

Miről mesél 30 év gamma-dózisteljesítmény mérés eredménye?

a gamma-dózisteljesítmény mérésekről egy kutató szemével

**Homoki Zsolt^{1,2}, Szigeti Ágnes¹, Fábián Ferenc¹,
Dr. Csordás Anita², Dr. Kovács Tibor²**



**1 Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ,
Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztály, Radon Csoport**
2 Pannon Egyetem, Radiokémiai és Radioökológiai Intézet

(NNGYK SSFO)
(PE RRI)



A nukleáris mérés technika paradoxonja:

**Azt tudjuk pontosan megmérni,
amit jól ismerünk.**

Tegyük fel, hogy a vizsgált paraméter valós értékét pontosan ismerjük. Majd megmérjük.
Ha a mért érték nem egyezik a várttal, vajon a műszerrel vagy a valóságról alkotott képünkkel van a baj?
Esetleg mindkettővel? 😊

Következtetésink alapja több mint 100 ezer egyedileg, kézzel feljegyzett mérési adat.

A gamma-dózisteljesítmény mérő műszerekről

Dózisteljesítmény fogalma: mérések azt mutatják meg számunkra, hogy az adott mérési ponton egy órát tartózkodva mekkora sugárterhelés (dózis) éri a szervezetünket a mérési pont környezetében levő radioaktív izotópoktól.

Gamma-dózisteljesítmény: a radioaktív sugárzások közül, külső forrásként elsődlegesen a gamma-sugárzás jelent kockázatot számunkra. A gamma-sugárzás mérő műszerek érzékenyek a kozmikus sugárzásra is. Mivel a kozmikus komponenst nem lehet külön választani az előbbtől, ezért a mért gamma-dózisteljesítmény tartalmazza az előbbi járulékát is. Ezen felül egyes műszernek van érzékenysége a béta-sugárzásra is. Az utóbbi ellenőrzésére használhatók pl. plexi lemezek. Ezek gamma-sugárzás elnyelése csak az alacsonyabb energiáknál számottevő.

Gamma-dózisteljesítmény mérők csoportosítása a mérési elv alapján

Mérési elv:	Műszer típusok:
ionizációs kamra	Victoreen 450P, Ludlum 9DP
nagy nyomású ionizációs kamra	Reuter Stokes, RSS-112
proporcionális számláló	FH 40 GL-10, Berthold umo LB123
Geiger-Müller (GM) számláló	FAG FH 40 F2, Thermo RadEye B20, SOEKS Quantum, Gamma Scout
szcintillációs detektorok	Automess 6150 AD 6/H + b/H, Mirion Radiagem 2000, Thermo FHZ 672 E-10 + FH 40 G, Mirion Colibri VLD, Thermo identiFinder
szcinti. + félvezető detektorok	FuJi NHL-4

Háttér gamma-sugárzás mérések az SSFO budafoki telephelyén - 1995 - 2025

Az NNGYK SSFO Anna utcai telephelyén (= OSSKI udvar), szabad területen végzett környezeti háttér gamma-dózisteljesítmény mérések célja annak vizsgálata, hogy kimutatható-e olyan változás a mért értékekben, amely

- A) saját telephelyi vagy távolabbi kibocsátási helyről származó kumulatív szennyezés miatt alakult ki, vagy
- B) nukleáris, ill. radiológiai baleset során, hirtelen kikerült szennyezésre utalna.

A mérések során legtöbbször használt műszereket az alábbi táblázat foglalja össze.

