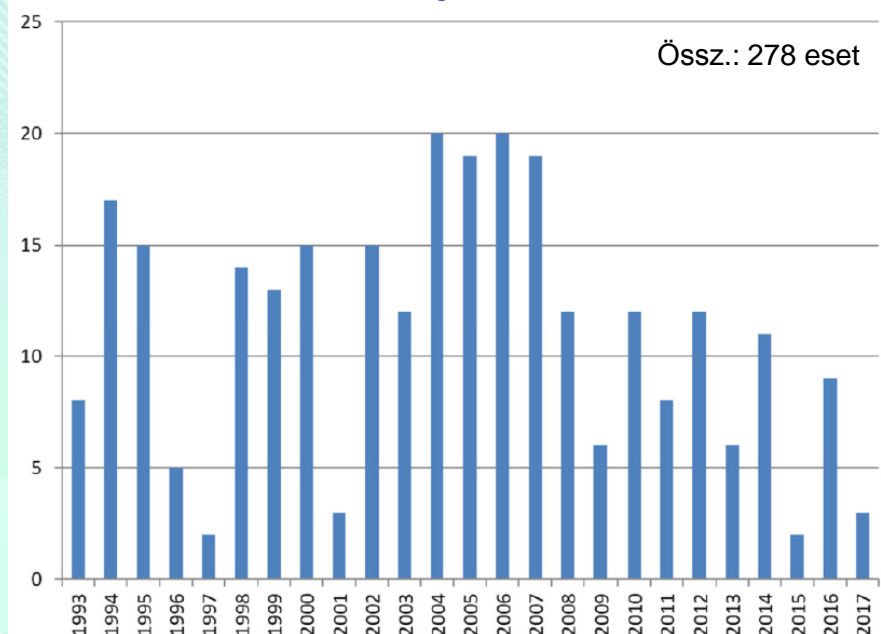
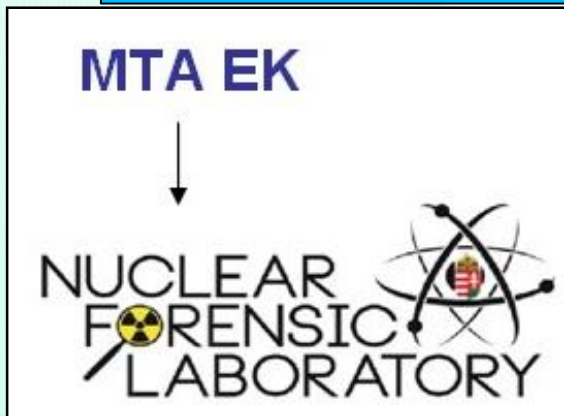
- Motiváció
- Előzmények
- Vállalások/Célok
- Neutron források mérése
- Módszer (HPGe)
- Eredmények (Cf-252, PuBe)
- További tervek
- Összefoglalás

Motiváció



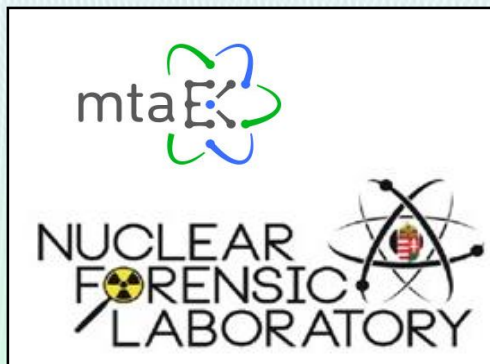
- Nukleáris terrorizmus: növekvő fenyegetettség
- Radioaktív anyagok felhasználása pánikkeltő eszközökben
- Nukleáris/radioaktív anyagok jogosulatlan felhasználása (ITDB)

Nukleáris törvényszéki analitika („Nuclear Forensics”)



Vélhetően vagy megerősíthetően volt illegális kereskedelemre vagy rosszindulatú felhasználásra utaló cselekmény [IAEA, Incident and Trafficking Database, 2018]³

Motiváció



Eredet meghatározó paraméterek beazonosítása:

- gyártó beazonosítása
- anyag, méret
- elemi összetétel
- izotóp összetétel
- kor
- dúsítás

Nukleáris törvényszéki könyvtár (Library)

A talált/lefoglalt radioaktív/nukleáris anyag nukleáris törvényszéki analitikai elemzése információt szolgáltat a nyomozati eljáráshoz.



