

KÖRNYEZETI MINTÁK GAMMA-SPEKTROMETRIÁS VIZSGÁLATA

KOCSONYA András

**HUN
REN**



**HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont
Környezetvédelmi szolgálat**

Hogyan született ez az előadás?

telefonhívás majd e-mail Deme Sándortól

From: deme@aeki.kfki.hu

To: Kocsonya András <kocsonya.andras@ek.hun-ren.hu>

Subject: Fwd: Továbbképzésre előadás javaslatok

Date: 2024-02-08 10:23



Deme Sándor (1936 - 2024)

- Deme Sándor: Dózisteljesítmény mérés
- Elek Richárd: Dózismérés (elmondja Deme Sándor)
- Kocsonya András: Környezeti minták gamma-spektrometriás vizsgálata
- Szűcs László: A sugárvédelmi műszerek hitelesítési módszerei.

Radiológiai és nukleáris létesítmények környezetellenőrzése
a gamma-spektrometria alapjai
a gamma-spektrometria alkalmazási köre
a gamma-spektrometria előnyei / korlátai
a gamma-spektrometria ágai
a gamma-spektrometria eszközei
jó hatásfok és alacsony háttér
gamma-spektrometria hordozható eszközökkel
mennyiségi analízis – hatásfokkalibráció
a kalibráció kiterjesztése kis és nagy energiákra
a nagy térszög következménye: a valódi gamma-gamma koincidencia
műtermékek a spektrumokban: összegcsúcsok, kiszökési csúcsok
gamma-spektrometriás mérések kiértékelése
az elterjedt gamma-spektrometriás programcsomagok előnyei és hátrányai
célkitűzés: az automatizált kiértékelés megbízhatóbbá tétele

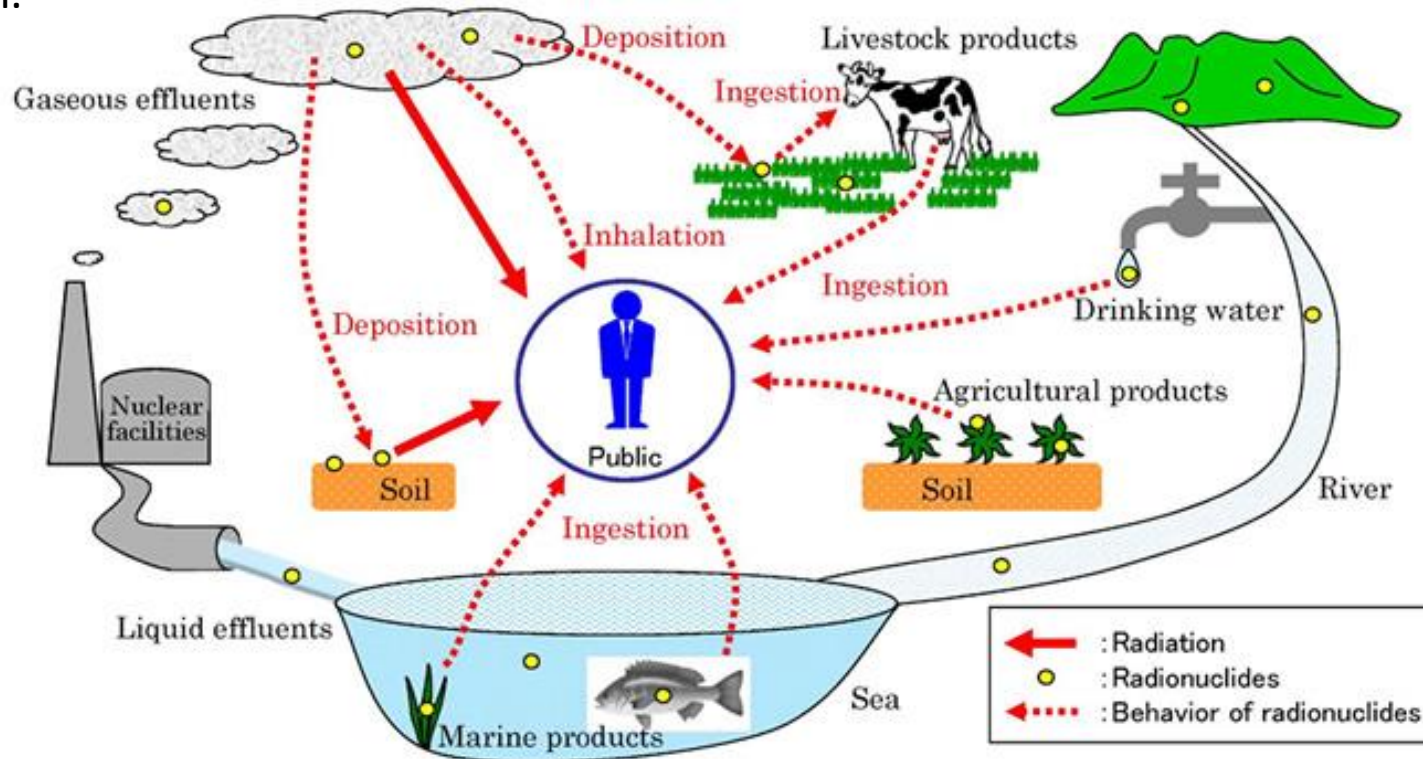
A sugárvédelmi célú környezetellenőrzésének három fő feladata:

- a létesítmény tevékenységéből származó sugárterhelés meghatározása a dolgozókra és a létesítmény környezetében élő lakosságra,
- a létesítményre és környezetére vonatkozó sugárvédelmi kritériumok teljesülésének mérésekkel történő igazolása,
- rendkívüli esemény bekövetkezése esetén adatszolgáltatás az optimális védelmi intézkedésekhez

Normál működése esetén a radiológiai létesítményektől a környezetükre gyakorolt többlet sugárhatás annyira kicsi -- jellemzően nagyságrendekkel kisebb, mint a természetes háttérsugárzás ingadozása -- hogy közvetlen módon nem lehet megmérni.

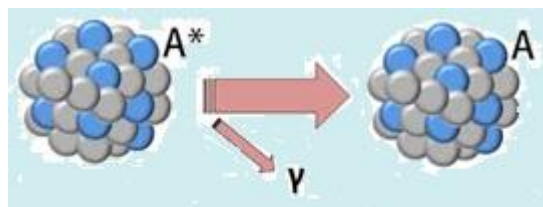
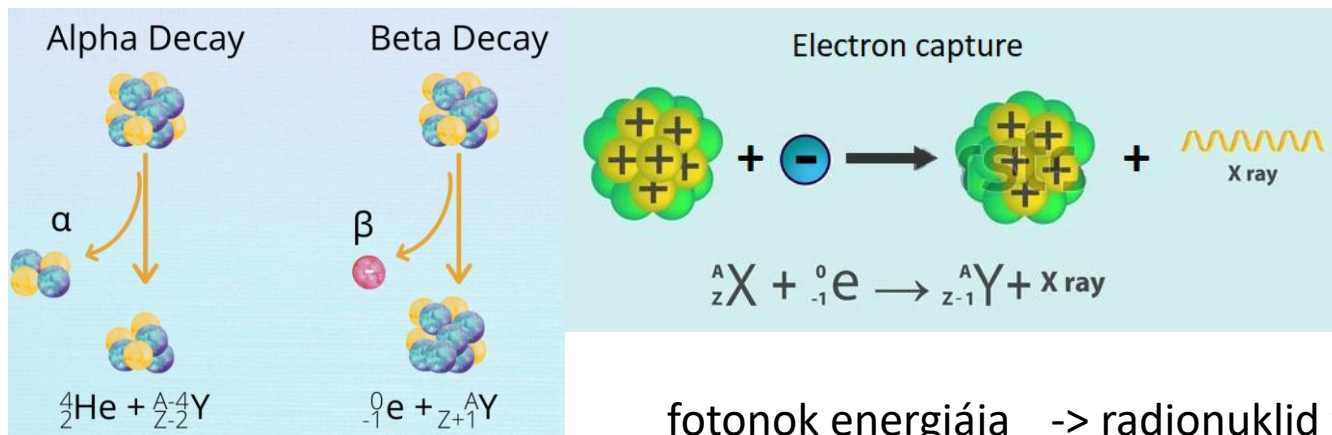
Környezetellenőrzés (nem csak radiológiai): az érzékenységi határok feszegetése.

A környezeti hatások ellenőrzéséhez azonosítani kell a lehetséges kibocsátási útvonalakat, majd a terjedési utak mentén a mérési, illetve mintavételi pontokat és módszereket úgy kell megválasztani, hogy a meghatározandó adatokat a szükséges pontossággal és lefedettséggel meg lehessen adni.



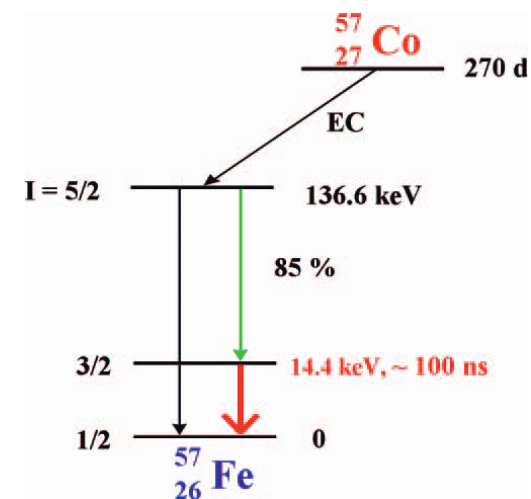
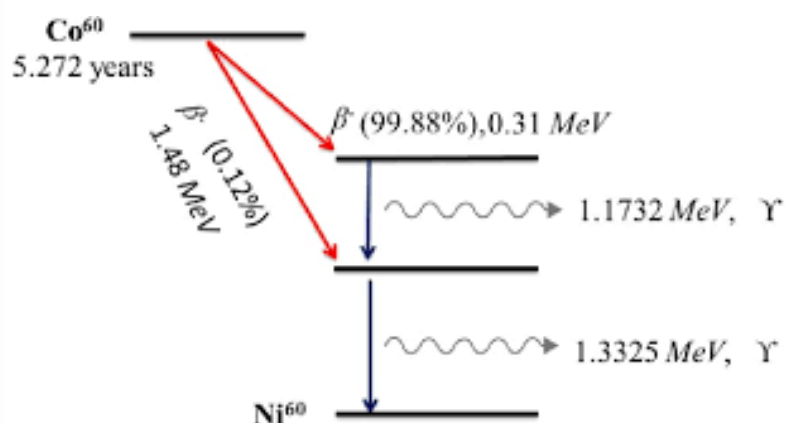
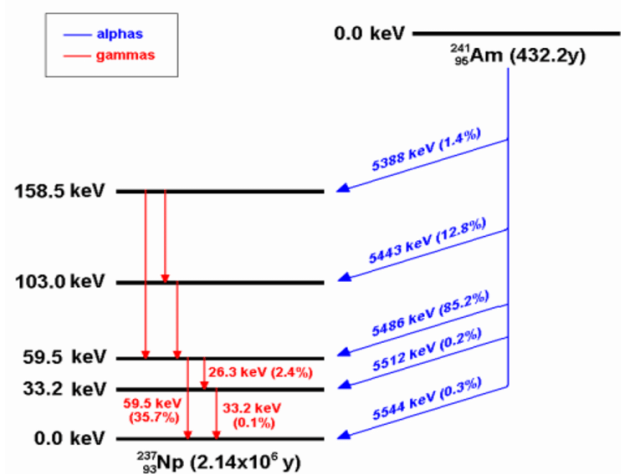
A mintavételi program szerint vett minták vizsgálatára különböző analitikai módszereket használunk. A sugárvédelmi környezetellenőrzés során az egyik elterjedten használt analitikai módszer a **gamma-spektrometria**.

A gamma-spektrometria alapjai



fotonok energiája → radionuklid fajtája

fotonok intenzitása → aktivitás



A gamma-spektrometria alkalmazási köre

- levegő-aktivitáskoncentráció: aeroszol, illetve elemi és szerves jód
- nemesgázok
- légköri kihullás (fall-out)
- talajminták,
- technológiai, felszíni, felszín alatti vizek
- dörzsminták
- indikátornövények (fű, moha, gomba, fa)
- fák évgyűrűi -- hosszabb időskálájú retrospektív monitorozás céljából)
- élelmiszerek, élelmiszer-nyersanyagok (tej, hús, hal -- a fogyasztási szokások szerint)
- takarmányozásra használt növények
- üledékek

A gamma-spektrometria előnyei

- **kevés mintaelőkészítést igényel**

a gamma-fotonok áthatolóképessége viszonylag nagy -> kicsi önabszorpció (kivéve kis energiák)
a környezeti minták nagy része, tömbi anyagok, vastag minták is különösebb előkészítés nélkül mérhetők

kisebb geometriai eltérések előfordulhatnak, főleg nagyobb minta-detektor távolság esetén
pontosabb mérésekhez homogenizálás illetve tömegállandóságig történő szárítás szükséges

- általában egy méréssel a mintában található valamennyi gamma-sugárzó radionuklid megmérhető
speciálisabb esetekben a mintában található kis-és nagy energiájú gamma-sugárzókat új két külön detektorral érdemes mérni

ha technikailag megvalósítható, akkor a két detektor egyszerre nézi a mintát és párhuzamosan mehet a mérés