Mérőeszköz típusa, gyártó	Mérési elv	Egység	Vizsgálat időtartama	Egyedi értékek Σ 98.823
RSS-112, Reuter Stokes	nagynyomású ionizációs kamra	$\mu\text{R/h}$, $\mu\text{Sv/h}$	1995.03 - 2002.05.	34.029 db
Egyedi készítésű TLD	Thermolumineszcens dozismérő (TLD)	$\mu\text{Gy/h}$	2004.08 - 2013.12.	27 db
Panasonic UD 804AT		$\mu\text{Gy/h}$	2013.09 - 2015.09.	8 db
Automess 6150 AD 6+b	szcintillációs detektor	$\mu\text{Sv/h}$ (Hx)	1995.05 - 2004.07. (25.04.)	54.422 db
Automess 6150 AD 6/H + b/H	szcintillációs detektor	$\mu\text{Sv/h}$ (H*(10))	2004.07- 2025.04	10.284 + 53 db

Mérési gyakoriság: naponta 3x/ naponta 1x/ hetente/ heti többször/ 3 havonként

Feljegyzett információ: mérés napja, mért érték(ek), mérési bizonytalanság, mértékegység, időjárási adatok, mérőműszer típusa.

Gamma-dózisteljesítmény mérő műszerek

Nagynyomású ionizációs kamra

Reuter Stokes RSS-112



Egyedi készítésű TLD $\text{CaSO}_4\text{:Tm}$



Szcintillációs detektor

Automess 6150 AD 6/H + b/H
Automess 6150 AD 6 + b



Panasonic UD804 TLD $\text{CaSO}_4\text{:Tm}$



Mértékegységek közötti átváltás:

Az átváltó faktoroknak a különböző mértékegységben kijelzett mennyiségek átváltásakor van jelentősége, azaz két műszer eredményeinek összehasonlításakor.

A 30 év alatt többször változott az alkalmazott műszer típusa, a kijelzett mértékegység és az ezek egymásba való átszámításának a módja.

Jelölés	Megnevezés	Egység
Da	levegőben elnyelt dózis	(Gy)
Ka	levegő Kerma	(Gy)
Hx	foton dózis egyenérték	(Sv)
H*(10)	környezeti dózisegyenérték	(Sv)
E	effektív dózis	(Sv)

Átváltási faktorok irodalmi értéke

$$E = Da * 0,7 \quad (\text{Sv/Gy})$$

$$Da = Ka * (1 - g_a) \rightarrow Da \sim Ka \quad (\text{Gy/Gy})$$

$$H^*(10) = Ka * 1,21 \quad (\text{Sv/Gy})$$

$$H^*(10) = Hx * 1,07 \quad (\text{Sv/Sv})$$

$$\text{Következésképpen: } E = H^*(10) * 0,58 \quad (\text{Sv/Sv})$$

Háttér gamma-sugárzás mérések tanulságai - Mérések statisztikái 1.

A különböző műszerekkel végzett mérések $H^*(10)$ -re konvertált heti átlagaiból készült statisztika.