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
ENERGIATUDOMÁNYI KUTATÓKÖZPONT



Előzmények

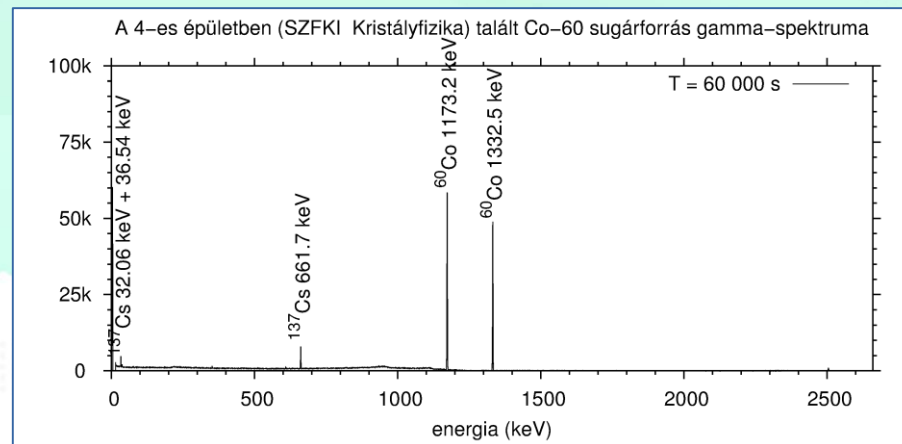
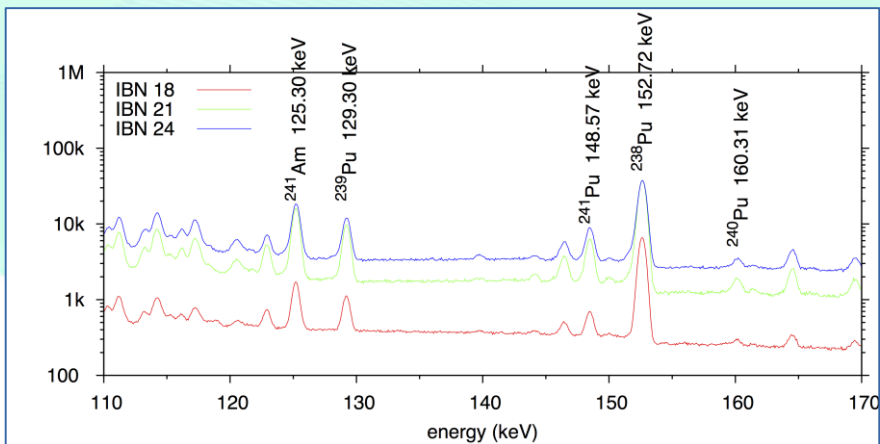
Zárt radioaktív sugárforrások törvényszéki analitikai célú elemzése (1. év)



„Idegen” radionuklidok kimutatása
Kormeghatározás fontossága (PuBe források)

- Gamma-spektrometria: Ígéretes technika
- Az első éves tapasztalatok és irodalmi adatok alapján: neutron források elemzése!

- $^{134}\text{Cs} / ^{137}\text{Cs}$ (2.065 év / 30.07 év)
- $^{154}\text{Eu} / ^{152}\text{Eu}$ (8.593 év / 13.537 év)
- $^{194}\text{Ir} / ^{192}\text{Ir}$ (19.28 óra / 73.83 nap)
- $^{60}\text{Co} / ^{192}\text{Ir}$ (5.27 év / 73.83 nap)
- $^{133}\text{Ba} / ^{134}\text{Cs}$ (10.54 év / 2.065 év)



Vállalások/Célok

- Az MTA EK (KFKI) területén fellelhető, különböző **neutron források vizsgálata**
- A téma **irodalmi** feldolgozásának megkezdése
- **Eredetjelölő paraméterek keresése** (ismeretlen eredetű talált/lefoglalt, hivatalos dokumentumokkal nem rendelkező sugárforrás eredete)
 - gyártó, eltulajdonítás helye, kor, dúsítás...
- **Gamma-spektrometriai** elemzések
- Gamma-spektrometriai **mérések optimalizálása** (távolság, neutronelnyelő anyag hatása, különféle detektortípusok)
- A kapott **spektrumok** részletes **kiértékelése**:
 - a kisenergiájú spektrumrészlet érzékeny felbontása
 - „szennyező” izotóp
 - izotóp összetétel
 - kor