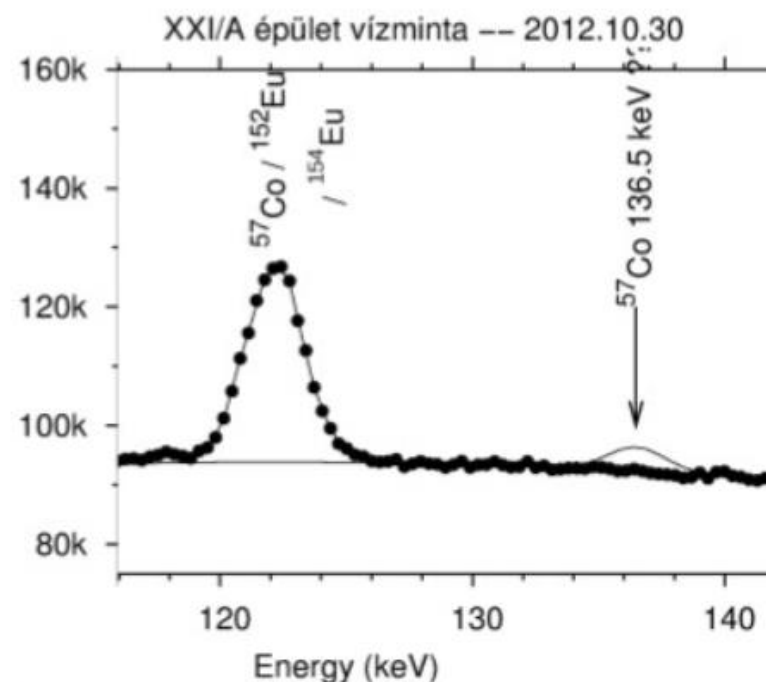
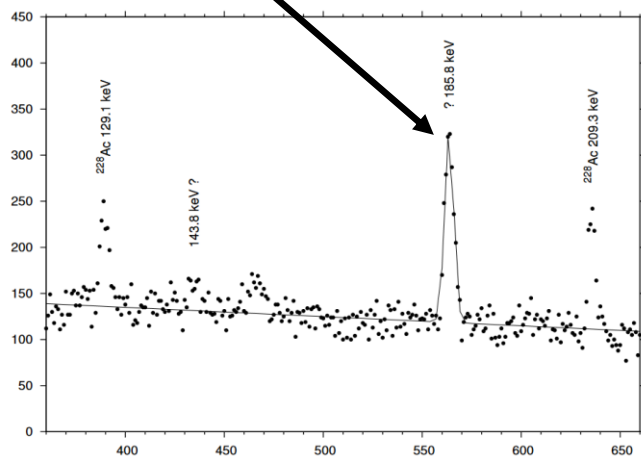
A gamma-spektrometria főbb korlátai

- Nem mérhetők gamma-spektrometriával a csak béta-sugárzó radionuklidok ^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{90}Sr , ...
- Rosszul mérhetők gamma-spektrometriával azok a radionuklidok, amelyeknek jellemzően kis energiájú, illetve alacsony relatív gyakoriságú gamma-vonalaik vannak.
például a természetes bomlási sorok tagjainak egy része
- Egymáshoz közel eső gamma-vonalak esetén a nuklidazonosítás és mennyiségi analízis bizonytalanná válhat.

(a) $^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{222}\text{Rn}$

(b) $^{235}\text{U} \rightarrow ^{231}\text{Th}$

$T_{1/2} = 1600 \text{ év}$		$T_{1/2} = 7.04 \times 10^8 \text{ év}$	
energia (keV)	gyakoriság (%)	energia (keV)	gyakoriság (%)
186.211	3.59	109.16	1.54
		143.746	10.96
		163.358	5.08
		185.712	57.2
		205.309	5.01

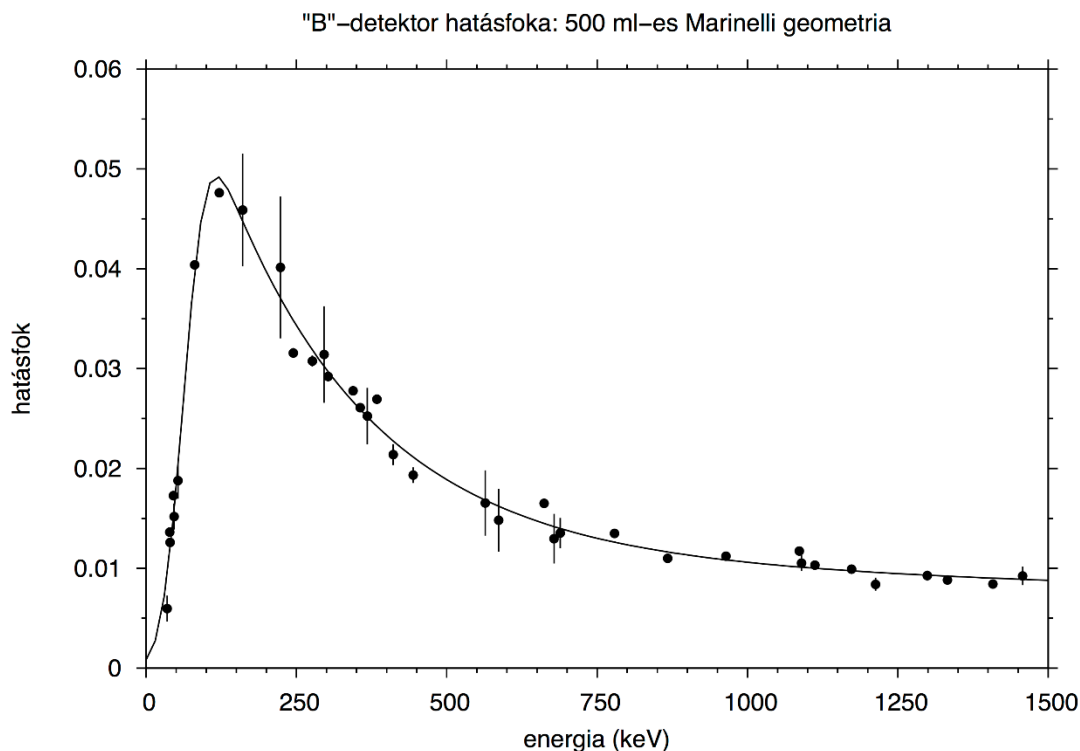


A gamma-spektrometria főbb korlátai

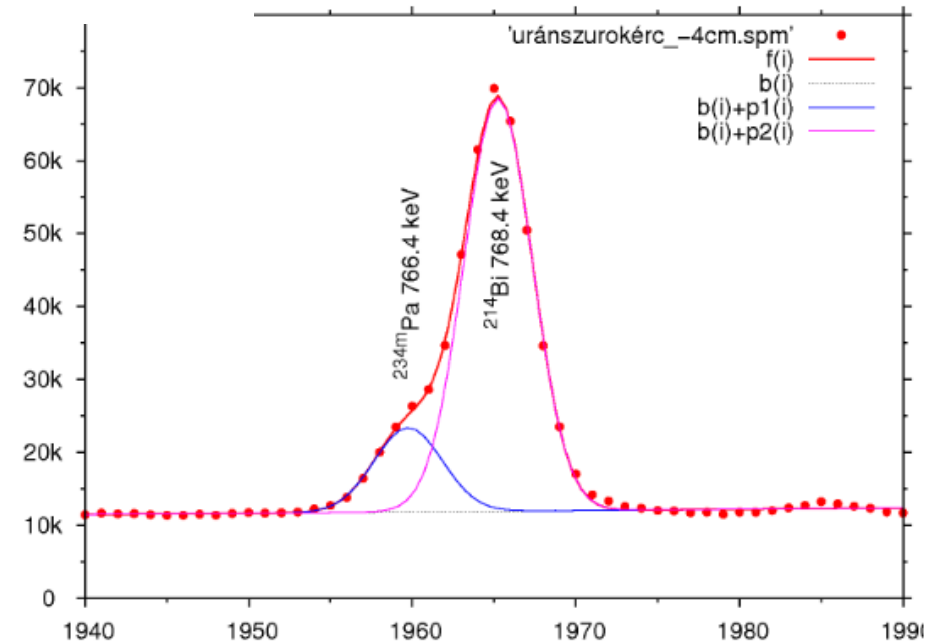
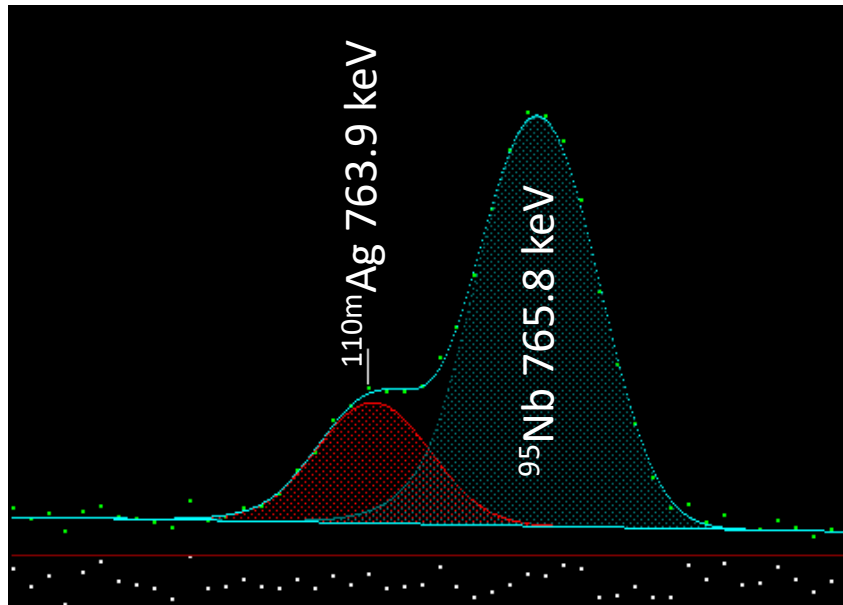
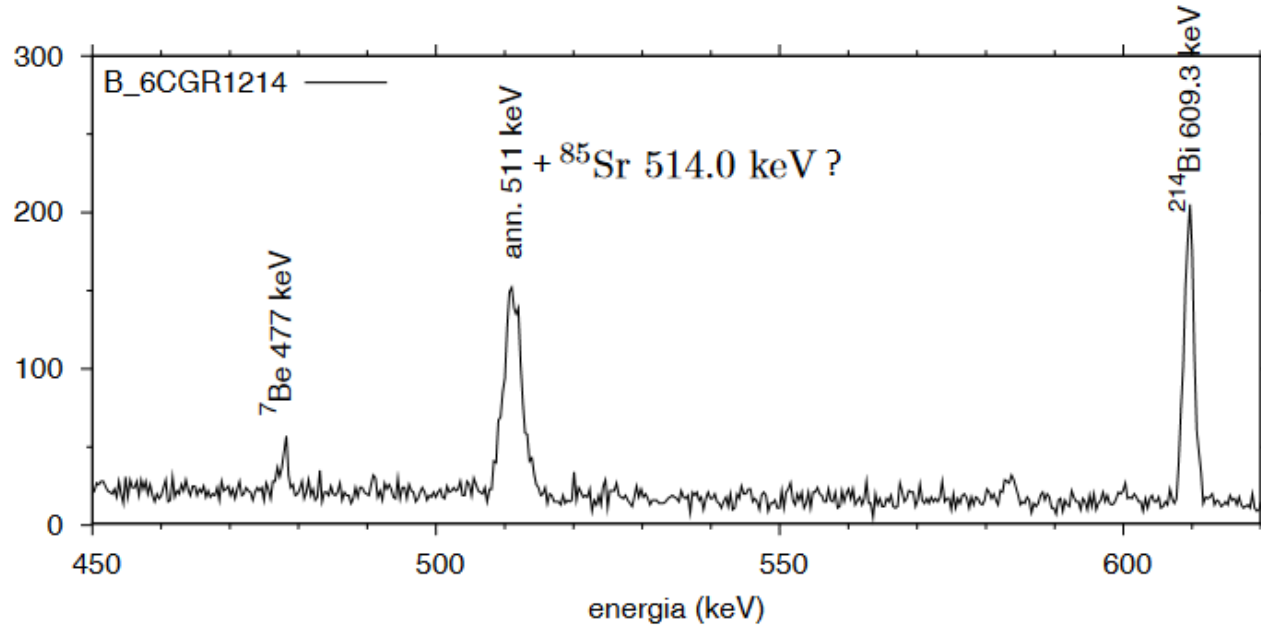
A jó kimutatási határ eléréséhez azonban viszonylag hosszú mérési időkre van szükség.

A környezetellenőrzés gyakorlatában az **egy éjszakás mérési idő** teljesen általános, így **naponta egy minta** mérhető meg egy spektrométerrel.

A KFKI-telephelyen rendelkezésre álló alacsony háttérű gamma-spektrometriai mérőhelyeken a szokásos gamma-sugárzó radionuklidok többségére **néhányszor 10 mBq kimutatási határ** érhető el egy éjszakás mérési idő esetén.