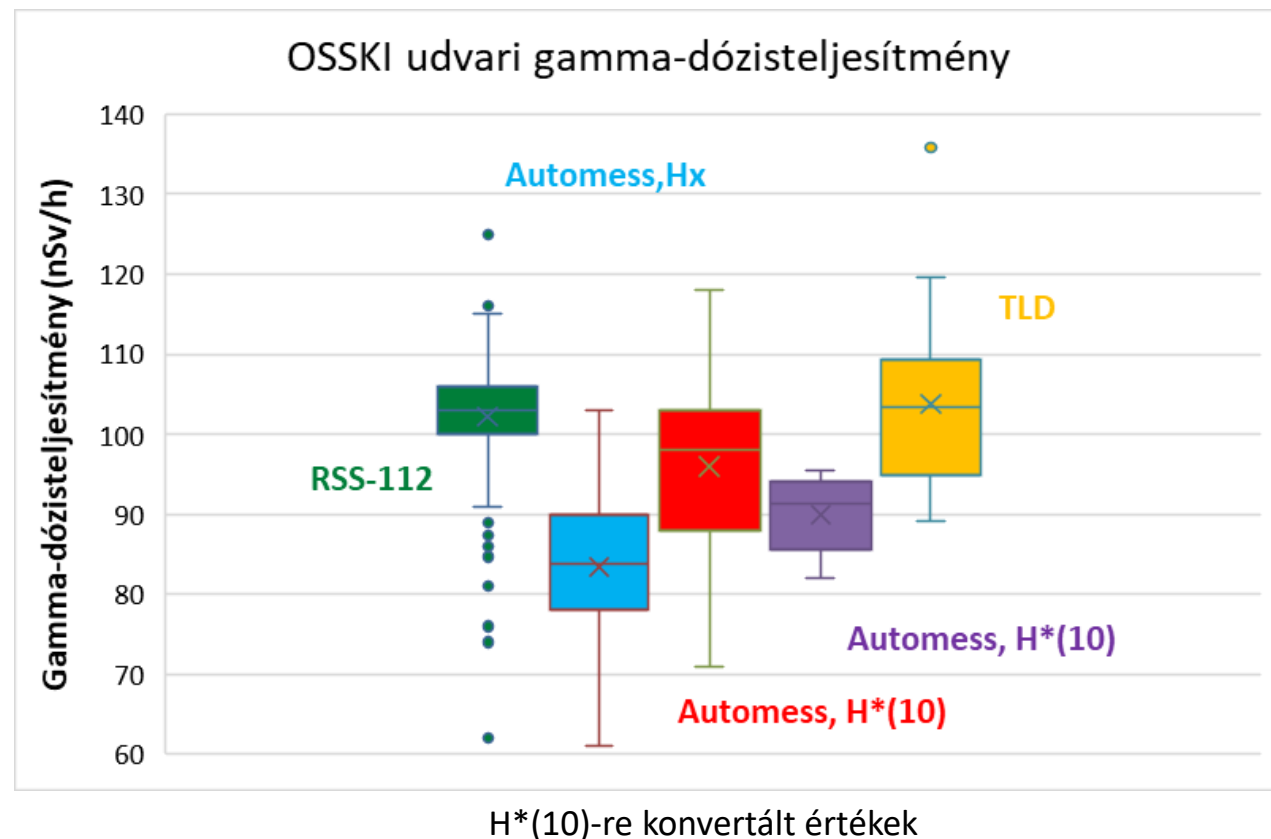
No.	Vizsgálati időszak	Mérőeszköz	Egység	Napi/heti átlag képzési módszer	Medián $H^*(10)$	0,1-0,9 perc.
1.	1995.05 - 1999.04.	RSS-112	$\mu\text{R/h}$	napi 2 v. 3×30 érték átlaga	104	95 - 110
2.	1999.04 - 2002.05.	RSS-112	nGy/h	napi 3×30 érték átlaga	102	96 - 108
3.	1999.04 - 2003.03.	Auomess	nSv/h, Hx	napi 3×30 mérés átlaga	79	70 – 90
4.	2003.03 - 2004.07.	Automess	nSv/h, Hx	napi 3×1 integrális mérés	92	88 – 97
5.	2004.07 - 2025.04.	Automess	nSv/h, Hx	helyettesítő műszer, napi 3×1 , később napi $1 \times$	84	74 – 90
6.	2004.07 - 2007.04.	Auomess	nSv/h, $H^*(10)$	napi 3×1 integrális mérés	91	86 – 97
7.	2007.04 - 2017.10.	Automess	nSv/h, $H^*(10)$	napi 3×1 integrális mérés	103	98 – 108
8.	2018.08 - 2025.04.	Automess	nSv/h, $H^*(10)$	újra kalibrálás után , napi $1 \times$ mérés	86	82 – 91
9.	2004.05 - 2013.10.	TLD, Nikl I.	nGy/h	3 havi expozíció átlaga	105	96 – 119
10.	2013.10 - 2015.09	TLD, Panasonic	nGy/h	3 havi expozíció átlaga	91	91 - 100