Adott paraméterek eredetjelölésre való alkalmazhatóságának tanulmányozása

Neutron források mérése

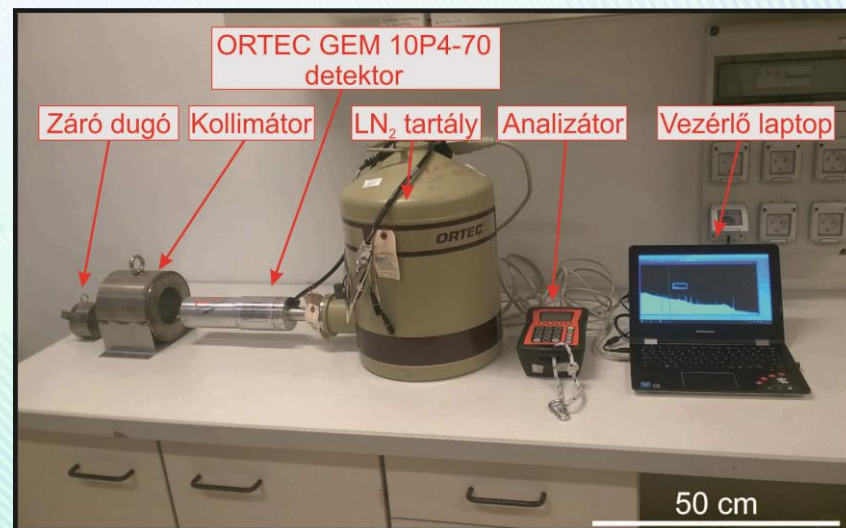
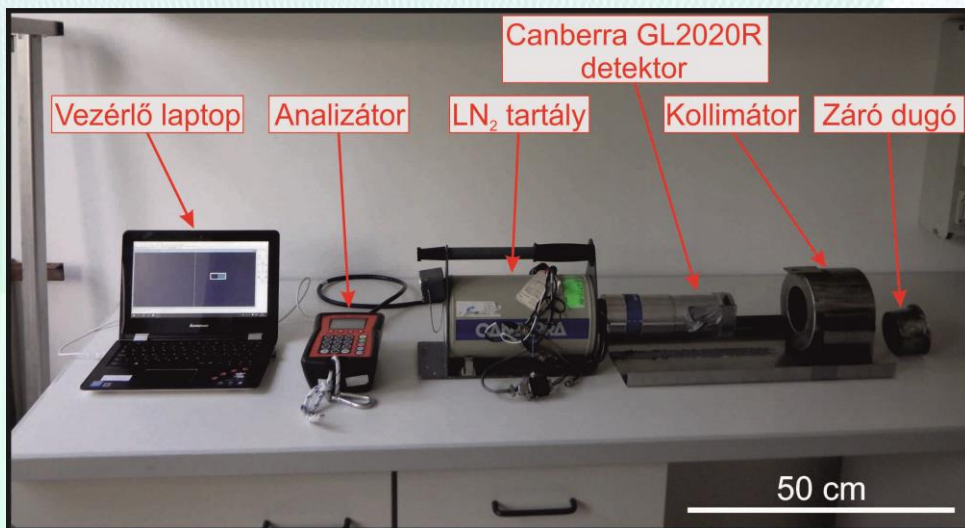
- Széles körben alkalmazzák (ipar, gyógyászat, geológia/geokémia, kalibrálás):
 - **PuBe és Cf-252**
- Cf-források kerültek ki a felügyelet alól: törvényszéki analitikai elemzés fontossága („place of origin”, „point of loss of regulatory control”)

	Source				
	²⁴⁴ Cm	²⁵² Cf	²⁴¹ AmLi	²⁴¹ AmBe	²³⁸ PuBe
Half-life (y)	18.1	2.646	433.6	433.6	87.74
Specific α -yield, q (α /s g)	3.0×10^{12}	1.92×10^{13}	1.2655×10^{11}	1.2655×10^{11}	6.33×10^{11}
Specific neutron yield, n (n/s g)	1.08×10^7	2.34×10^{12}	$(1.2-3.3) \times 10^5$	$(0.68-1.1) \times 10^7$	$(2.5-5) \times 10^7$
Neutron/ α , n/q	3.608×10^{-6}	0.122	$(1-2.6) \times 10^{-6}$	$(5.4-8.7) \times 10^{-5}$	$(4-8) \times 10^{-5}$
Neutron multiplicity of spontaneous fission, ν_1	2.72	3.757			2.21
Second factorial moment, ν_2	5.94	11.962			3.957

- Gamma spektrometria:
 - Forrás típus
 - Izotópösszetétel
 - Kor
 - Aktinida-aktivitás

(Apostol et al., 2017, Bagi et al., 2004, Gregor et al., 2018, Lakosi et al., 2006a, 2006b, Nguyen 2006, 2007, Nguyen et al., 2006, 2007, 2015).

