Szcintillációs detektorba integrált algoritmusok fejlesztése

Jónás Jácint, Garai Zoltán, Blázsovics Péter, Eszenyi Gergely, Petrányi János, Zsitnyányi Attila

XLVI. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam

2021

Ionizáló sugárzás alkalmazási környezete

- egészségügy
- ipar
- kutatás
- energiatermelés
- kísérleti, éles robbantás
- terrorizmus
- NORM

Szándékolt vagy szándékolatlan, gazdátlan források

↓

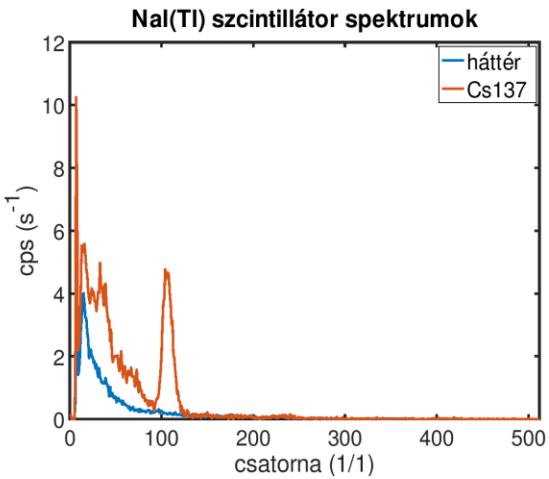
Ellenőrzés, elrettentés

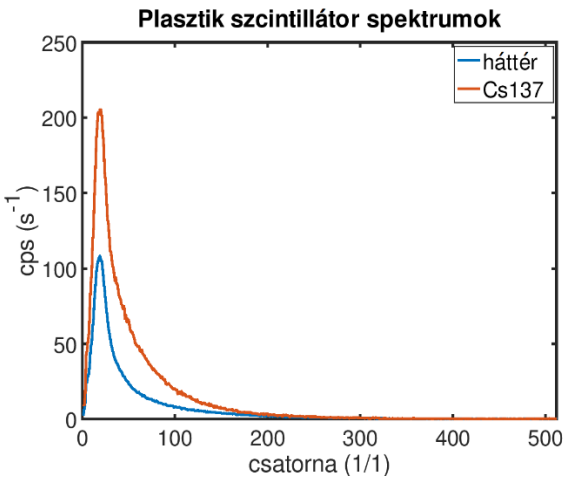
↓

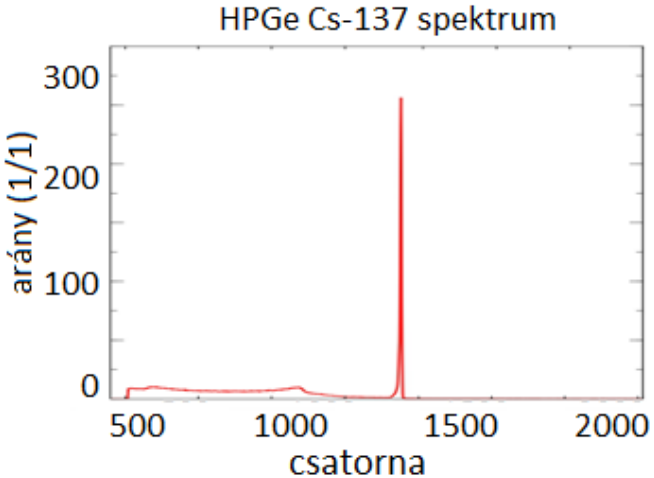
Sugárkapuk

- határátkelők, repterek
- kiemelt létesítmények
- radioaktív izotópokkal foglalkozó üzemek
- fémhulladék átvevők és kohók
- hulladéklerakók

Különböző energia felbontású detektorok







NaI(Tl)
- elegendő beütés
- megfelelő felbontás
- karbantartásmentes
- kollimálható

PVT plasztik
- magas beütés
- alacsony felbontás
- karbantartásmentes
- nehezen kollimálható

HPGe
- alacsony beütés
- kiváló felbontás
- állandó hűtés
- kollimálható

Sugárkapu riasztási algoritmusok

- összbeütés alapú (háttér szórása felett riaszt)
- lineáris hálózat (több detektoron áthaladás)
- **i**dő**s**or **v**izsgálat (egy detektoron áthaladás) ISV
- **s**pektrum **t**ávolság (háttér spektrum vs. áthaladás) ST
- neurális háló (áthaladások alapján deep learning)

Fentiek kombinációja

- összbeütés érzékenyítése idősor vizsgálattal
- spektrumtávolság érzékenyítése idősor vizsgálattal