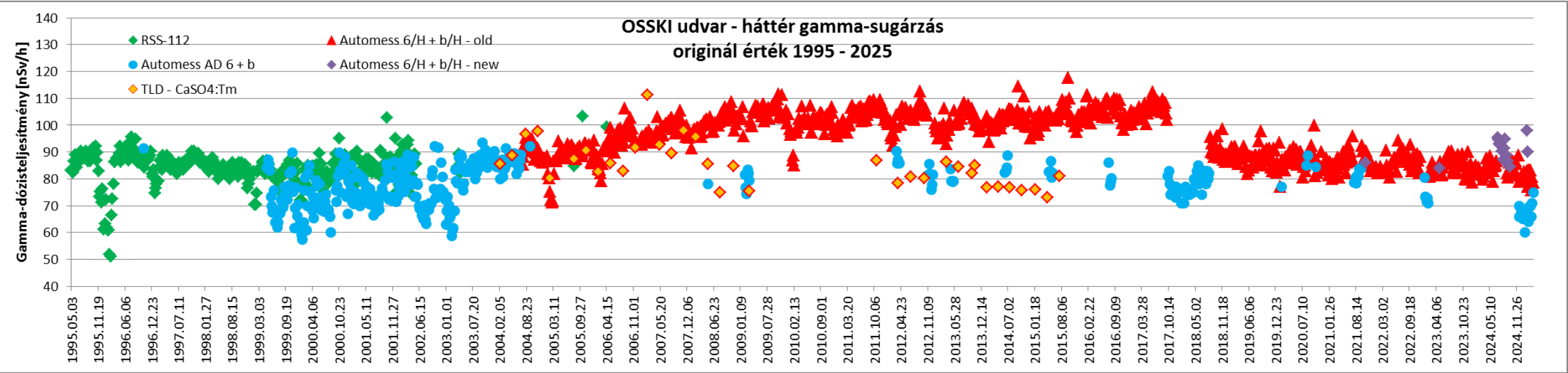
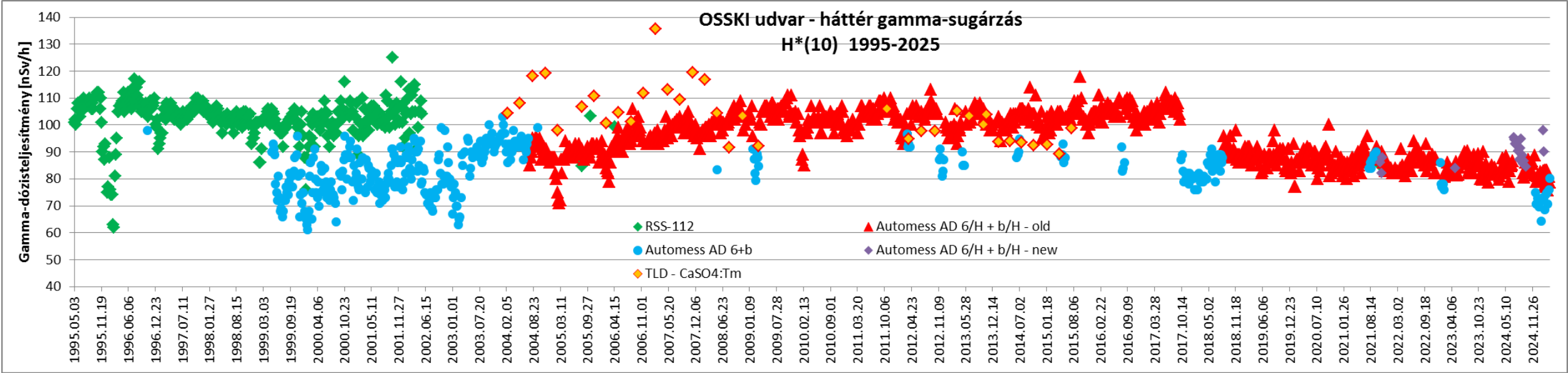


Háttér gamma-sugárzás mérések tanulságai - Mérések statisztikái 2.