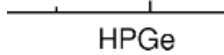


A gamma-spektrometria főbb korlátai – vonalátfedések

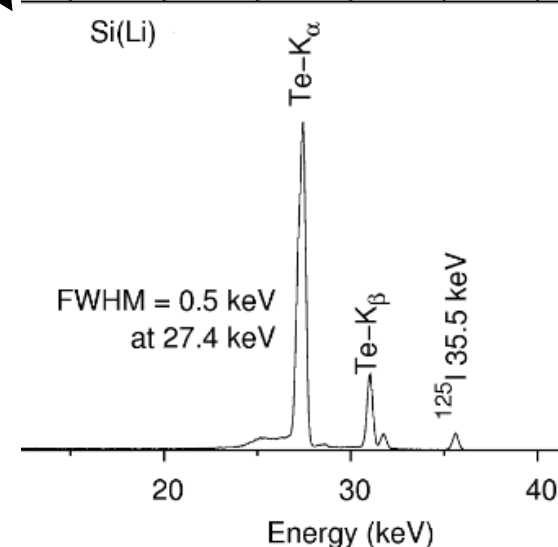
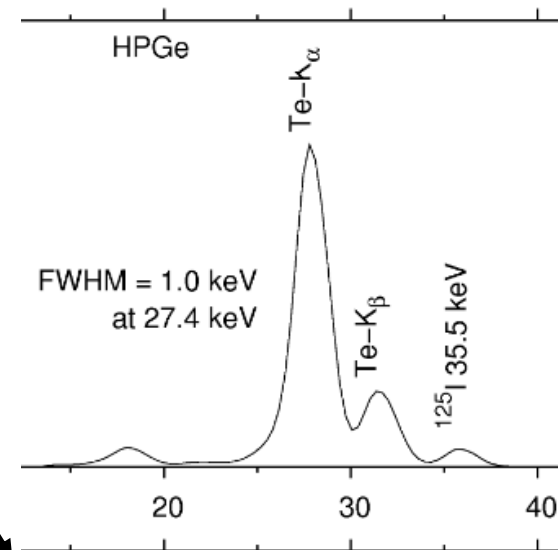
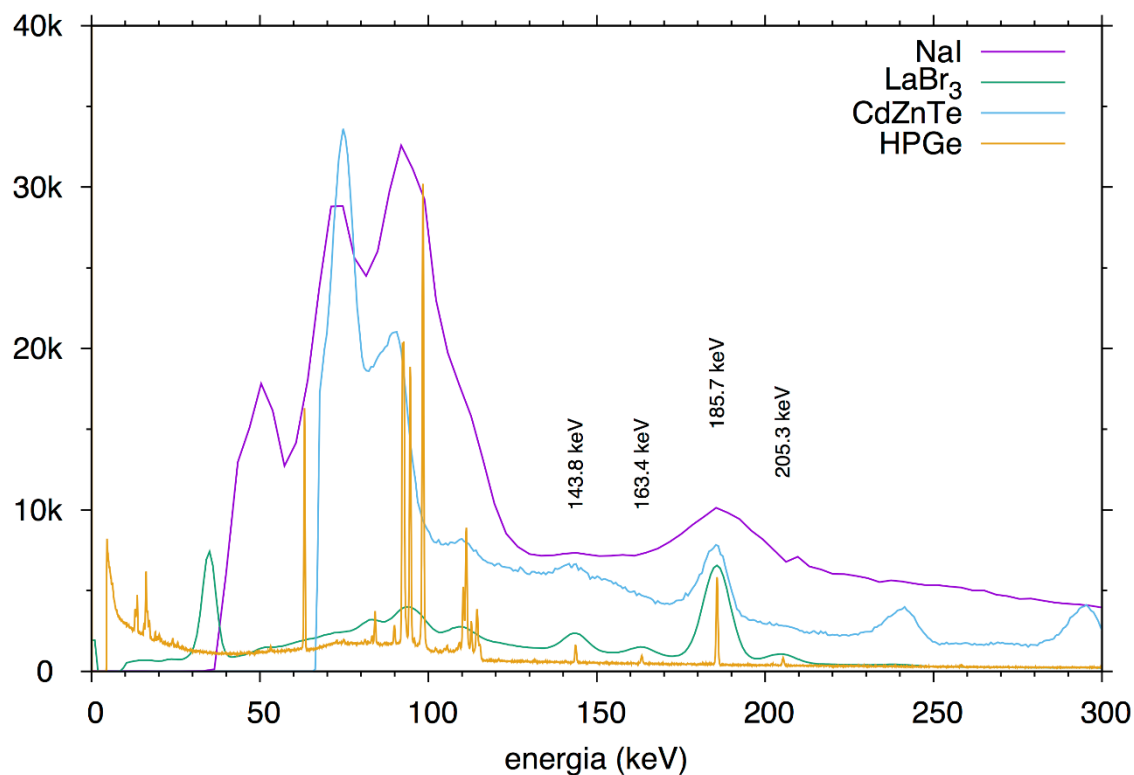


A gamma-spektrometria ágai

szcintillációs:	Nal(Tl)	kis felbontású	} gamma-spektrometria
félvezető:	LaBr ₃	közepes felbontású	
	CdZn, CdZnTe		
	Ge(Li), HPGe	nagy felbontású	
	Si, Si(Li)	elsősorban röntgendetektálásra, ott még nagyobb felbontása van	



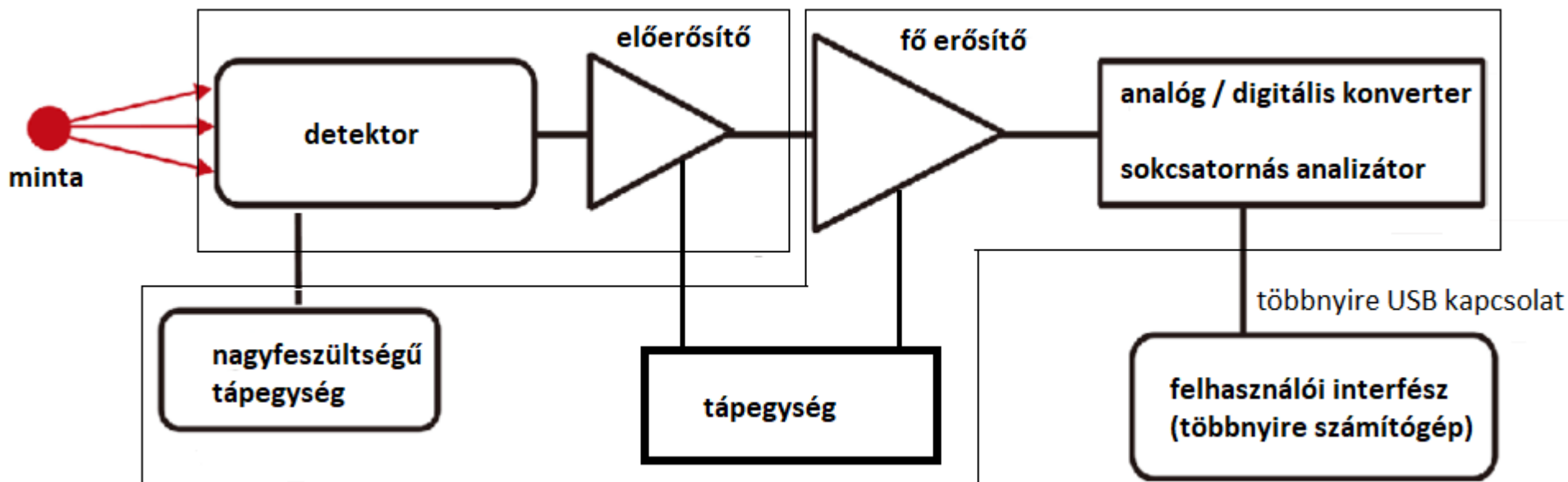
²³⁵U spektrumok 4 detektoron



A gamma-spektrometria eszközei

A gamma-detektorok két fő típusa

- szcintillációs detektor: gamma-foton beérkezésekor fényfelvillanás keletkezik, amit fotoelektron-sokszorozó alakít elektromos impulzussá
- félvezető detektor: gamma-foton beérkezésekor a félvezető kristályban elektronok a vegyértéksávból a vezetési sávba $\rightarrow$ elektron-lyuk párok $\rightarrow$ elektromos impulzus
statikus elektromos tér a félvezető kristály belsejében



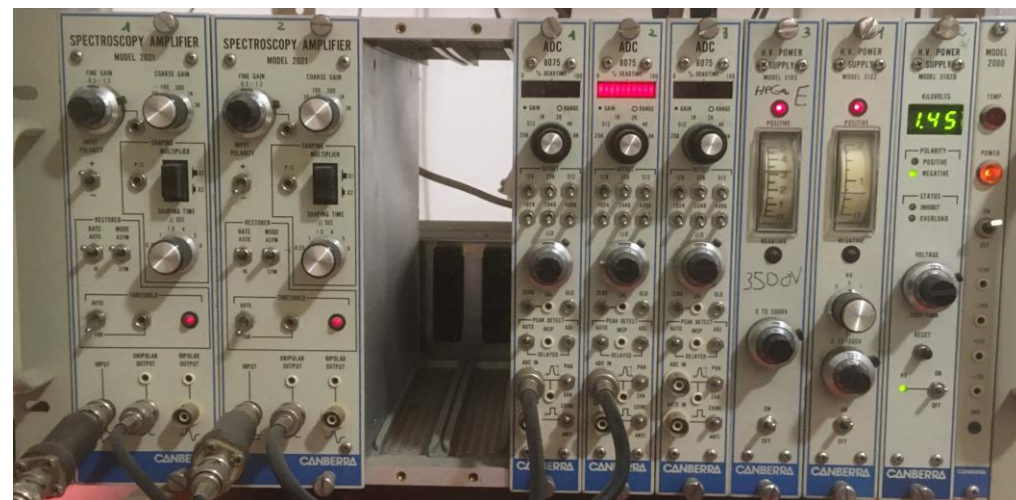
A gamma-spektrometria eszközei - detektorok



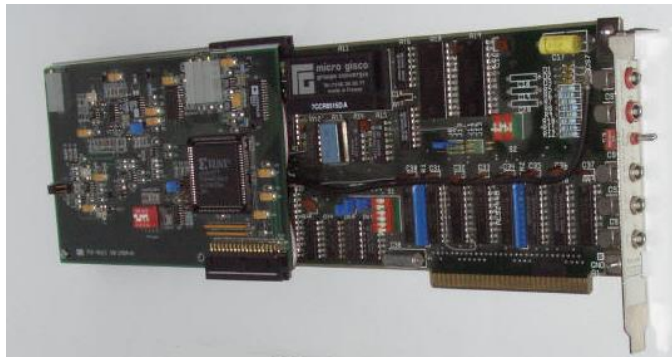
A gamma-spektrometria eszközei – analizátorok – a múlt



HVPS amplifier ADC multiport



A gamma-spektrometria eszközei – analizátorok – a jelen



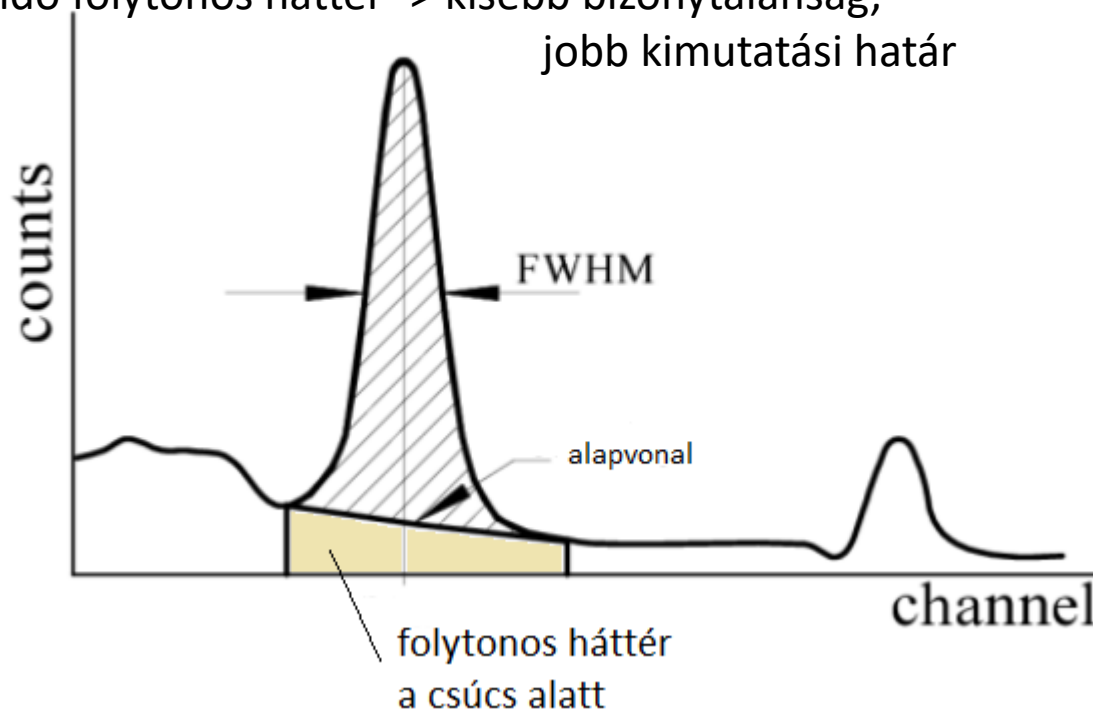
A hatékony analízis kulcsa: jó hatásfok és alacsony háttér

jó detektálási hatásfok: a mintában keletkező fotonok jelentős részét meg tudjuk számolni

alacsony háttér: jó jel / zaj arány, a háttér nem fed el azt, amit mérni akarunk

az energiafelbontás hatása a mérési bizonytalanságra és a kimutatási határra:

jobb energiafelbontás -> kisebb a levonandó folytonos háttér -> kisebb bizonytalanság,
jobb kimutatási határ

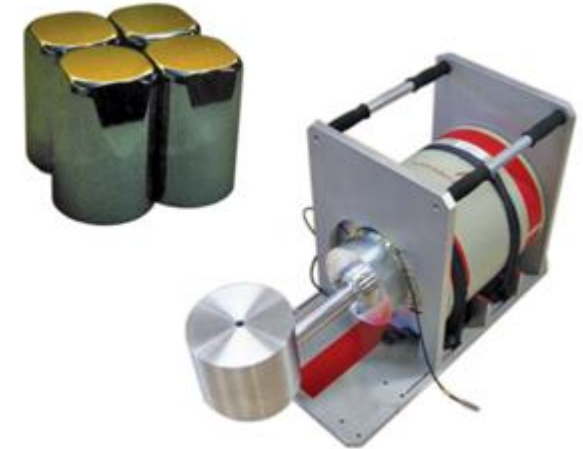
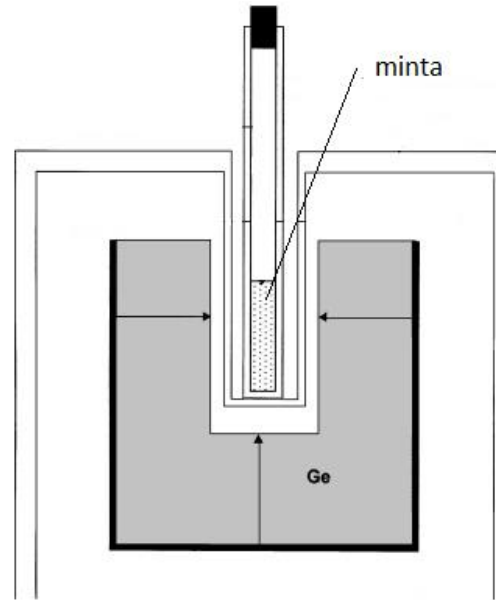
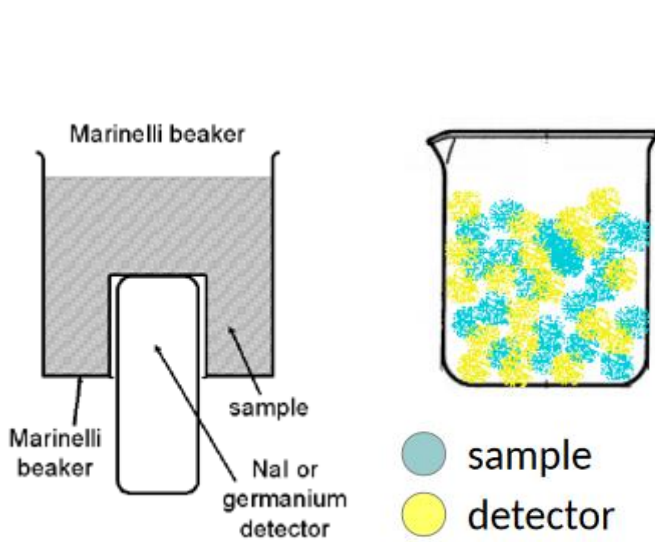


A gamma-detektorok hatásfokát %-ban szokás megadni: azt mutatja meg, hogy pontszerű sugárforrás esetén, 30 cm forrás-detektor távolság esetén a ^{60}Co 1332.5 keV-es csúcsának intenzitása hogy viszonyul ugyanilyen körülmények között egy 3"×3"-es NaI szcintillációs detektorhoz.