Módszer I. Gamma spektrometria



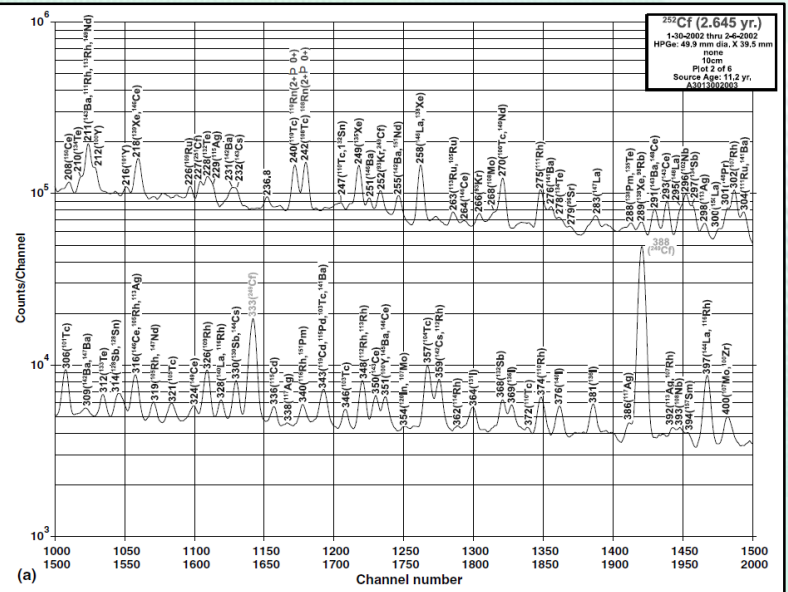
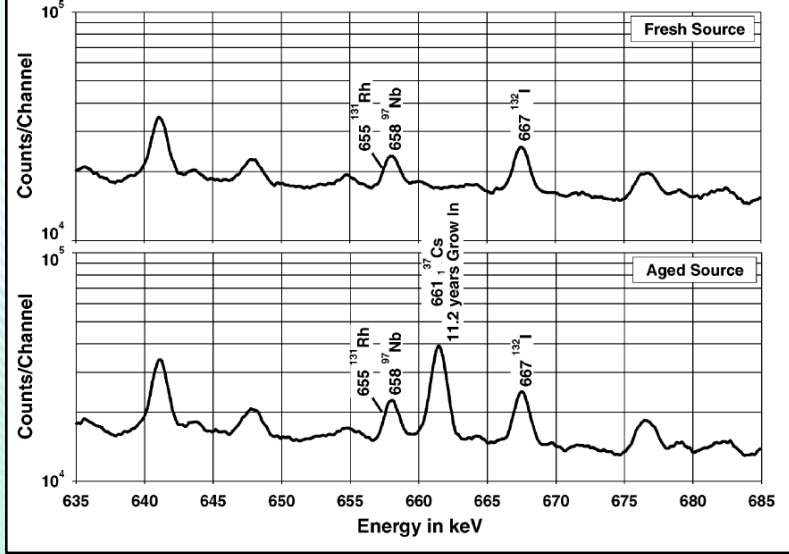
Detektor	Canberra GL2020	ORTEC GEM10-P4-70
Detektor típus	Planár	Koaxiális
Energia tartomány	Kiseb energiák (<200 keV), 0,075 keV/csatorna	15 MeV-ig (prompt gamma)
Mérési idő	5 perc – több nap	
Forrás-detektor távolság	10 cm – 3 m (DT<25%)	
Kiértékelés	ORTEC Maestro és a FitzPeaks, MGA++ (izotóp összetétel és kor)	

Módszer II. Izotópösszetétel és kormeghatározás

Cf izotópösszetétel: Cf-249 és Cf-251 aktivitás mérése,
Cf-250/Cf-252 becslése

Gherke et al., 2004

Cf kormeghatározás: hasadási termékek aránya:
Cs-137/I-132



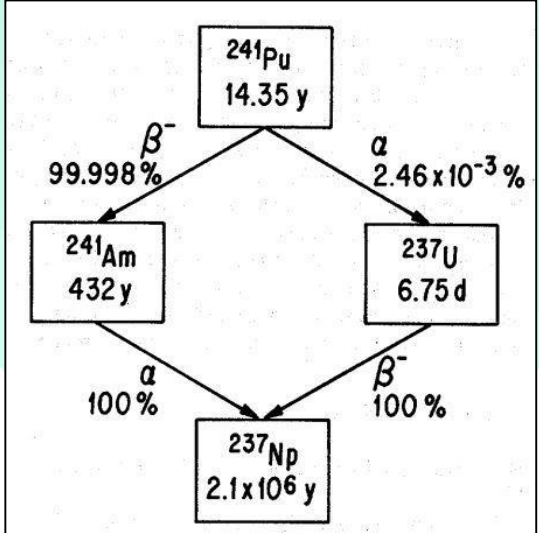
Gherke et al., 2004

Számos csúcs (200-400 keV)
Bonyolult kiért.

PuBe izotópösszetétel: MGA++ program kisenergiás csúcsok automatikus illesztése

PuBe kormeghatározás: MGA++ program

- frissen elválasztott minták: Am-241-tartalomból
- ~50 napja elválasztott minták: U-237 tartalomból (szekuláris egyensúly Pu-241)