A teljes vizsgálati időszakot a mérőeszközök típusát is figyelembe véve 10 szakaszra osztottuk fel:

1. **RSS-112** műszerrel mérve $\mu\text{R/h}$ -ban, heti átlag képzése
kb. 300-450 adatból. (1995-1999.)
2. **RSS-112** műszerrel mérve nGy/h -ban, heti átlag képzése
kb. 300-450 adatból. (1999-2002.)
3. **Automess, Hx**-el mérve nSv/h -ban, párhuzamosan az RSS-112-vel,
pillanatnyi értéket leolvasva, heti átlag képzése
kb. 400 adatból. (1999-2002.)
4. **Automess, Hx**-el mérve önállóan, integrális módban,
heti átlag 15 adatból. (2003-2004.)
5. **Automess, Hx**-el mérve helyettesítőként, integrális módban,
heti átlag 15, később 5 adatból. (2004-2025.)
6. **Automess, H*(10)**-el mérve nSv/h -ban, önállóan, integrális módban,
átmeneti szakasz, heti 15 adatból. (2004-2007.)
7. **Automess, H*(10)**-el mérve önállóan, integrális módban, stabil
szakasz, heti 15 adatból. (2007-2017.)
8. **Automess, H*(10)**-el mérve önállóan, integrális módban,
újra kalibrálás után, heti 5 adatból. (2018-2025.)
9. **CaSO₄:Tm** egyedi készítésű **TLD**-vel mérve, 3 havi integrális értékből
számított átlag érték. (2004-2013.)
10. **CaSO₄:Tm Panasonic UD804AT TLD**-vel mérve, 3 havi integrális
értékből számított átlag érték. (2013-2015.)