Környezetellenőrzésben manapság 30 – 60% közötti detektorokat használnak.

A hatások növelésének lehetőségei és korlátai

jó geometriai hatások -> nagy térszög: a mintából kilépő gamma-fotonok minél nagyobb része érje el a detektort: **közeli geometria**



True Well Clover detector
4x80x90

Marinelli-edény folyadékszcintilláció (LSC)

üreges detektor (well-type)

lóhere típusú detektor (glower-type)

környezeti minták többségénél a minta korlátlan mennyiségben rendelkezésre áll

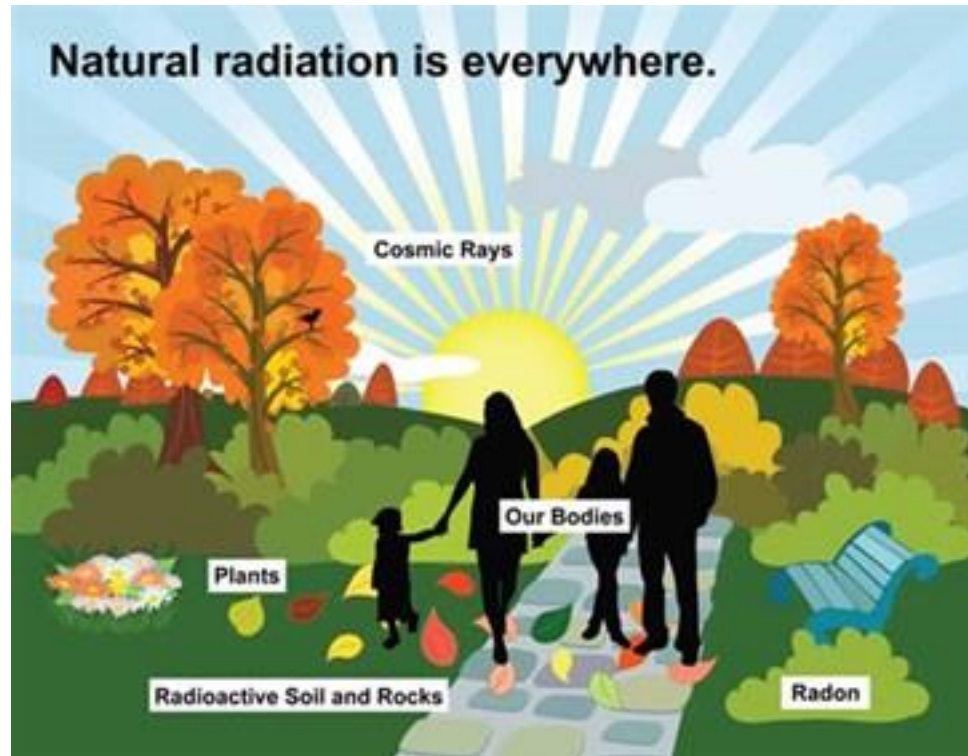
A Marinelli-edény előnyös de kis energiáknál elvész az előny

kis méretű mintáknál előnyös vagy ha a minta tömöríthető Pl. aeroszol szűrő



A háttér fő összetevői

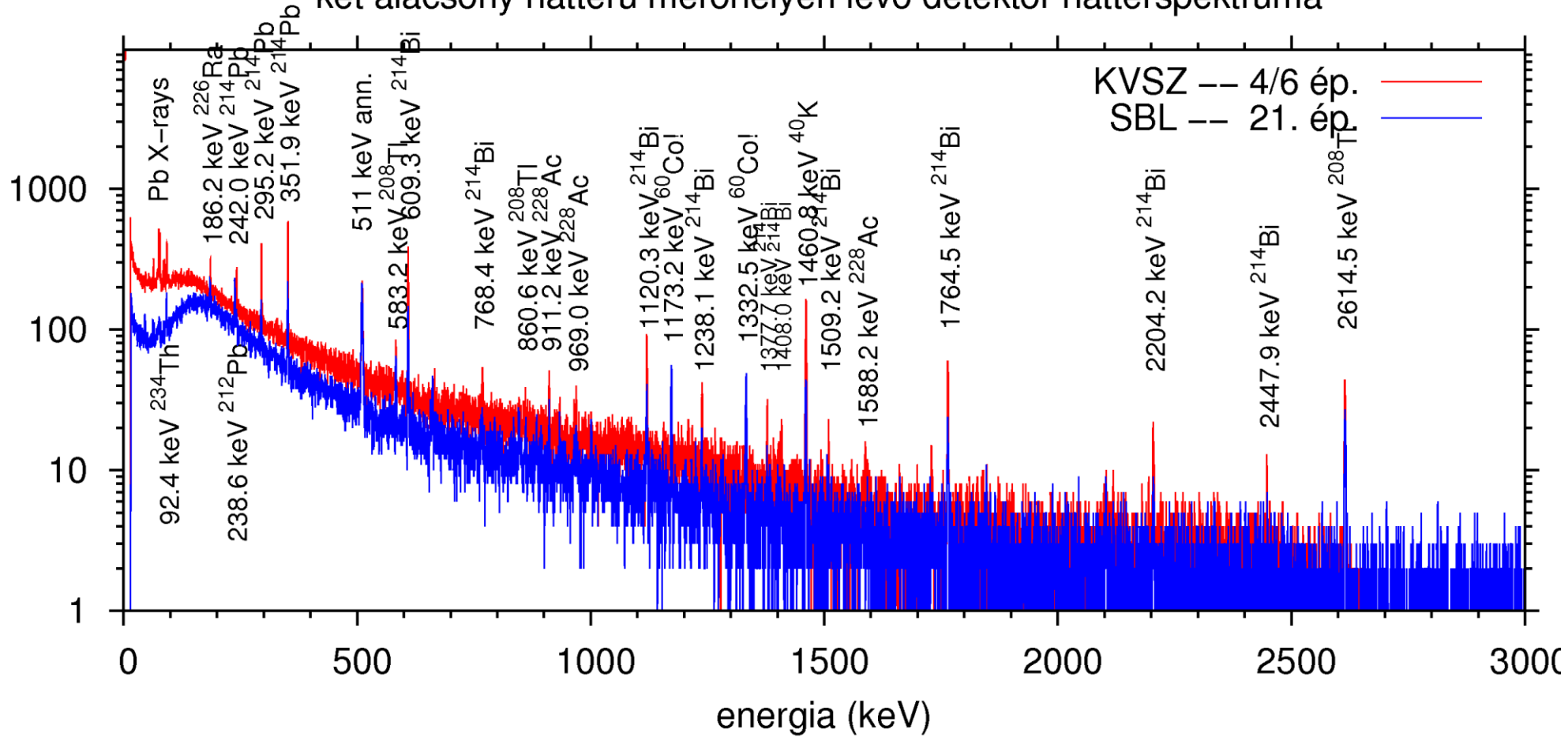
- természetes bomlási sorok (^{238}U és ^{232}Th) és más természetes radionuklidok (^{40}K) a környezetben
- radon és bomlástermékei
- kozmikus sugárzás és az általa keltett másodlagos sugárzások



Háttérspektrumok – földfelszíni alacsony háttérű mérőhelyeken



két alacsony háttérű mérőhelyen levő detektor háttérspektruma



A háttércsökkentés lehetőségei

Mi ellen?	passzív háttércsökkentés	aktív háttércsökkentés
radon	A mérőkamra légmentes lezárása és néhány nap várakozás a bentrekedt radon lebomlásáig	szellőztetés szűrt levegővel átöblítés semleges gázzal a radon kiszorítására
természetes radionuklidok	vastag árnyékolás a minta és a detektor körül ólomtorony, vaskamra, többrétegű árnyékolás a másodkagos sugárzás csökkentésére	speciálisan alacsony radionuklid-tartalmú anyagok a detektor körül / épületben
kozmosz sugárzás	árnyékolás föld alatti laboratórium	a detektálás elektronikus blokkolása kozmikus részecske detektálása esetén (Cosmic-veto)
mesterséges radionuklidok a mérőhely környezetében	árnyékolás	sugárforrásokat ne tároljunk a mérőhely környezetében szennyeződések megelőzése: a különböző aktivitás-szintek különválasztása

A háttércsökkentés lehetőségei – passzív módszerek

ólmotorony



vaskamra



többrétegű árnyékolás
(vas – ólom - réz)
a másodkagos sugárzás
csökkentésére

Mindkettőnél régi anyagok használata előnyös:

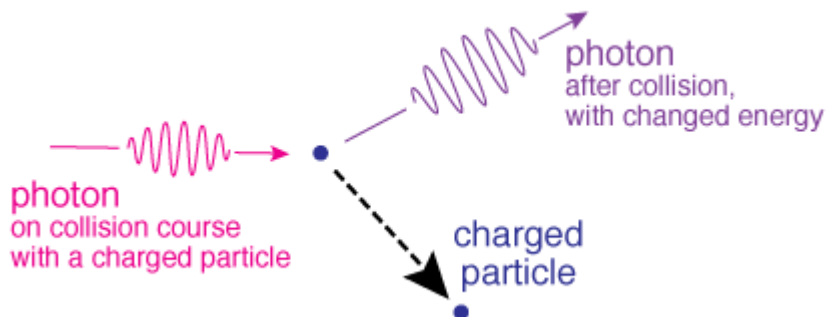
- ólom esetén minél régebbi ólom, a ^{210}Pb ($T_{1/2}=22$ év) lebomlása miatt.
- vas esetén a nukleáris technikák világméretű elterjedése előtti (II. világháború előtti) vasanyag
Magyarországon több alacsony háttérű mérőhely készült a régi Erzsébet-híd vasalkatrészeiből

A háttérscökkentés lehetőségei

COVERT = COsmic VEto for the Reduction of Total background

plastik szcintillátorok a detektor körül,
elsősorban fölötte (ott vastagabb)

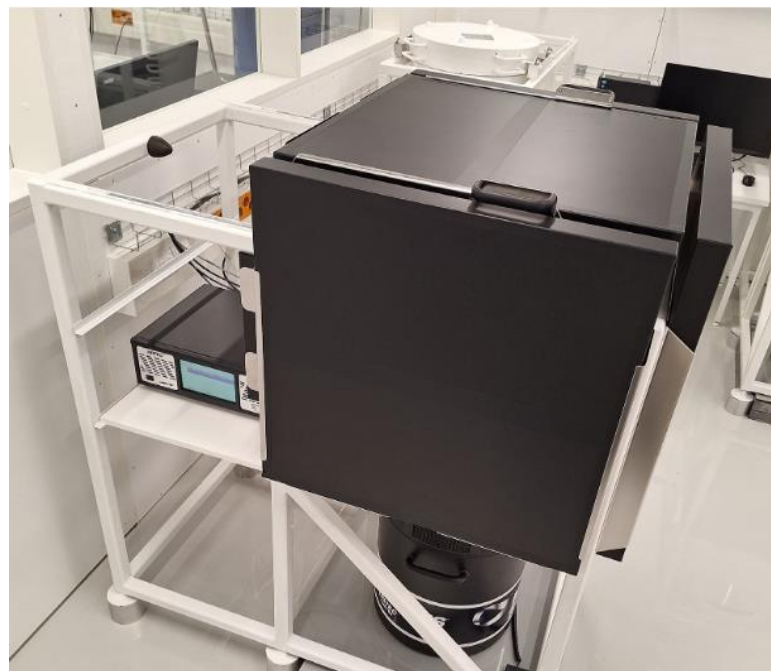
Az elektronika letiltja a detektálást,
ha kozmikus részecske érkezik



COSSU = Compton Suppression Shield

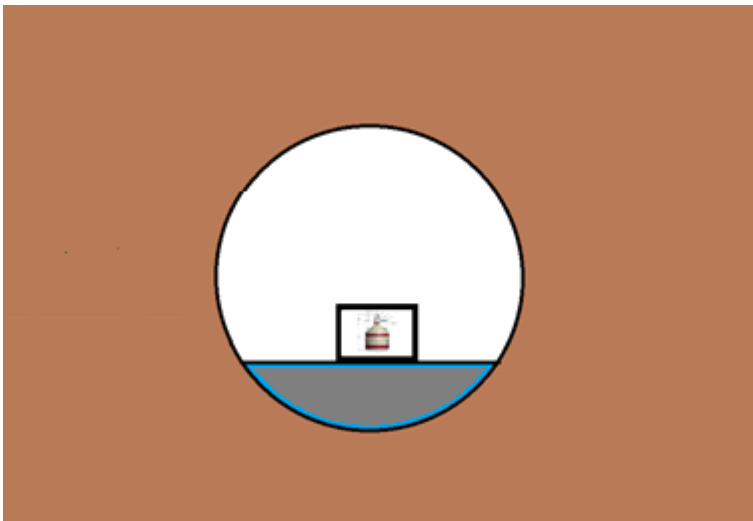
A fő HPGe detektor közén,
amit szcintillációs detektorok vesznek körül.