Módszer

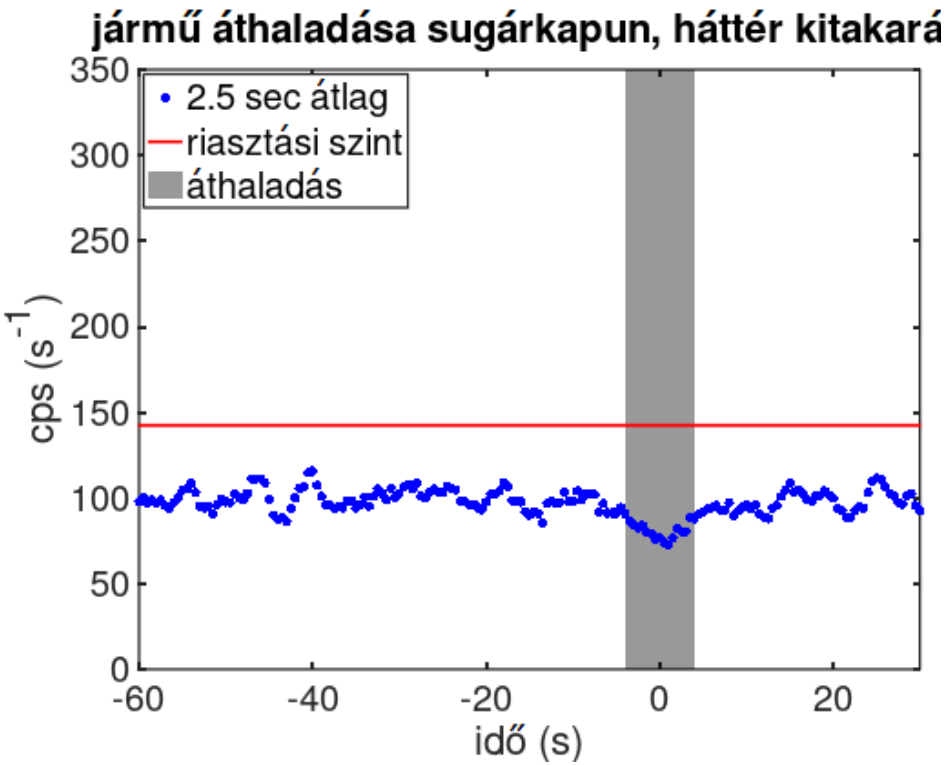
Szimuláció OCTAVE, GEANT4

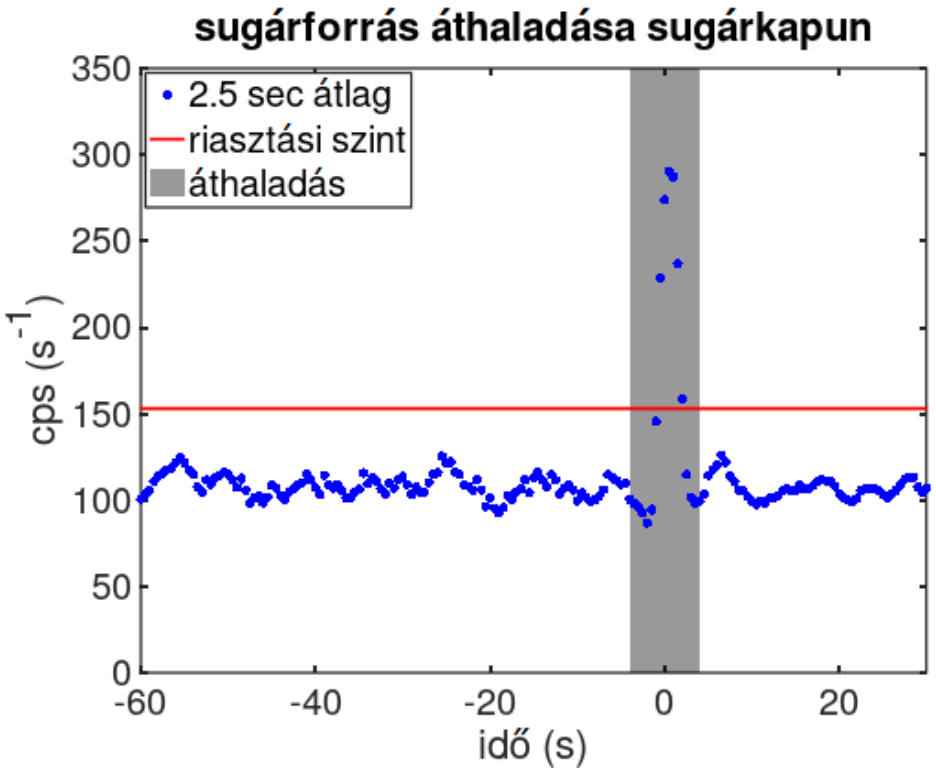
- nagy számú áthaladás szimulálható egyszerre
- algoritmusok összehasonlíthatóak azonos peremfeltételekkel
- bizonyos környezeti paraméterek figyelmen kívül hagyása
- speciális izotópok (WGPu, orvosi izotópok)

Validálás Tényleges áthaladások

- különböző járművek esetén (személy, teher)
- eltérő detektor mérettel (50x150, 50x200)
- különböző áthaladási sebesség mellet (3-10 km/h)

Riasztás átlag beütés alapján





Különböző típusú járművek 5-40 % háttérelnyomást okoznak.