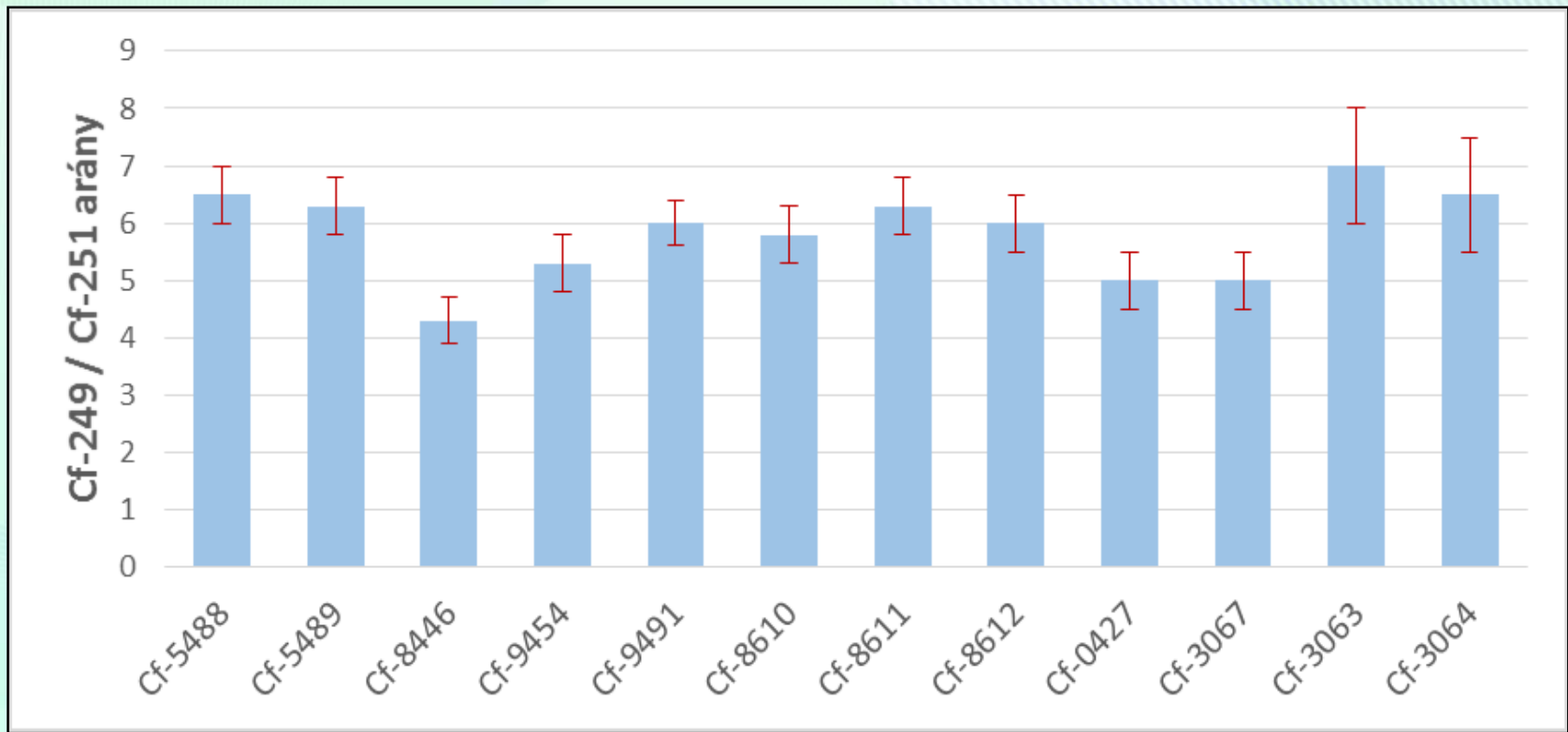
Reilly et al., 1991

Eredmények I. Potenciális eredet meghatározó paraméterek

Cf-252

Cf-249/Cf-251 arány

Akkor alkalmazható, ha nagyobb pontossággal meg tudjuk határozni az értékét.