Ha a fő detektor és a körülvevő szcintillációs detektorok valamelyike egyszerre ad jelet, az compton-szóródásra utal, és az elektronika letiltja az adatgyűjtést.



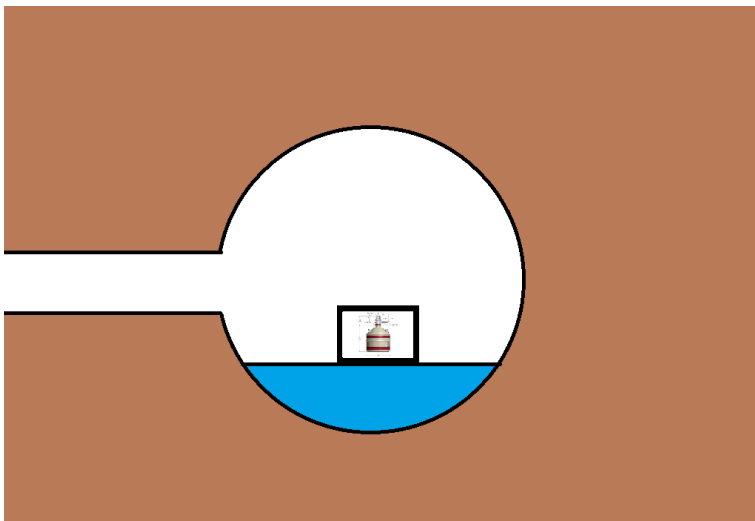
A háttérscsökkentés lehetőségei – néhány fantázia

a kozmikus sugárzás ellen: menjünk a föld alá

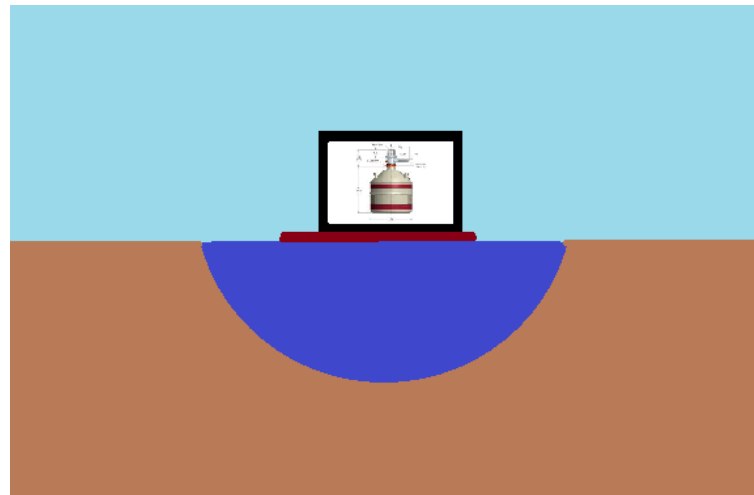


Probléma: 4π térszögben körülvesz a kőzet
föld alatti üregekben felé tud dúsulni a radon

A kettőt kombinálva: tó egy barlangban

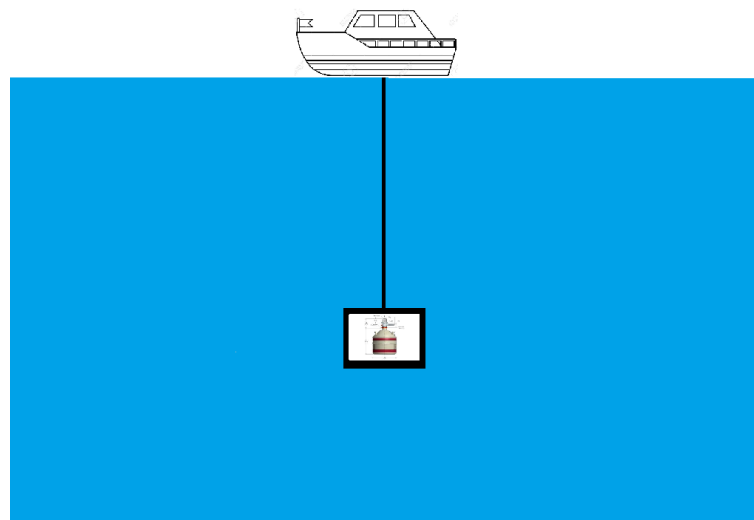


a talajban levő természetes radionuklidok ellen:
menjünk egy tó fölé



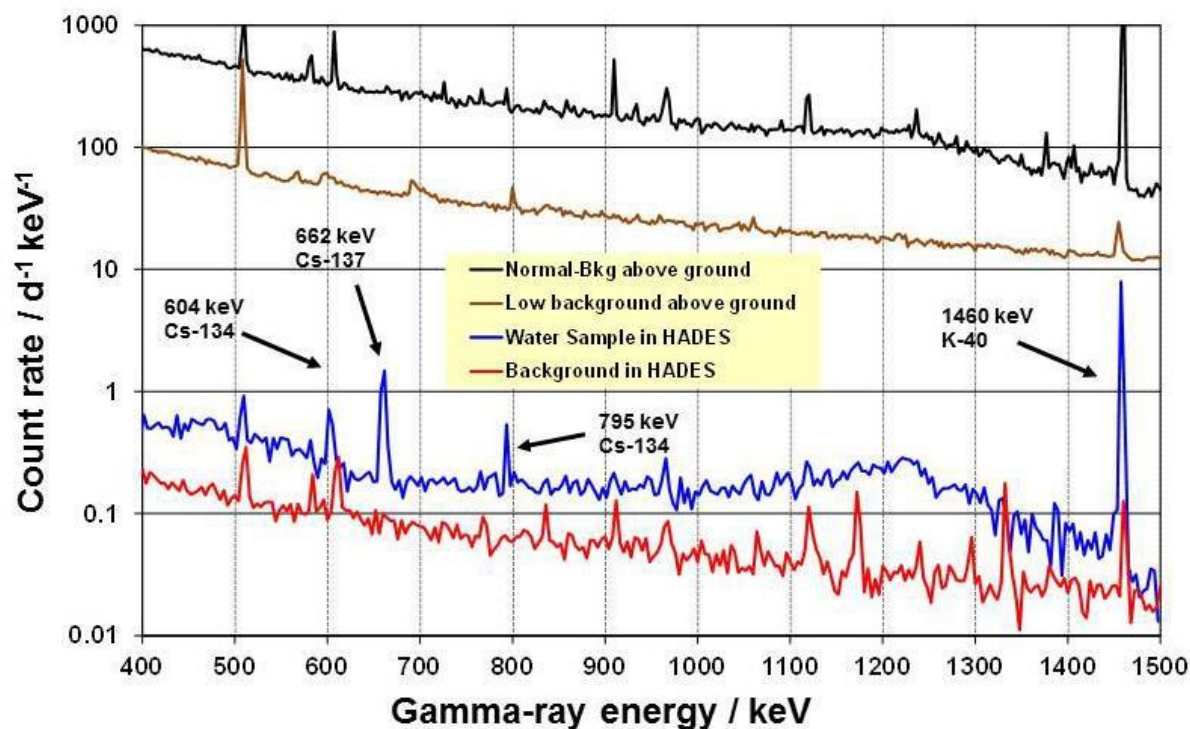
Vagy víz alatt?

Ekkor a talaj természetes radionuklid tartalmát és
a kozmikus sugárzást egyaránt távol tartjuk.



Háttér egy földalatti alacsony háttérű mérőhelyen

HADES, JRC, Mol, Belgium



Gamma-spektrometria hordozható eszközökkel

hordozható szcintillációs spektrométerek

fő funkciók:

- Dózisteljesítmény-mérés (neutron is)
- nuklid-azonosítás – beépített kiértékelő algoritmus
- keresés



hordozható HPGe
félvezető spektrométer



Környezeti in-situ gamma-spektrometria



célszerű beépített
akkumulátoros
analizátort használni
-- nem kell elektromos
hálózat



A megbízható kvantitatív elemzés kulcsa: a jó kalibráció

A mennyiségi analízis alapja az aktivitás és a vonalintenzitás közötti $I = A \times p_\gamma \times \varepsilon$ összefüggés.

ahol

- I a mért intenzitás (időegységre jutó nettó beütésszám), ami a nettó csúcs alatti területből határozható meg
- A a minta aktivitása,
- p_γ a kérdéses vonal relatív vonalintenzitása, gamma-spektroszkópiai táblázatokban megtalálható,
- $\varepsilon(E)$ a detektor hatásfoka az analízisre használt vonal E energiáján, amit a detektor hatásfok-kalibrációjával lehet meghatározni.

Az összefüggés átrendezésével a mért I intenzitásból az $\varepsilon(E)$ hatásfok ismeretében az A aktivitás kiszámítható

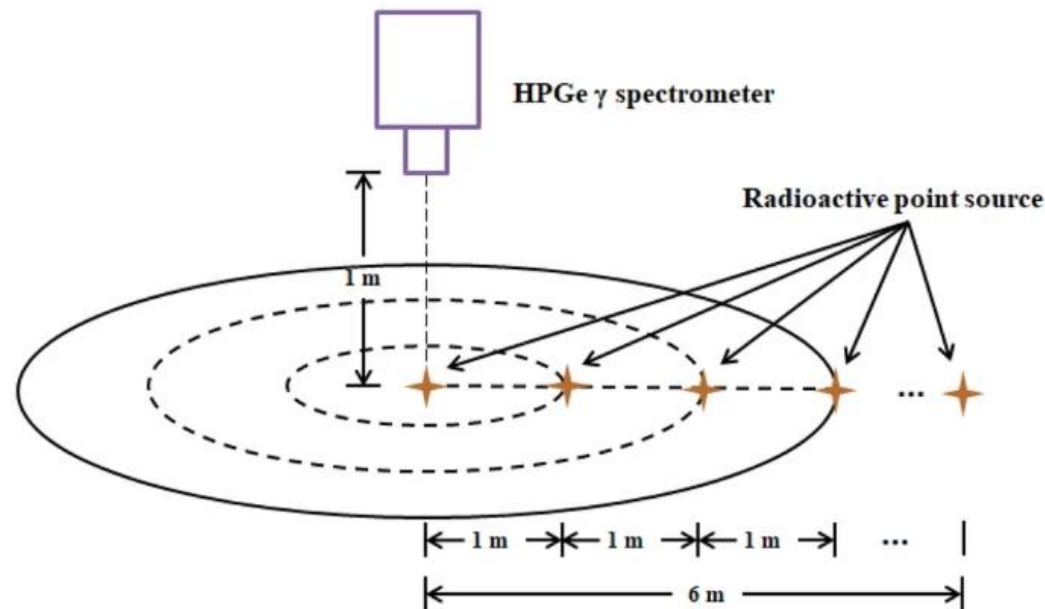
$$A = \frac{I}{p_\gamma \times \varepsilon(E)}$$

Fizikai <-> számításon / szimuláción alapuló kalibráció

A matematikai úton történő kalibráció gyors, flexibilis, kényelmes, változó kísérleti körülmények könnyen követhetők.

Feltételei:

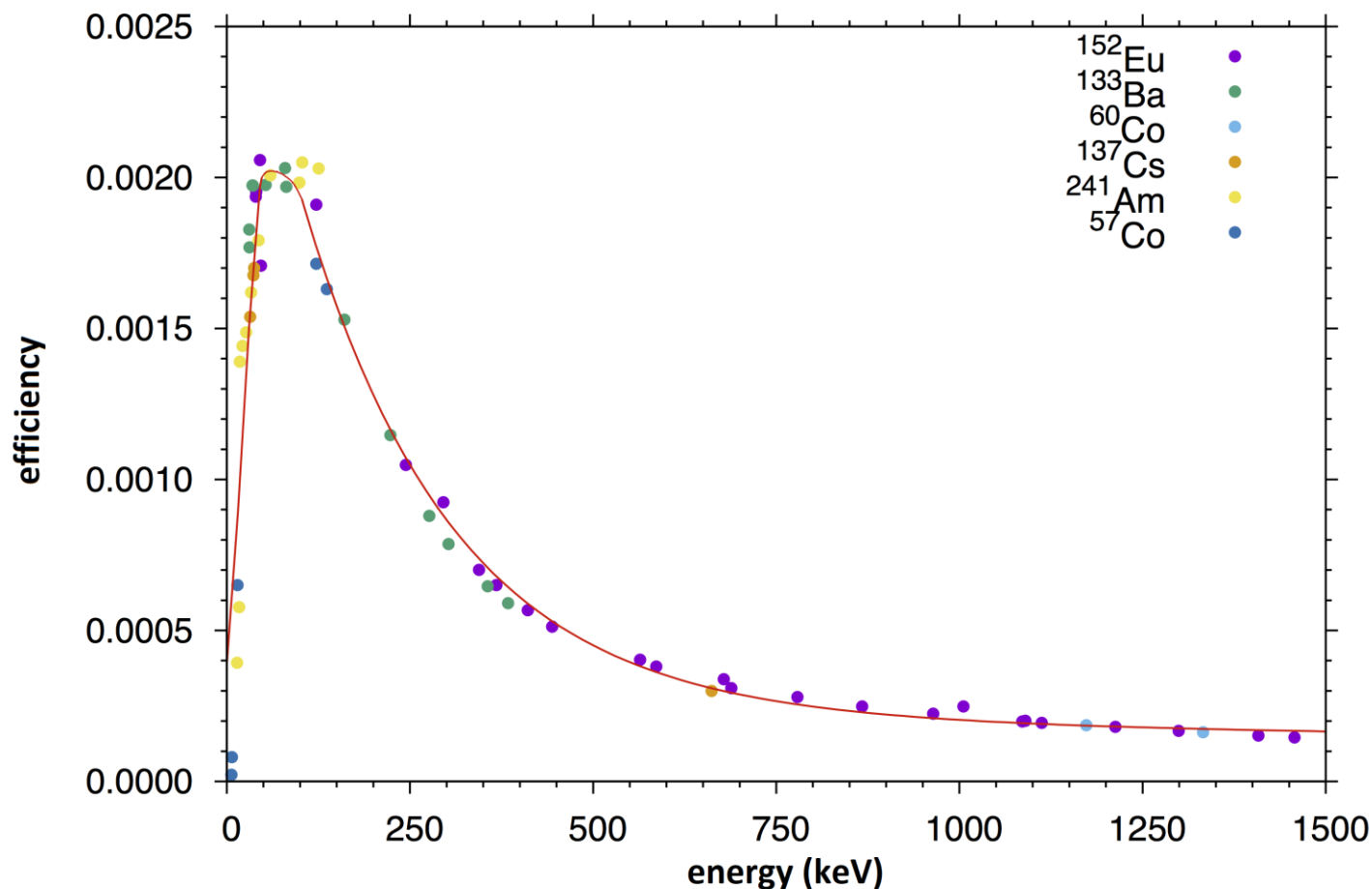
- karakterizált detektor – a gyártótól beszerezhető, pluszpénzért vagy magunk is elkészíthetjük, pl. röntgenátvilágítás
- a mérési geometria, összetétel, sűrűség, rétegvastagság ismerete



A pontforrással felvett, fizikai sztenderdekkel végzett kalibráció a kiindulópontja lehet a további geometriákra végzett matematikai kalibrációnak. Programcsomagok: LabSOCS, EFFTran, Geant4, GESPECOR, DECCA, ...