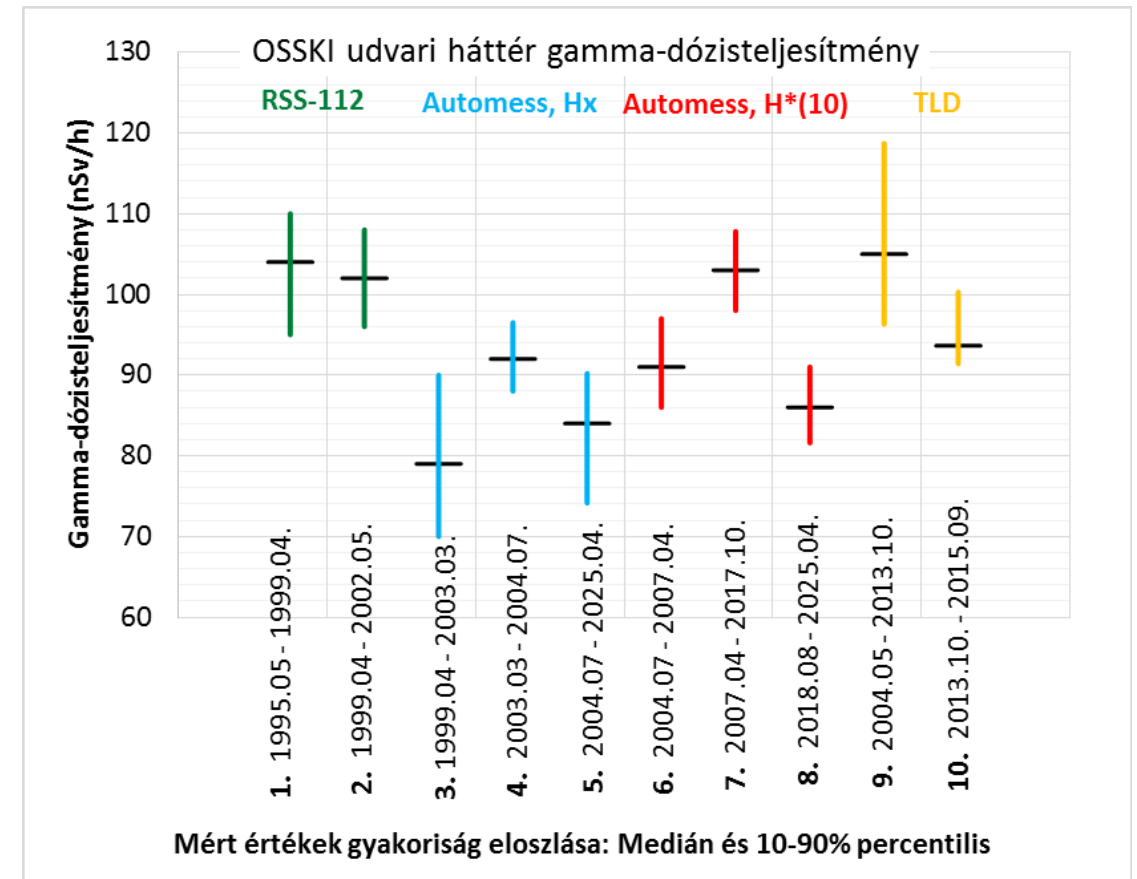




Háttér gamma-sugárzás mérések tanulságai - Mérések statisztikái 3.

Következtetések: (a korábbi diák ábrái alapján)

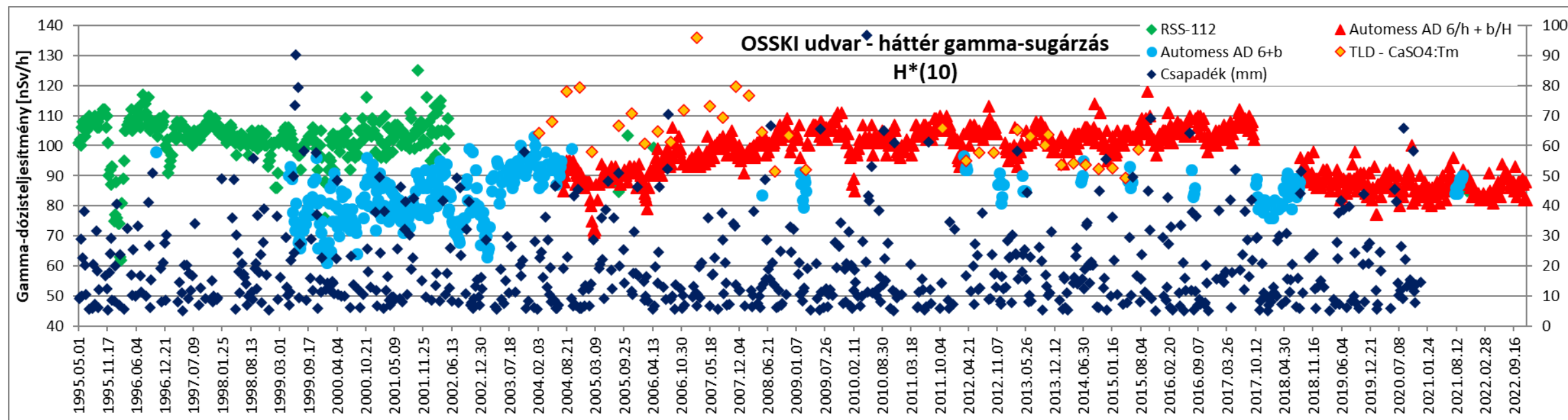
- az egy pontban mért környezeti háttér értékek szórása két komponensből tevődik össze:
mérendő érték változása + műszer mérési bizonytalansága
- **5, 6, 7. szakasz összehasonlítása:** a környezeti háttér gamma-sugárzás heti átlag értékei egy stabil műszerrel mérve szűk tartományon belül (10 nSv/h) szóródnak
- **5. és 7. szakasz összehasonlítása:** az egy pontban végzett, hosszú időn keresztül megismételt környezeti háttér mérések is alkalmasak lehetnek egy műszer stabilitásának a vizsgálatára
- **3. és 4. szakasz összehasonlítása:** az értékek szórásának nagyságát jelentősen lecsökkenti, ha a nagy számú pillanatnyi érték leolvasása helyett integrális módban történik a mérés
- **6. és 7. szakasz összehasonlítása:** a műszer stabilitása (válasza egy kalibrációs beállítás mellett) megváltozhat az idővel, azaz előfordulhat „kúszás” a kalibrációban
- **2, 5, 7. szakasz összehasonlítása:** a különböző műszerekkel mért eredmények, a háttérszintű tartományban relatív jelentős eltérést mutathatnak, ami a műszerek kalibrációs beállításától függ
- a műszerek eredményei közötti átváltó faktor tapasztalati értéke eltérhet az irodalmitól