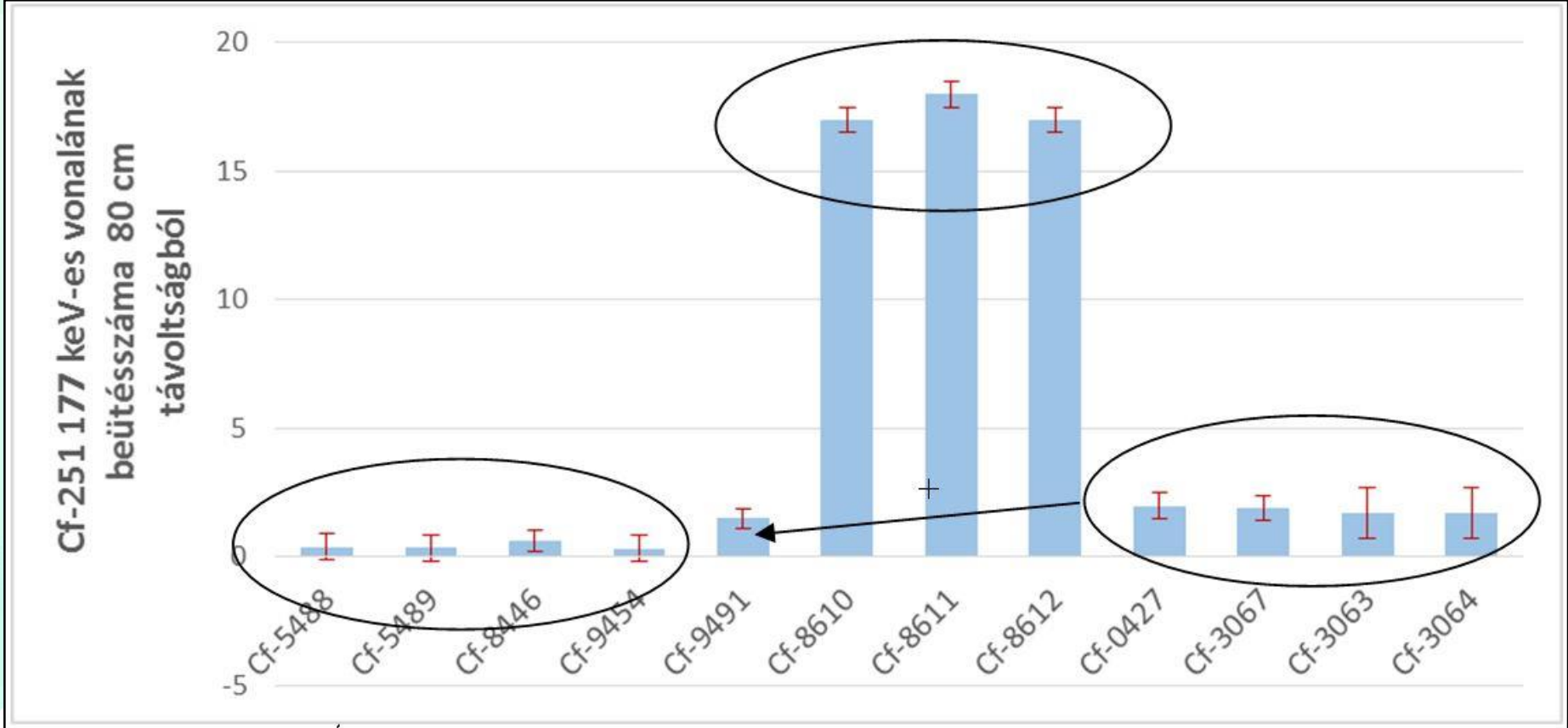


Eredmények II. Potenciális eredet meghatározó paraméterek

Cf-251 177 keV-es vonalához tartozó beütésszám

Cf-252

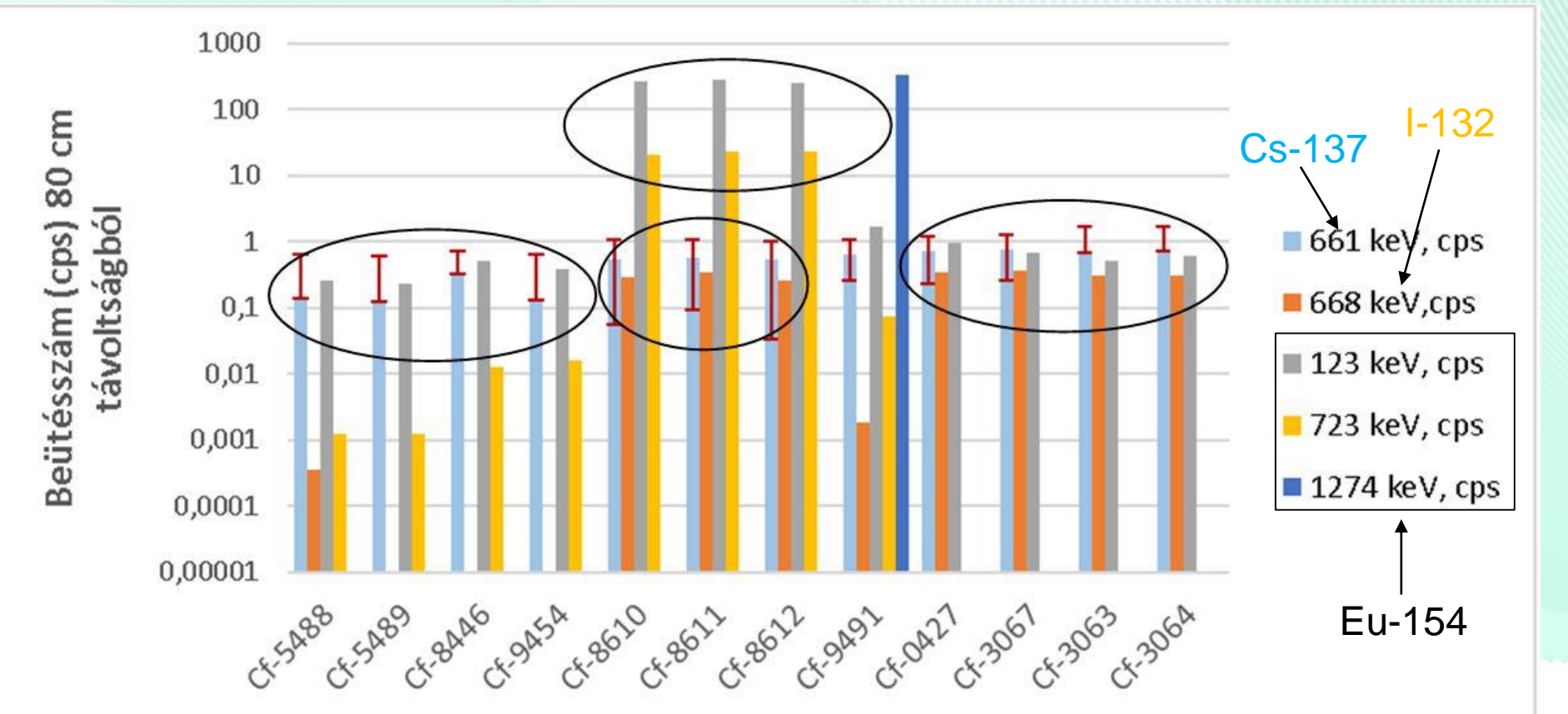
Használható nukleáris törvényszéki analitikai szempontból eredet meghatározásra, források elkülönítésére/összehasonlítására.