IdőSor Vizsgálat

Pontforrás áthaladása során a beütések idősora függ:

- sugárkapu geometriai elrendezése, detektor hatásfok, árnyékolás
- forrás sebessége (mérni szükséges)
- forrás aktivitása (minimális riasztási aktivitásra optimalizált)
- háttér elnyomás (aktuális áthaladáshoz illeszthető)

Aktuális áthaladás és a próba függvény hasonlóságát Idő Sor Vizsgálat szorzóval jellemezzük - ISV

A minta átlagtól való eltérésének négyzetösszege:

$$SST = \sum_{i=1}^{M} (m_i - m_{avg})^2$$

m_{avg} az M db mért érték átlaga:

$$m_{avg} = \frac{1}{M} \cdot \sum_{i=1}^{M} m_i$$

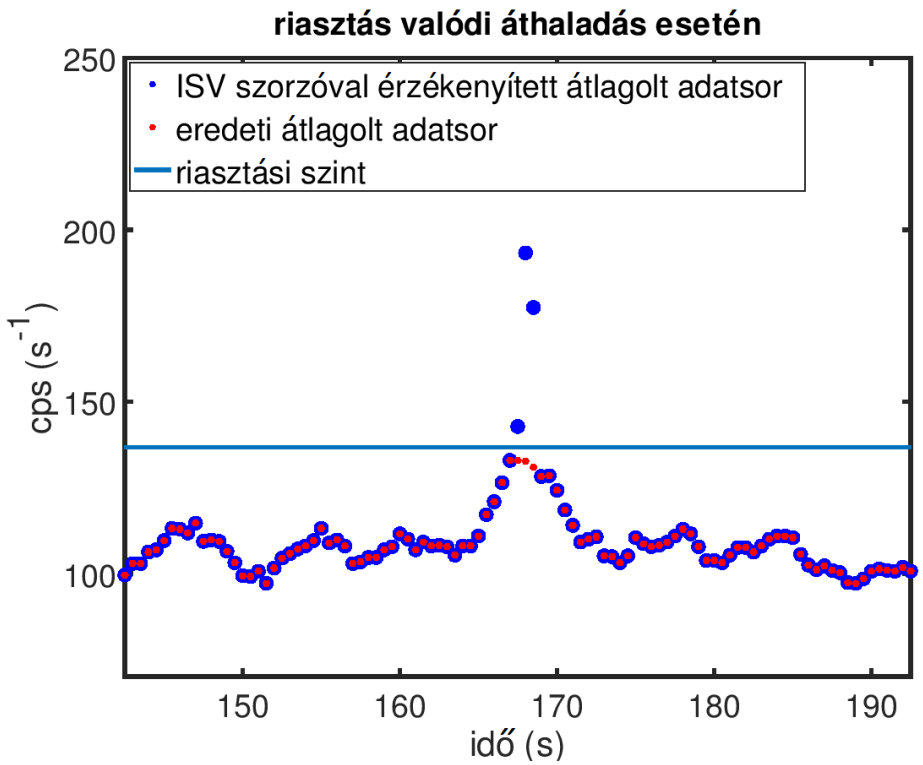
A próbafüggvény és a mérés eltérésének négyzetösszege:

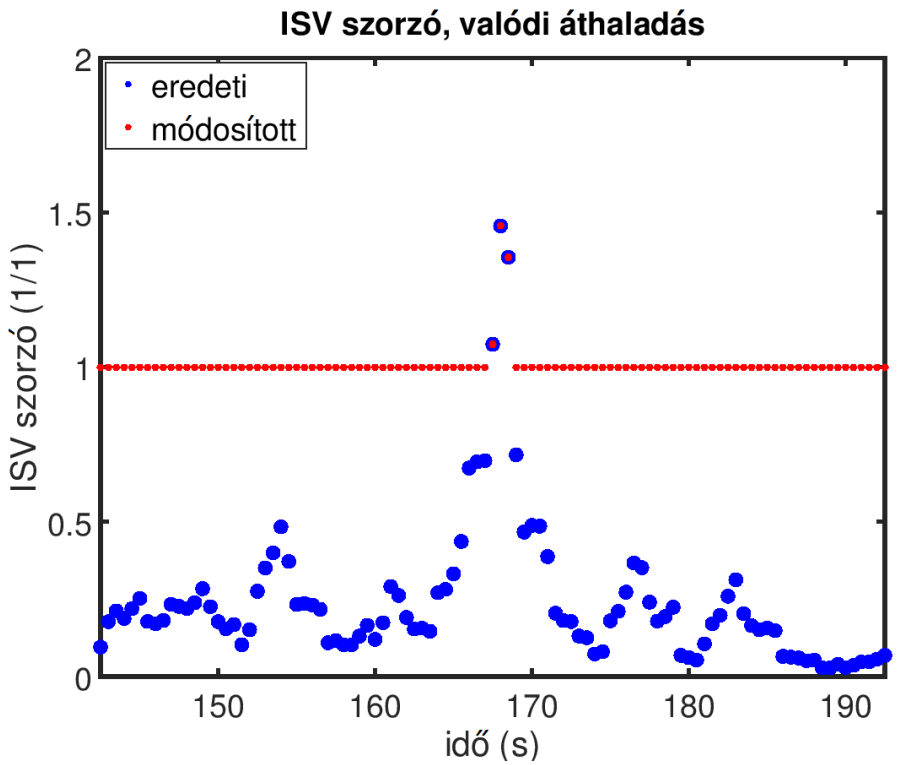
$$SSE = \sum_{i=1}^{M} (m_i - f_i)^2$$

ISV szorzó:

$$ISV_m = \frac{SST}{SSE}$$

Idősor Vizsgálat – Riasztás érzékenyítése

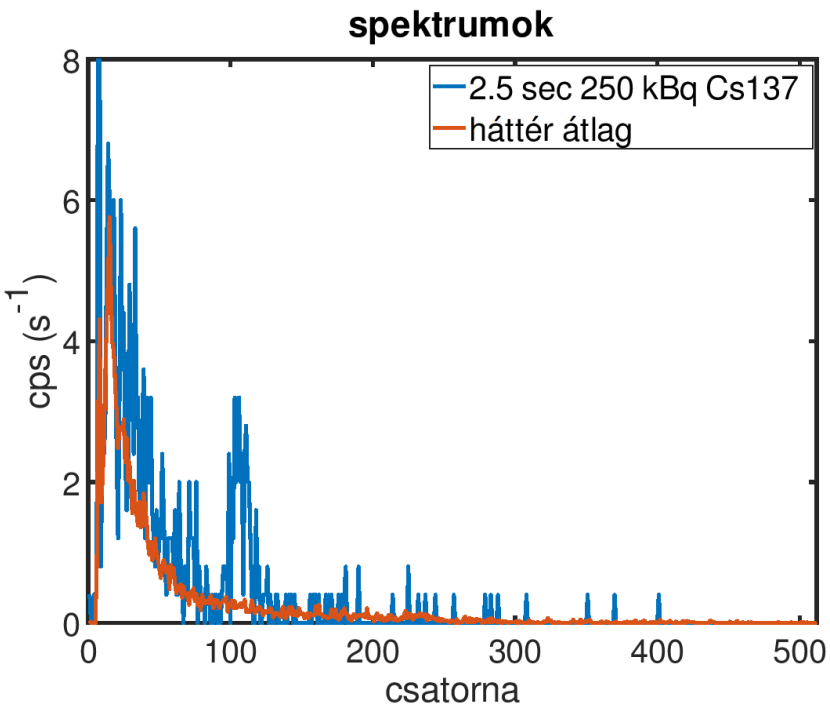


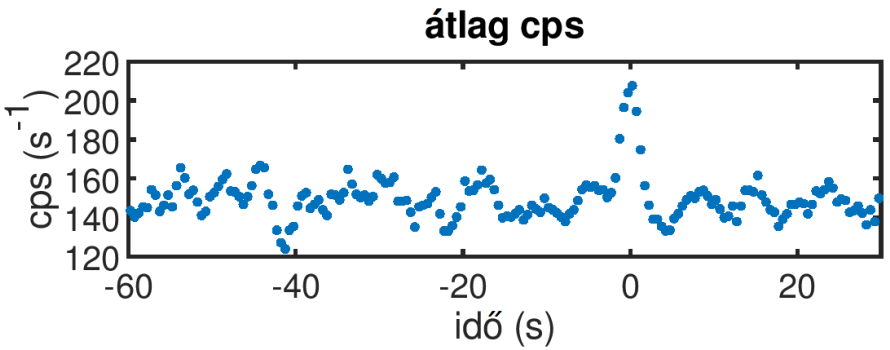


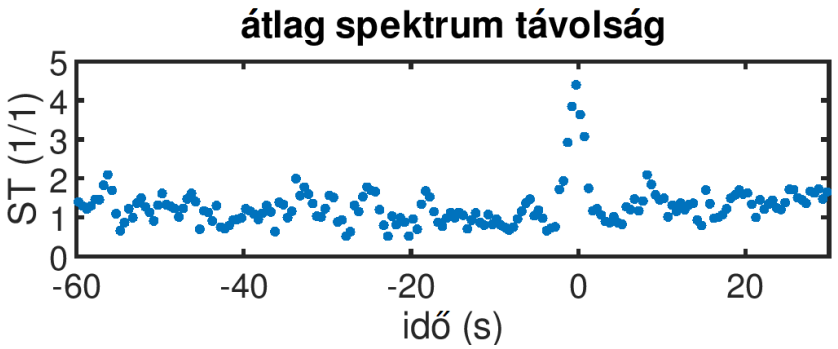
Spektrum távolság riasztási algoritmus

- riasztási igény a mesterséges forrásokra
- sugárforrás áthaladásakor a mért spektrum alakja megváltozik
- spektrum háttérhez viszonyított alakváltozása a spektrum távolság
- Általunk kidolgozott módszer lépései:
  - spektrum BIN-ekbe rendezése (alacsony beütésszám és számítási kapacitás miatt)
  - háttér spektrumtávolság szórásának meghatározása kovariancia mátrixszal
  - háttér és az áthaladás alatti spektrum távolságának meghatározása
  - riasztási szint és feltétel meghatározása