Hogyan vegyünk fel jó hatásfokgörbét

Canberra BE2825 efficiency -- point source, d= 30 cm



Mottó: egy jó kalibráció időálló
és egyszer kell jól megcsinálni.

Próbáljun minél több pontot kinyerni
a kalibráló spektrumokból
a hatásfokgörbe megszerkesztéséhez.

61 pont (energia-hatásfok):

^{152}Eu : 26
 ^{133}Ba : 13
 ^{60}Co : 2
 ^{137}Cs : 4
 ^{241}Am : 11
 ^{57}Co : 5

Energia: 6.4 keV – 1457.6 keV

A kalibráció kiterjesztése kis és nagy energiákra



részlet egy MIX kalibráló sugárforrás műbizonylatából:
a kibocsátott gamma-energiák és intenzitások
energia-intervallum: 32 keV – 1836 keV

Nuclide	Energy [keV]	Yield [%] IAEA TECDOC 619	Expanded Uncert. [%]
Cs-137	32.1	5.540	1.60
Am-241	59.54	35.680	1.50
Cd-109	88.03	3.626	5.80
Co-57	122.1	85.510	1.40
Co-57	136.47	10.710	1.40
Ce-139	165.9	79.900	1.40
Sn-113	255.00	2.110	4.00
Cr-51	320.1	9.870	1.90
Sn-113	391.7	64.940	4.00
Sr-85	514.0	98.500	1.60
Cs-137	661.7	84.990	1.60
Y-88	898.0	93.900	1.70
Co-60	1173	99.850	1.50
Co-60	1333	99.983	1.50
Y-88	1836	99.380	1.50
Össz.:			

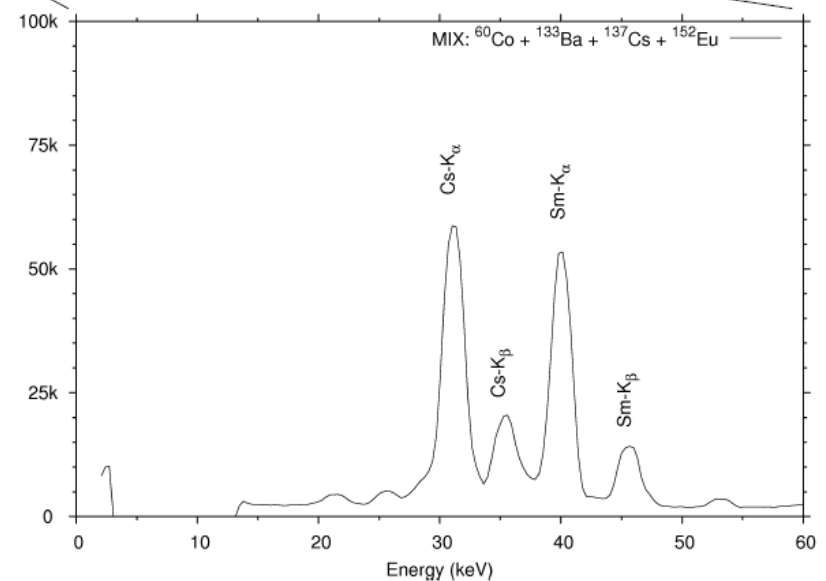
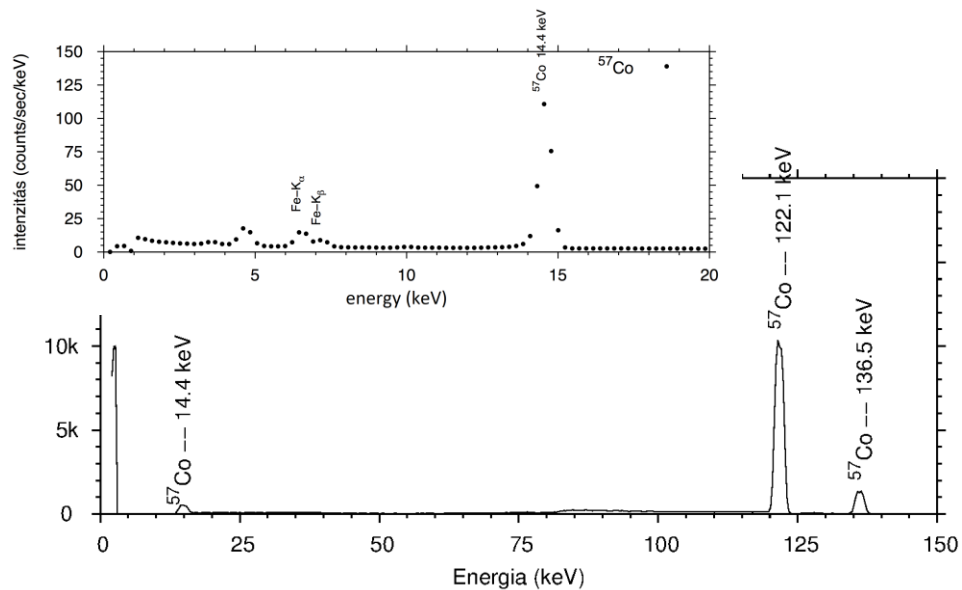
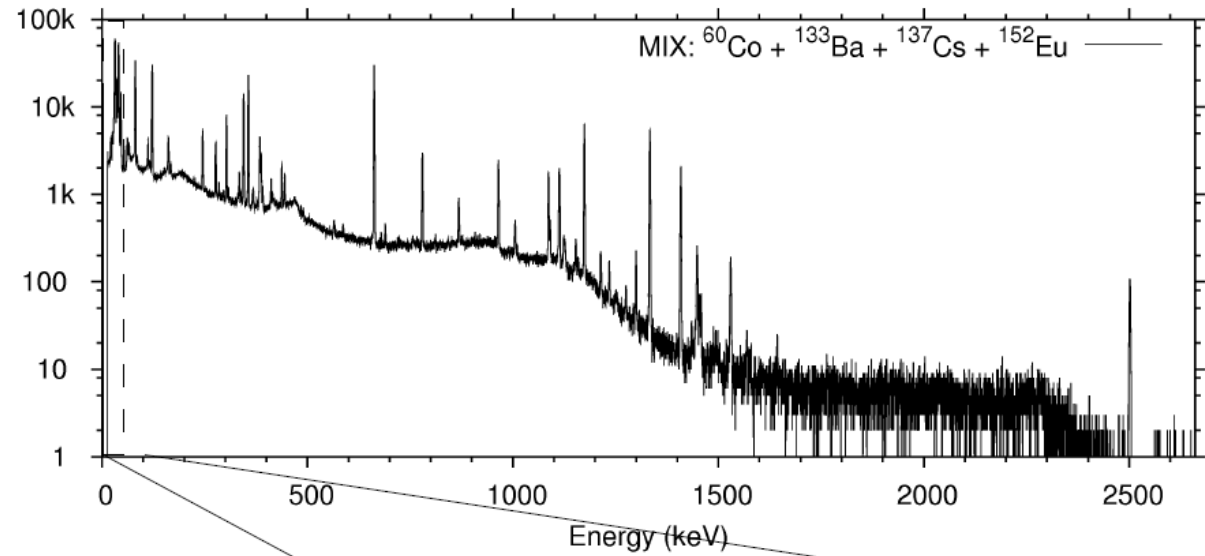
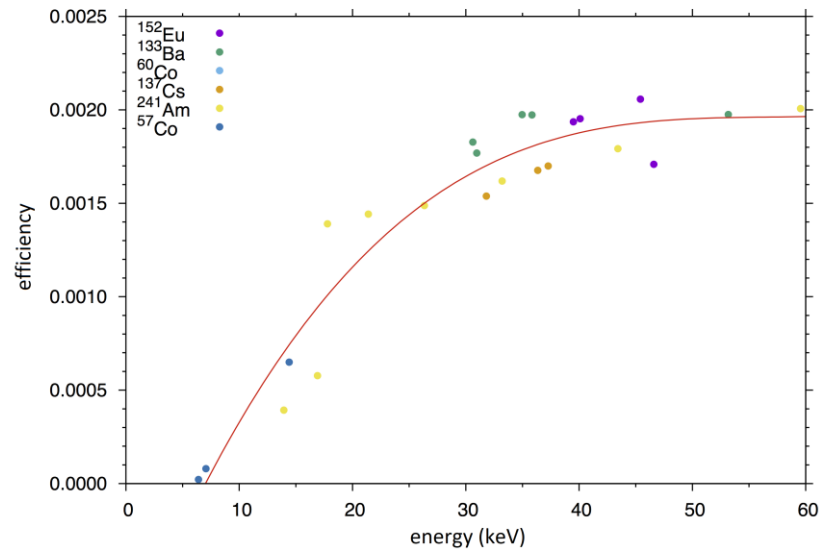
^{125}I : 27.4 keV

^{24}Na : 1368.6 keV, 2754.0 keV

^{208}Tl : 2614.5 keV

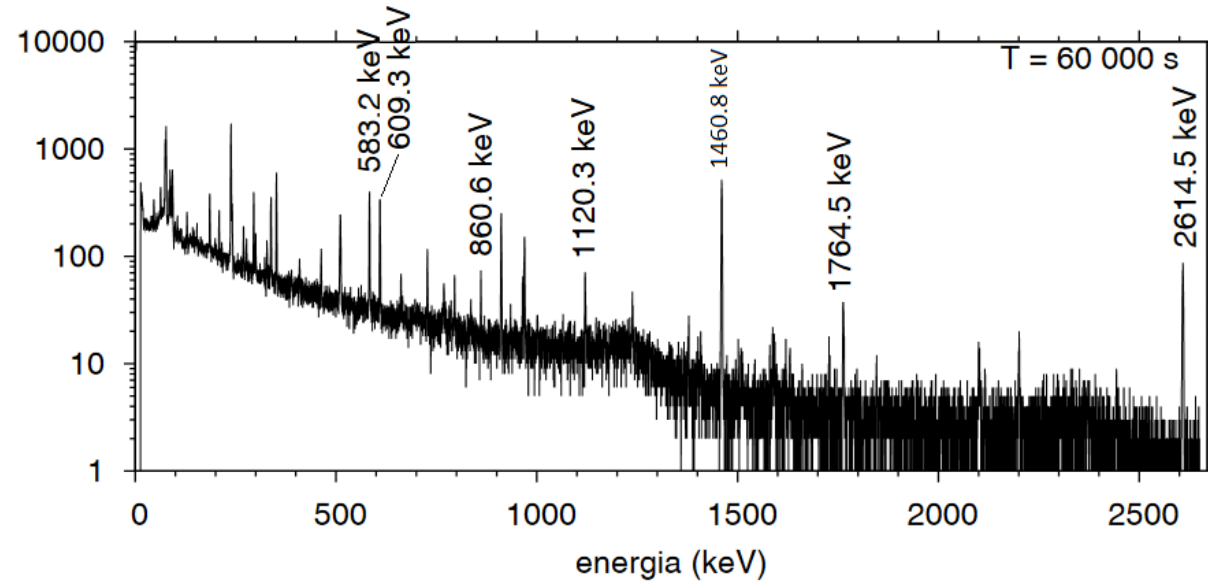
ezekre is kellene kalibráció

A kalibráció kiterjesztése kis energiákra



A kalibráció kiterjesztése nagy energiákra

PTXRFIAEA/04



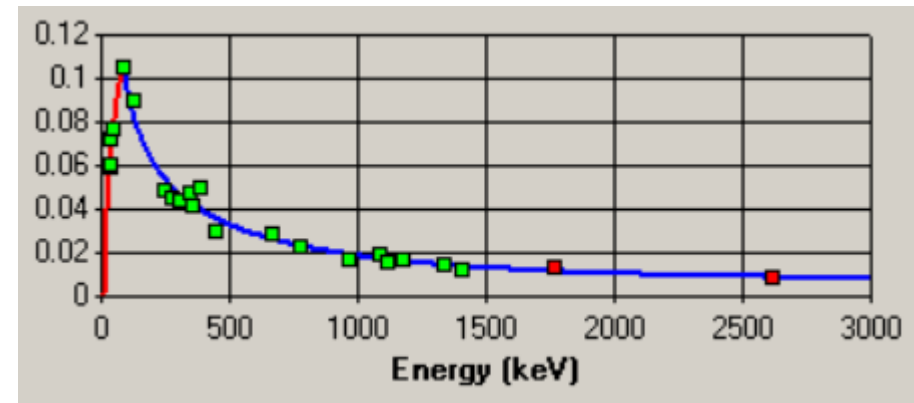
A kalibráció kiterjesztéséhez használt nuklidok legerősebb gamma-vonalai