Eredmények III. Potenciális eredet meghatározó paraméterek

Cf-252 forrásban hasadási termékek és „szennyező” izotópok Cf-252

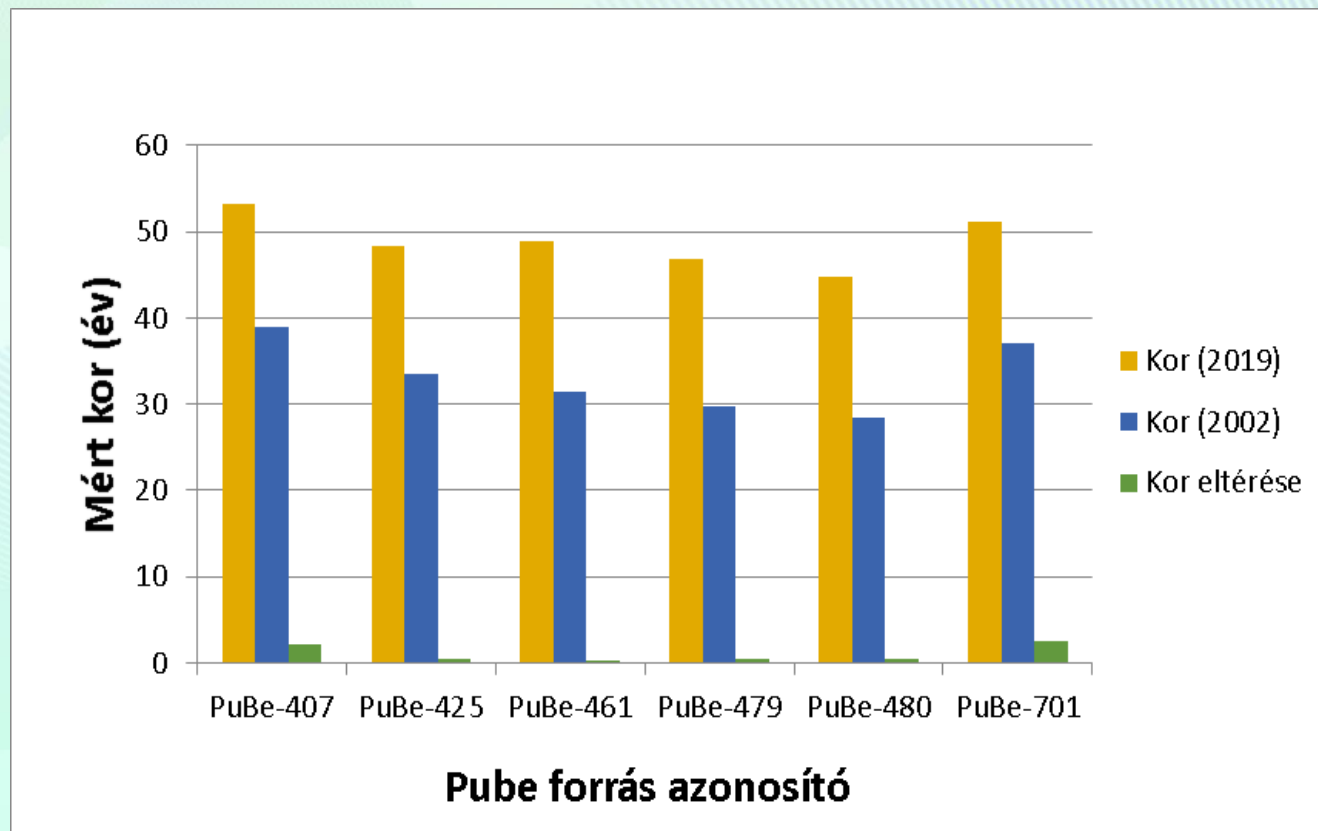
Használható de, egy-egy forrás esetében egyszerre több gamma vonalat kell vizsgálni és összehasonlítani, mert egy gamma vonal önmagában nem elég.



Eredmények IV. Potenciális eredet meghatározó paraméterek

Lehetséges paraméterek (időben állandó és változó): PuBe

- Izotóp-összetétel: két mérési időpontban egyes arányokban eltérések
- Kor: két mérési időpontban közel azonos, validált módszer



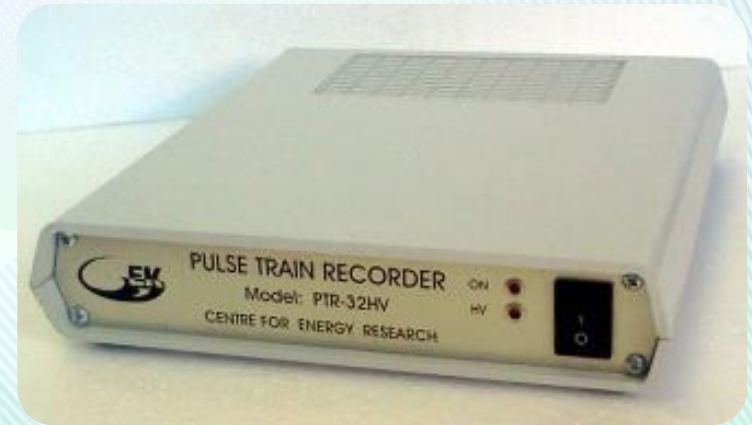
Egyéb paraméterek:

- Pu_{total}
- Prompt gamma
- 4438 keV-es gamma foton
- neutron hozam
- többszörös komponens (single, double, triple beütésszám) aránya

További tervek

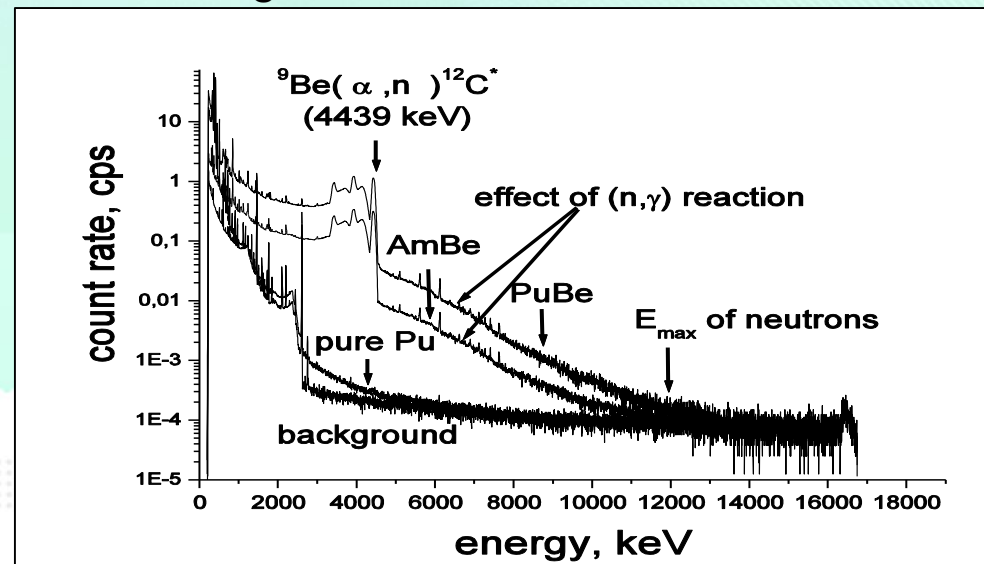
0. A kutatási projekt folytatása

1. Neutron koincidenca számlálás: a kettős koincideneciák aránya a beütésszámhoz (R/T vagy D/S) vagy a felezési idő megváltozása a hosszabb felezési idejű komponensek arányának növekedése.



2. A különböző képalkotási technikák (neutron tomográfia, radiográfia) alkalmazásával egy, az ismeretlen eredetű források fizikai paramétereinek megismerését segítő technikát mutattunk be, amivel érdemes lehet részletesebben foglalkozni.

3. A gamma spektrumok 15 MeV-ig tartó vizsgálata, a karakterisztikus prompt gamma csúcsok részletes elemzése.



Összefoglalás I.

- Ismertettük a **zárt sugárforrások** alkalmazásával kapcsolatos **kockázatokat** (terror veszély, piszkos bomba)
- Bemutattuk a Nukleáris törvényszéki analitika szerepét, **Neutron források törvényszéki analitikai vizsgálatának** lehetőségét
- **Gamma-spektrometria** a megfelelő mérési háttér információk ismeretében **sikeresen alkalmazható**
- **Cf-252 és PuBe források: elméleti és gyakorlati elemzések bemutatása**
- Cf-252 sugárforrások korának, vagy izotóp összetételének vizsgálata önmagában nem elegendő eredetmeghatározáshoz,
 - **Cf-249/Cf-251** arány: pontos mérés esetén használható
 - **Cf-251 adott** vonalain mért beütésszám használható
 - **Hasadási termékek és „szennyező” izotópok** jelenléte a forrásokban használható

Összefoglalás II.

- **PuBe** források:
 - Időben állandó és változó paraméterek
 - Izotóp összetétel és kor vizsgálata két időpontban (azonos és eltérő adatok)
- A **műbizonylaton** szereplő **dátum** gyakran **nem azonos a kémiai elválasztás időpontjával** (téves információ)
- **További** paraméterek és **vizsgálatok** szükségesek
- Több olyan paramétert is sikerült azonosítani, amely ismeretlen eredetű neutron források nukleáris törvényszéki analitikai vizsgálata esetén jelentős segítséget nyújthat az adott hatóságoknak/nyomozati szerveknek a források azonosításában, elkülönítésében, eredetének meghatározásában.
- Potenciális kutatási irány



Köszönjük a figyelmet!

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



MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIA
ENERGIATUDOMÁNYI KUTATÓKÖZPONT