Spektrum távolság riasztási algoritmus működése

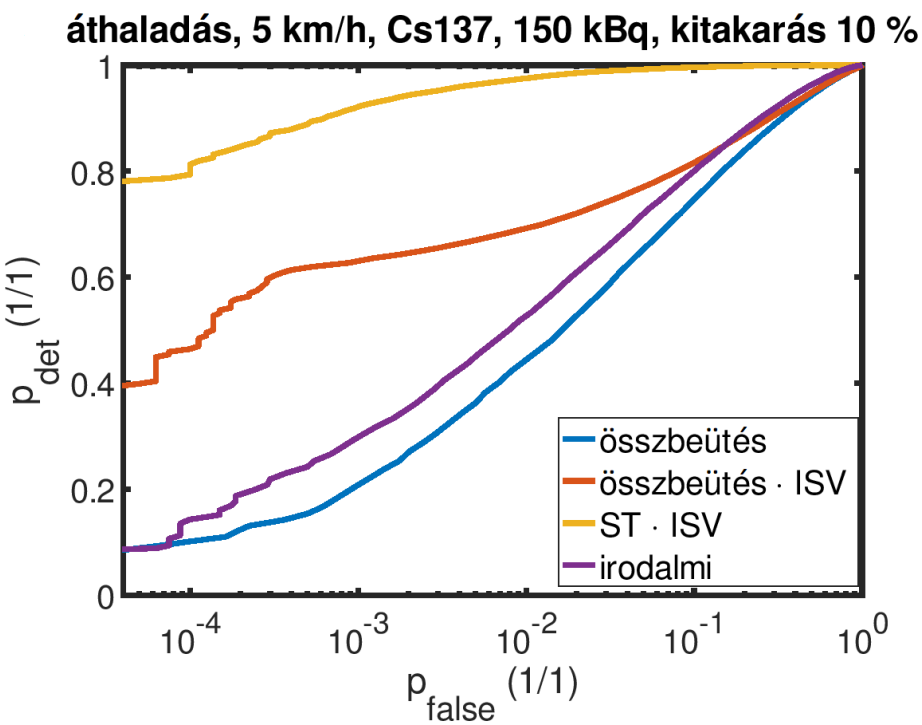






250 kBq Cs-137 pontforrás áthaladása sugárkapun, a detektortól 1 m távolságra, 5 km/h sebességgel, 100 nSv/h háttér esetén.
A mért spektrum izotóp összetételének megváltozására érzékeny.