(a) ^{208}Tl

E(keV)	gyakoriság (%)
277.4	6.3 %
510.8	22.6%
* 583.2	84.5%
* 860.6	12.4%
→ 2614.5	99%

(b) ^{214}Bi

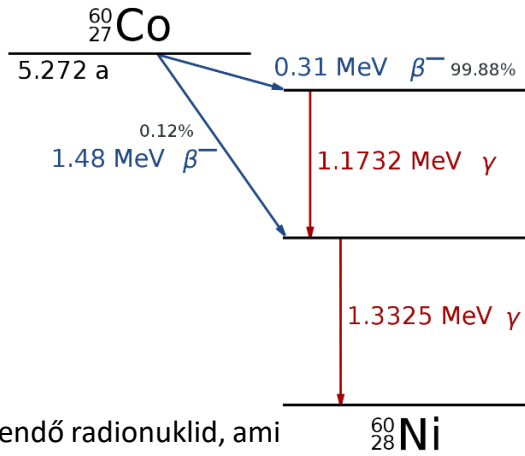
E(keV)	gyakoriság (%)
* 609.3	46.1%
* 1120.3	15.1%
1238.1	5.8%
→ 1764.5	15.4%



A nagy térszög következménye: a valódi gamma-gamma koincidencia

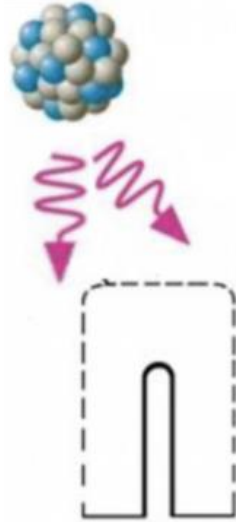
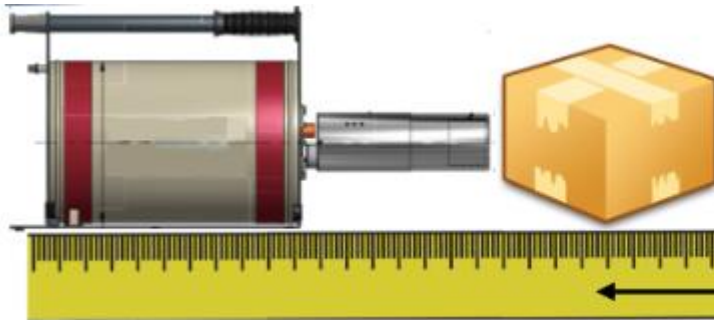


INR

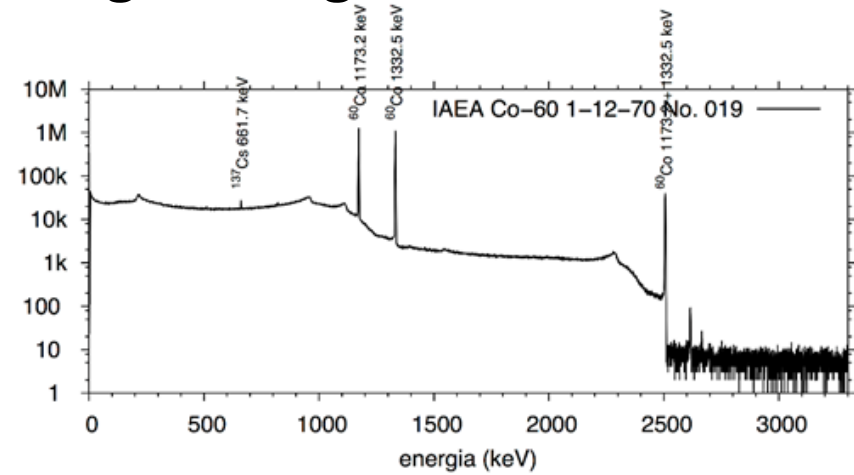
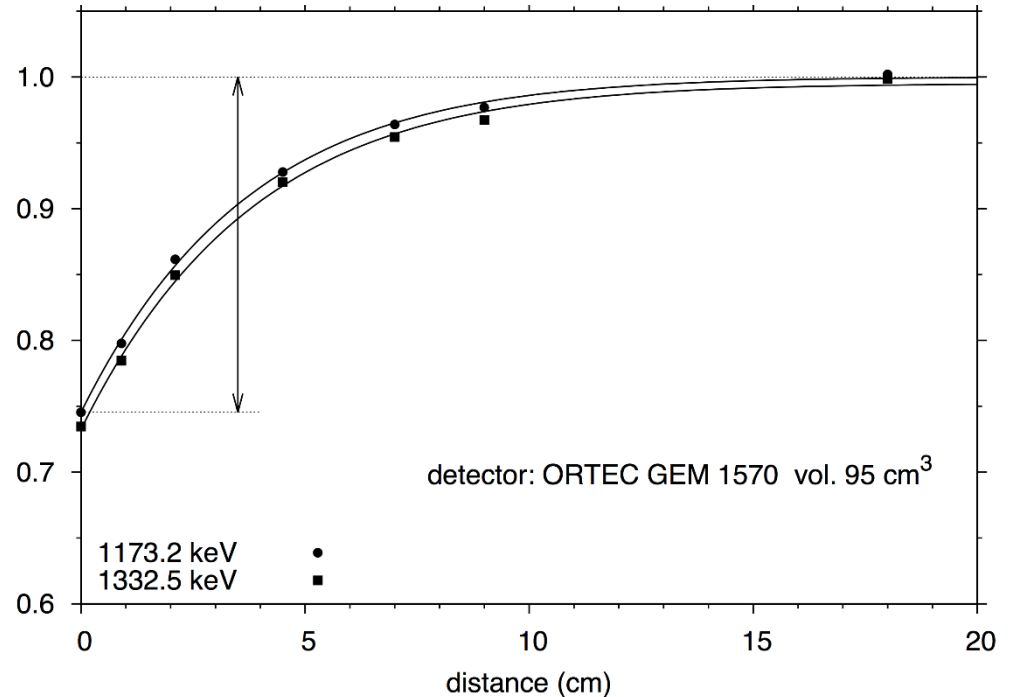


mérendő radionuklid, ami
jokincidencia-hatást mutat
pl.. Co-60

reference radionuklide
without coincidence
e.g. Cs-137

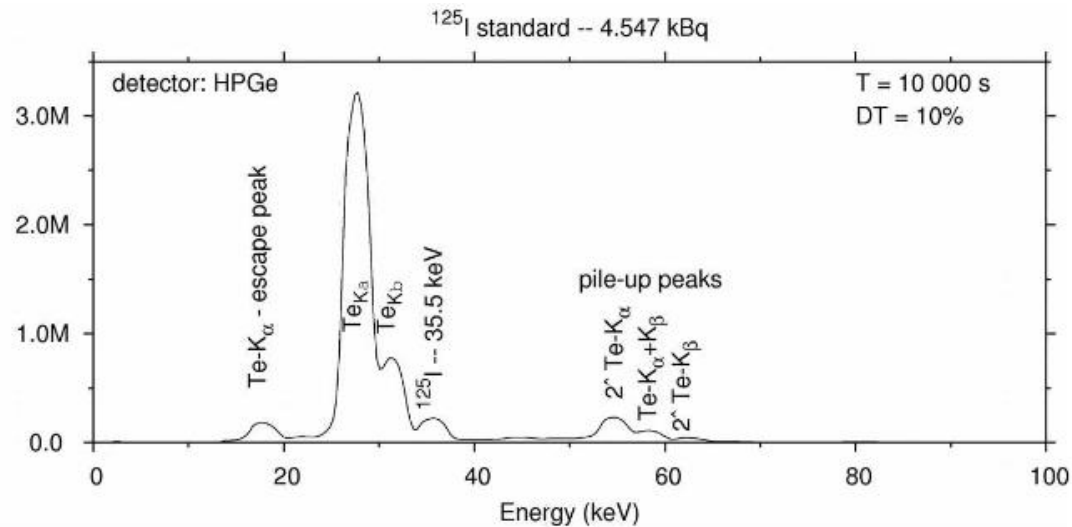
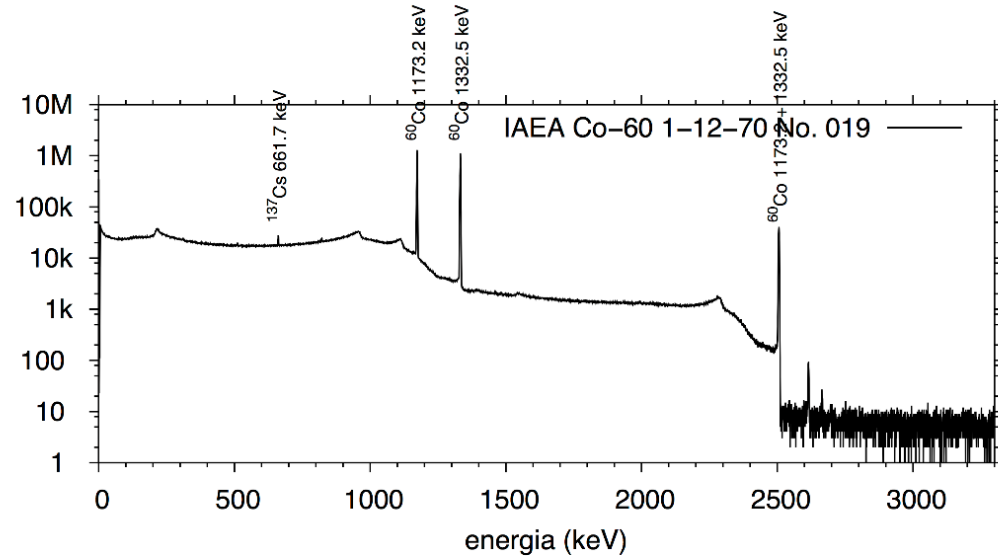


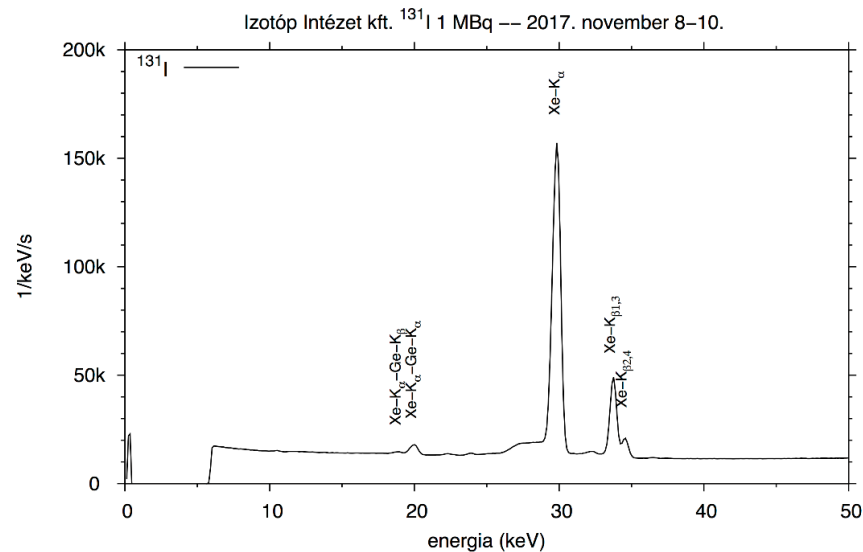
coincidence correction factor (CF)



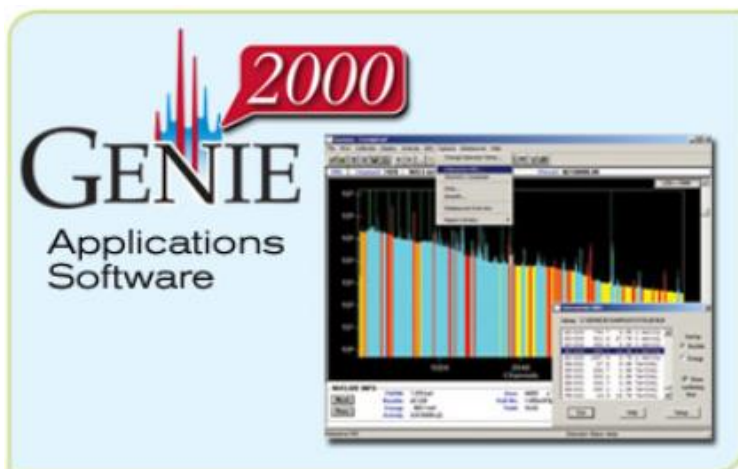
Műtermékek gamma-spektrumokban

összegcsúcsok – pile-up

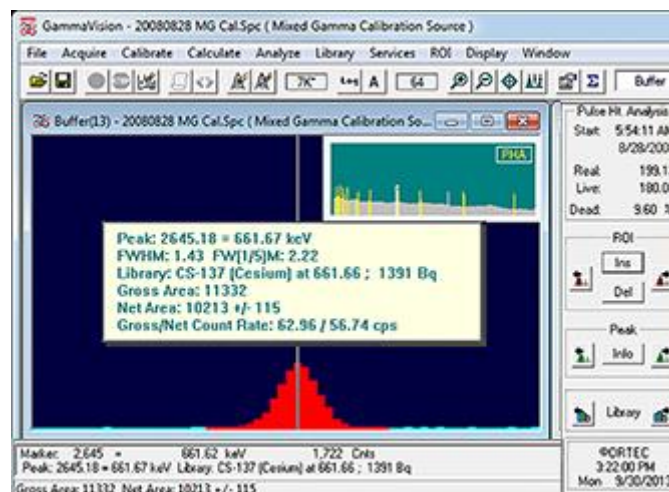


$$E' = E - 511 \text{ keV}, E - 2 \times 511 \text{ keV}$$


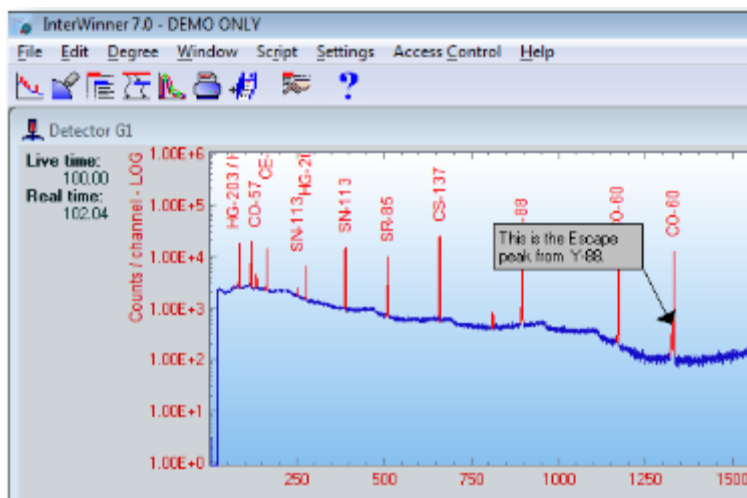
Gamma-spektrometriás mérések kiértékelése