Riasztási algoritmusok összehasonlítása

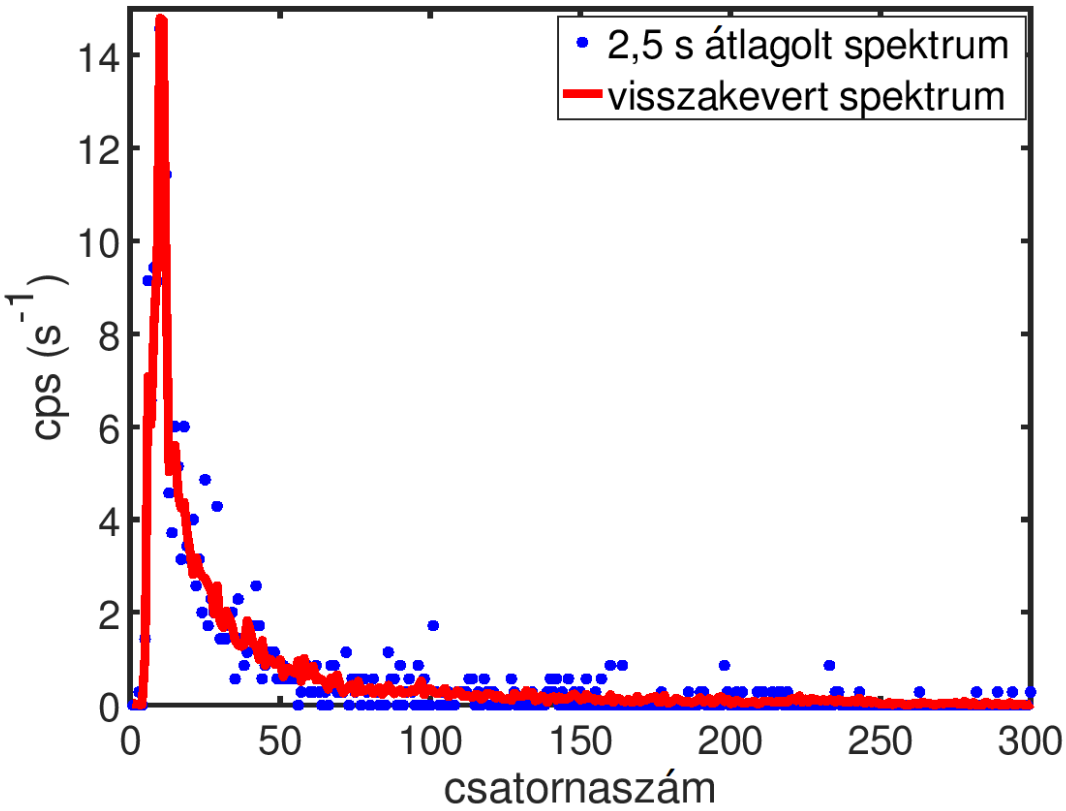


- Háttér takarás növekedésével tovább javul a ST, és ISV hatása
- Szimulációk alapján a spektrum távolság és összbeütés alapján számolt ISV együttes használata a legérzékenyebb
- Az ST·ISV algoritmus az IEC 62244:2019 szabványnak megfelelő körülmények esetén 250 kBq Cs-137 forrást detektál
- 50 kBq javulás az összbeütéshez viszonyítva

Izotóp azonosítás

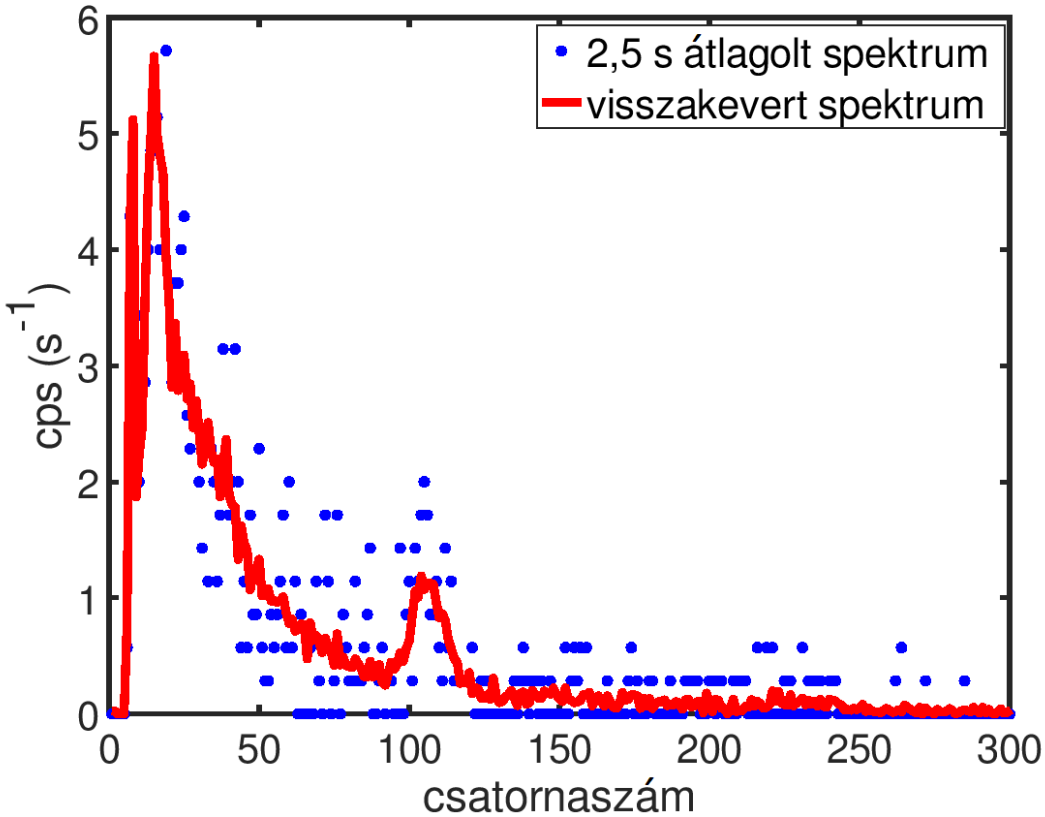
- ritkaság elősegítő Bayesian alapú algoritmus
- lehető legkevesebb számú izotópból közelíti a mért spektrumot (sugárkapu esetén előny)
- spektrum könyvtárat használ (forrással vagy szimulációval korlátlanul bővíthető)
- izotópok kvalitatív és kvantitatív becslése a mért spektrum alapján
- dózisteljesítmény becslés, akár izotóponként
- csökken, vagy teljesen megszűnik a másodlagos ellenőrzés
- nagy számítási igény szükséges a detektorba integrálva

Am-241, 500 kBq



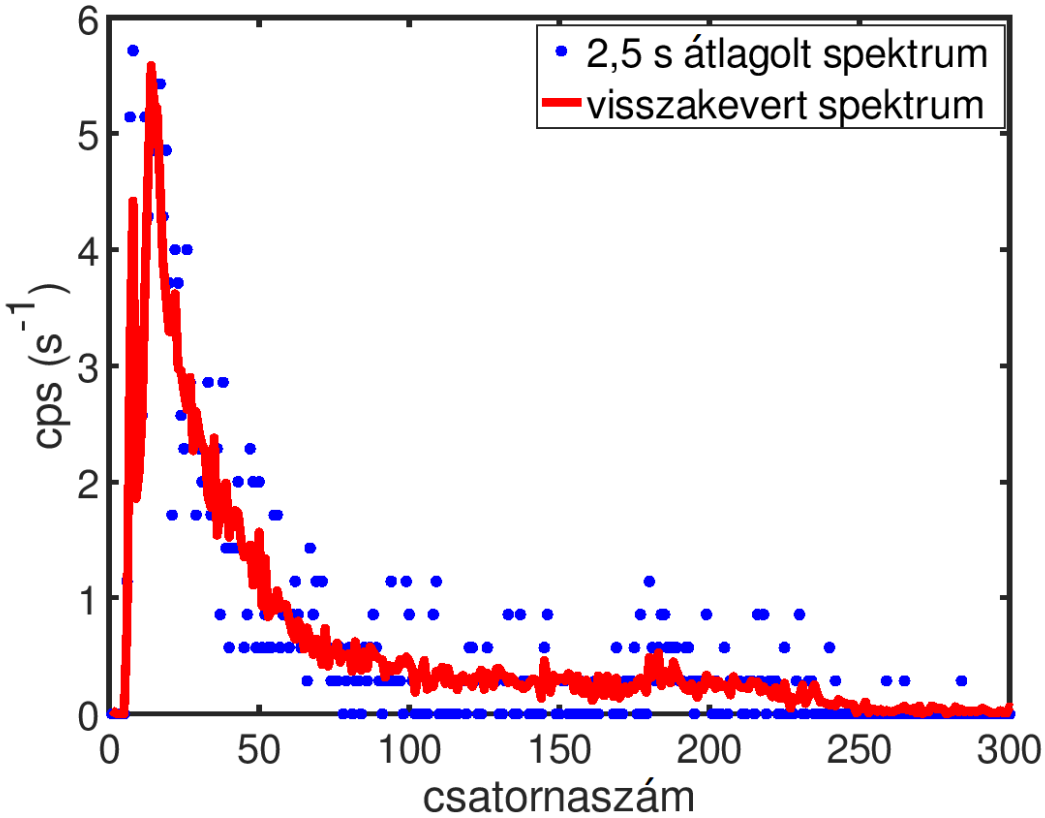
spektrum	találati valószínűség	spektrum arány	spektrum arány hiba
háttér	1.00	1.02	0.05
izotópok a háttéren felül	találati valószínűség	aktivitás [kBq]	aktivitás becsült hiba [kBq]
K-40	0.01	0	3
Mn-54	0.01	0	2
Co-57	0.01	0	3
Co-60	0.02	1	7
Ga-67	0.02	2	13
Tc-99m	0.01	0	5
I-131	0.00	0	2
Ba-133	0.01	0	3
Cs-137	0.01	0	3
Eu-152	0.01	1	7
Ir-192	0.01	0	4
Tl-201	0.02	1	8
Ra-226	0.02	1	6
Th-232	0.02	3	22
U-235	0.02	1	8
U-238	0.14	15	40
Pu-239	0.01	0	6
Am-241	**1.00**	**487**	63

Cs-137, 250 kBq



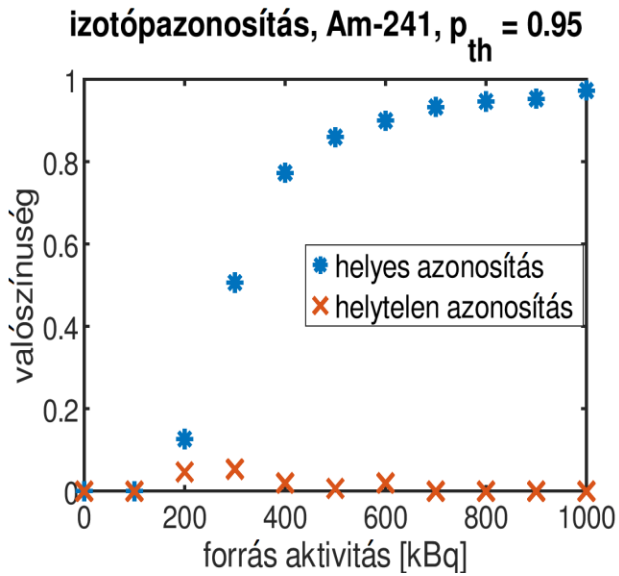
spektrum	találati valószínűség	spektrum arány	spektrum arány hiba
háttér	1.00	0.97	0.06
izotópok a háttéren felül	találati valószínűség	aktivitás [kBq]	aktivitás becsült hiba [kBq]
K-40	0.04	1	7
Mn-54	0.00	0	1
Co-57	0.02	1	6
Co-60	0.06	2	10
Ga-67	0.01	0	4
Tc-99m	0.02	1	7
I-131	0.01	0	3
Ba-133	0.01	0	3
Cs-137	**1.00**	**239**	39
Eu-152	0.04	3	16
Ir-192	0.01	0	2
Tl-201	0.01	0	3
Ra-226	0.01	0	2
Th-232	0.01	0	2
U-235	0.01	0	3
U-238	0.00	0	1
Pu-239	0.02	1	8
Am-241	0.01	0	1