GammaVision[®] v6.09
Gamma Spectrum Analysis Software
ORTEC[®]



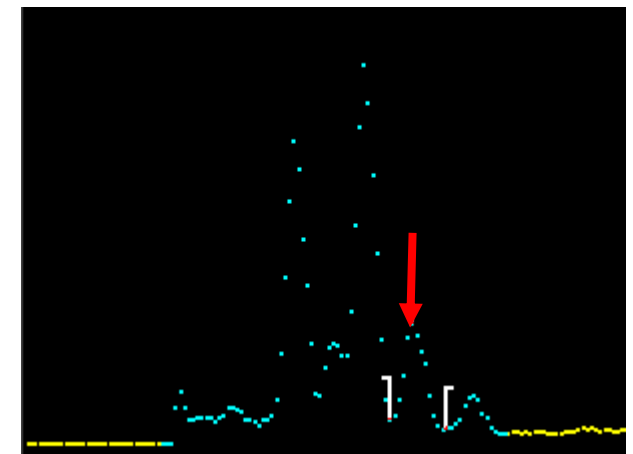
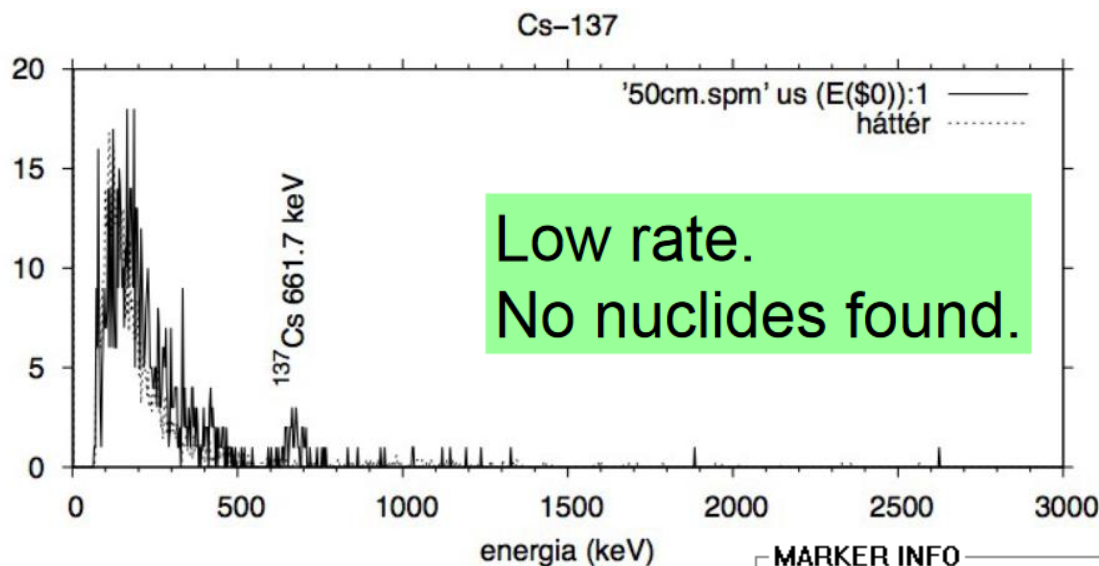
InterWinner



A programokban számos hasonló elem található, mivel más-más koncepciót követve, de azonos feladatot valósítanak meg. A programok közötti választás egyéni ízlés vagy megszokás kérdése.

Az elterjedt gamma-spektrometriás programcsomagok előnyei és hátrányai

- adatgyűjtéstől a kiértékelésen át a riportkészítésig az egész folyamat automatizálható a rutin méréseknél kevés élőmunka szükséges
- a mérést és kiértékelést végző személynek az alapokon túl nem kell a gamma-spektrometria részleteivel tisztában lennie.
- az automatizált kiértékelést jó, ha ember ellenőrzi, mert időnként meglepő dolgokra képes a program



MARKER INFO

Next

Prev

Left Marker: 84 : 29.3 keV

Right Marker: 96 : 33.2 keV

Centroid: 90 : 31.2 keV

Area: 0 ± 0.00%

FWHM, FWTM: 1.204, 1.470 keV

Gaussian Ratio: 0.670

ROI Type:

Integral: 8403



Téves nuklidazonosítások – vonalátfedések miatt

^{95m}Nb 235.69 keV 24.9% $\leftrightarrow$ ^{227}Th 235.97 keV

A ^{95m}Nb nek 204.12 keV-nél (2.33%) van még egy gamma-vonala.

^{95}Nb 765.79 keV 100% $\leftrightarrow$ ^{214}Bi 768.36 keV 4.94%

A ^{95}Nb többi gamma vonalai 0.01-0.03% gyakoriságúak.

^{89}Zr 908.96 keV 100.0% $\leftrightarrow$ ^{228}Ac 911.20 keV 25.8 %

A ^{89}Zr többi gamma vonala 1%-nál kisebb gyakoriságú.

^{109}Cd 88.04 keV 3.61% $\leftrightarrow$ ^{212}Pb és ^{214}Pb Bi karakterisztikus röntgenvonalak: Bi-K $_{\beta 1}$ 87.35 keV

A ^{109}Cd bomlástermékéből származó karakterisztikus röntgenvonalak intenzívebbek: Ag-K 22.1 keV 85.2%

A ^{109}Cd AC6120 granulátumban való előfordulását korábban tisztáztuk.

^{56}Co 846.88 keV 100.0%

^{56}Co 1238.28 keV 67.6% $\leftrightarrow$ ^{214}Bi 1238 keV

A ^{214}Bi -nek 3 erősebb gamma-vonala van: 609.3 keV, 1764.5 keV, 1120.3 keV

^{57}Co 122.06 keV 85.60% $\leftrightarrow$ ^{152}Eu 121.78 keV 28.58% $\leftrightarrow$ ^{154}Eu 123.07 keV 40.79 % $\leftrightarrow$

$\leftrightarrow$ ^{75}Se 121.12 keV 17.20%

Az első három radionuklidnak ez a legerősebb gamma-vonala.

Az ^{57}Co további vonalai: 136.47 keV 10.68%, 14.41 keV 9.16%

A ^{75}Se további vonalai: 264.66 keV 58.9%, 136.0 keV 58.3% , 279.54 keV 24.99%

A két Eu izotópnak számos további vonala van.

^{65}Zn 1115.55 keV $\leftrightarrow$ ^{89}Kr 1116.6 keV $T_{1/2}=3.15$ s

– ez az egyetlen számottevő gamma-vonala.

^{203}Hg 279.20 keV 81.00% $\leftrightarrow$ ^{75}Se 279.54 keV 24.99%

^{203}Hg -nak ez az egyetlen gamma vonala.

A ^{75}Se további vonalait lást fentebb.

^{141}Ce 145.44 keV 48.20% $\leftrightarrow$

A ^{141}Ce -nek ez az egyetlen gamma-vonala.

^{140}Ba 537.26 keV 24.4%, 29.96 keV 14.1% utóbbi a I-125-ből jövő Te-K $_{\beta}$ -hoz (31.0 keV) van közel

^{54}Mn 834.83 keV 100% ez az egyetlen gamma-vonala β^+ bomló révén a Cr karakterisztikus röntgenjeit is adja 5.4 keV körüli energiánál, amit a jelenlegi detektoraink nem látnak

^{99}Mo 140.51 keV 89.43% ^{59}Fe 142.65 keV 1.02%, nagy ^{59}Fe aktivitás esetén összekeverhető

^{85}Sr : legerősebb gamma vonala 514 keV.

A Genie-2000 az 511 keV-es annihilációs csúcsot is a többi gamma vonalhoz hasonló félértékszélességgel illeszti. Az annihilációs csúcs megnövekedett szélessége miatt itt az illesztés hibás lesz.

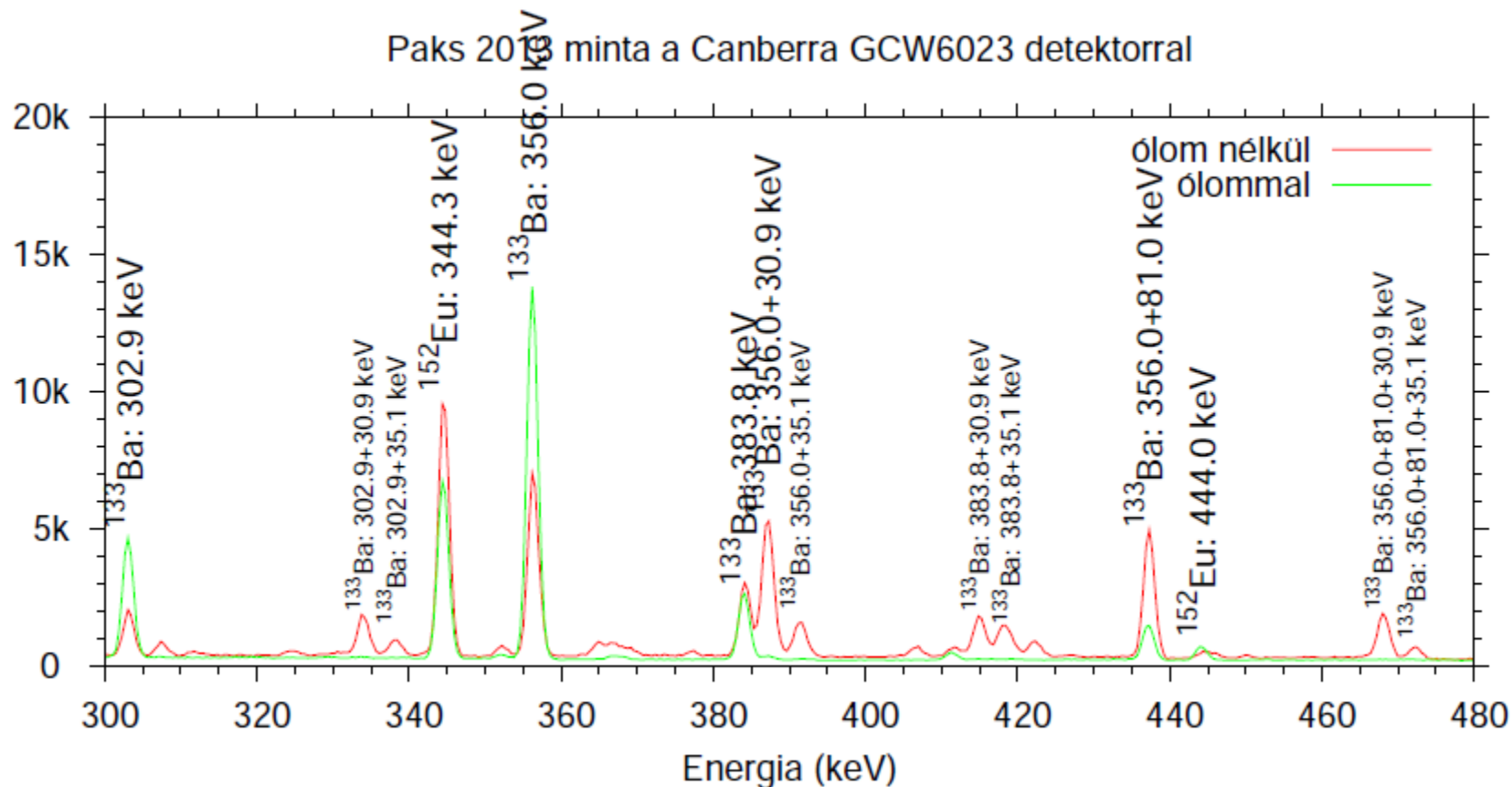
Ezt az eltérést „javítja meg” a Genie oly módon, hogy a ^{85}Sr -t és vele egy valójában jelen nem levő gamma-vonalat beteszi az illesztési modellbe, amivel matematikailag megjavítja az illesztést.

Az automatizált kiértékelés megbízhatóbbá tétele

párhuzamos kiértékelés többféle spektrumértékelő programmal

program neve		szerző / intézmény	leírás
FitzPeaks		Jim Fitzgerald JF Computing Services	evaluation copy' ingyen letölthető, jó ideje a kedvenc spektrumértékelő programom
InterSpec		Sandia National Laboratories	ingyenes, az IAEA-nál ismertem meg és jó tapasztalataim vannak vele
GSanal		BME NTI: Zagyvai Péter / Fehér Ákos	A szerzők jelenleg az EK-ban dolgoznak.
Hyperlab		Hyperlab Software Simonits András. Östör József, Kálvin Sándor, Fazekas Béla	szerzői az IKI-hez kötődnek, a Nukleáris Analitikai és Radiográfiai Laboratóriumban van vele tapasztalat
SAMPO 90 /SHAMAN		Lawrence Livermore National Laboratory	nemzetközileg ismert programcsomag, 1969-óta fejlesztik, még nem használtam, de szívesen megismerném

Köszönöm a figyelmet!



Kocsonya András

tudományos főmunkatárs

HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont Környezetvédelmi Szolgálat

kocsonya.andras@ek.hun-ren.hu