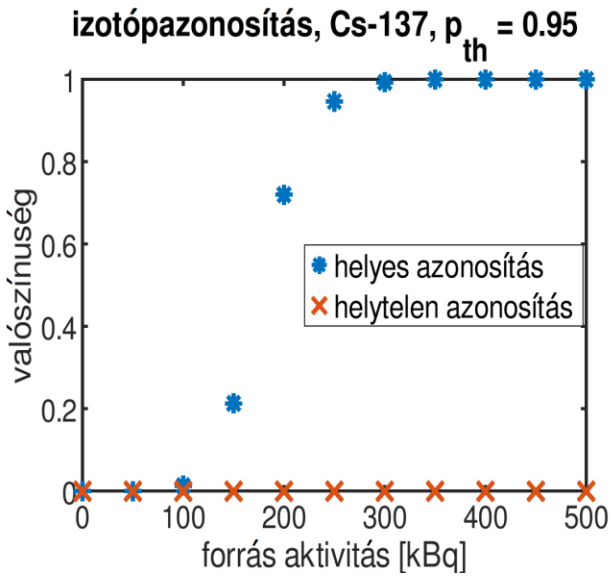
Co-60, 200 kBq

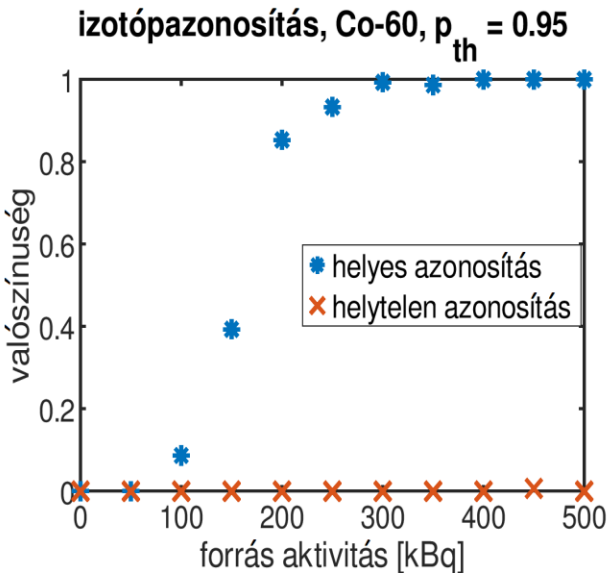


spektrum	találati valószínűség	spektrum arány	spektrum arány hiba
háttér	1.00	1.00	0.09
izotópok a háttéren felül	találati valószínűség	aktivitás [kBq]	aktivitás becsült hiba [kBq]
K-40	0.02	1	5
Mn-54	0.00	0	1
Co-57	0.03	1	7
Co-60	**1.00**	**202**	37
Ga-67	0.04	2	14
Tc-99m	0.03	1	8
I-131	0.01	0	3
Ba-133	0.03	1	8
Cs-137	0.01	0	1
Eu-152	0.04	2	16
Ir-192	0.01	0	4
Tl-201	0.01	0	4
Ra-226	0.01	0	2
Th-232	0.04	1	8
U-235	0.01	0	3
U-238	0.07	2	8
Pu-239	0.12	10	32
Am-241	0.05	2	9

Izotóp azonosítás eredményei







Ritkaság Elősegítő Bayesian (RIB)

Szimuláció vs. tényleges áthaladások

- környezet változása (napszaki változás, háttér változás)
- detektor tulajdonságainak változása (hatásfok, félértékszélesség)
- árnyékolás, visszaszórás

Összefoglalás

- Összbeütés alapú algoritmusok érzékenységét javítottuk az idősorok vizsgálatával.
- 50x200 mm méretű NaI(Tl) szcintillátorral felvett spektrumokra spektrum távolság alapú riasztási algoritmust dolgoztunk ki, valamint idősor vizsgálattal érzékenyítettük.
- Ritkaság elősegítő Bayesian módszeren alapuló izotóp azonosítást és aktivitás becslést fejlesztettünk és validáltuk szabványos áthaladási tesztekkel.
- A fejlesztett algoritmus az IEC 62244:2019 szabványnak megfelelő körülmények esetén 250 kBq Cs-137 forrást tud detektálni, amely 50 kBq javulást jelent az összbeütésen alapuló algoritmushoz viszonyítva.
- A sugárkapukkal szemben támasztott alacsony riasztási szintek és izotópazonosító képességet az újonnan kifejlesztett RaDNDI szcintillációs detektorba integráltuk külső számítógép igény nélkül.

Köszönjük a figyelmet!