Háttér gamma-sugárzás mérések tanulságai – Időjárás hatásai 1.

Csapadék és a gamma-dózisteljesítmény kapcsolata

Az irodalomból ismert tény, hogy az esőzés kezdetekor átmenetileg (órás időtartamra) meg tud emelkedni a levegőben mérhető gamma-dózisteljesítmény értéke. Ennek a magyarázata, hogy az eső kimossa a levegőben úszó porszemcsékhez tapadó radioaktív port és kicsapja a talajfelszínre, amelynek eredményeként megnő az 1 m magasságban a talajfelszín felett mérhető gamma-sugárzás.



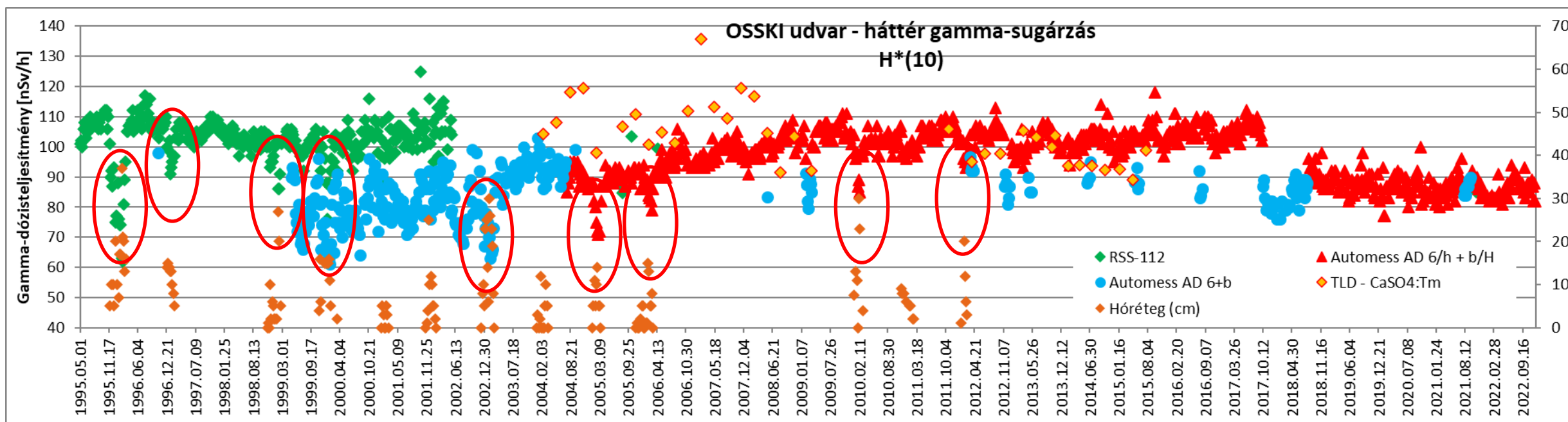
A felfele kiugró értékek tehát általában az esőzéshez köthető események következménye.

A jelenség azonban nem arányos a csapadék intenzitásával vagy a lehullott csapadék mennyiségével. A jelenség általában rövid (legfeljebb órás) időtartamú. Ezért a heti átlag értéket általában csak mérsékelten emeli meg.

Háttér gamma-sugárzás mérések tanulságai – Időjárás hatásai 2.

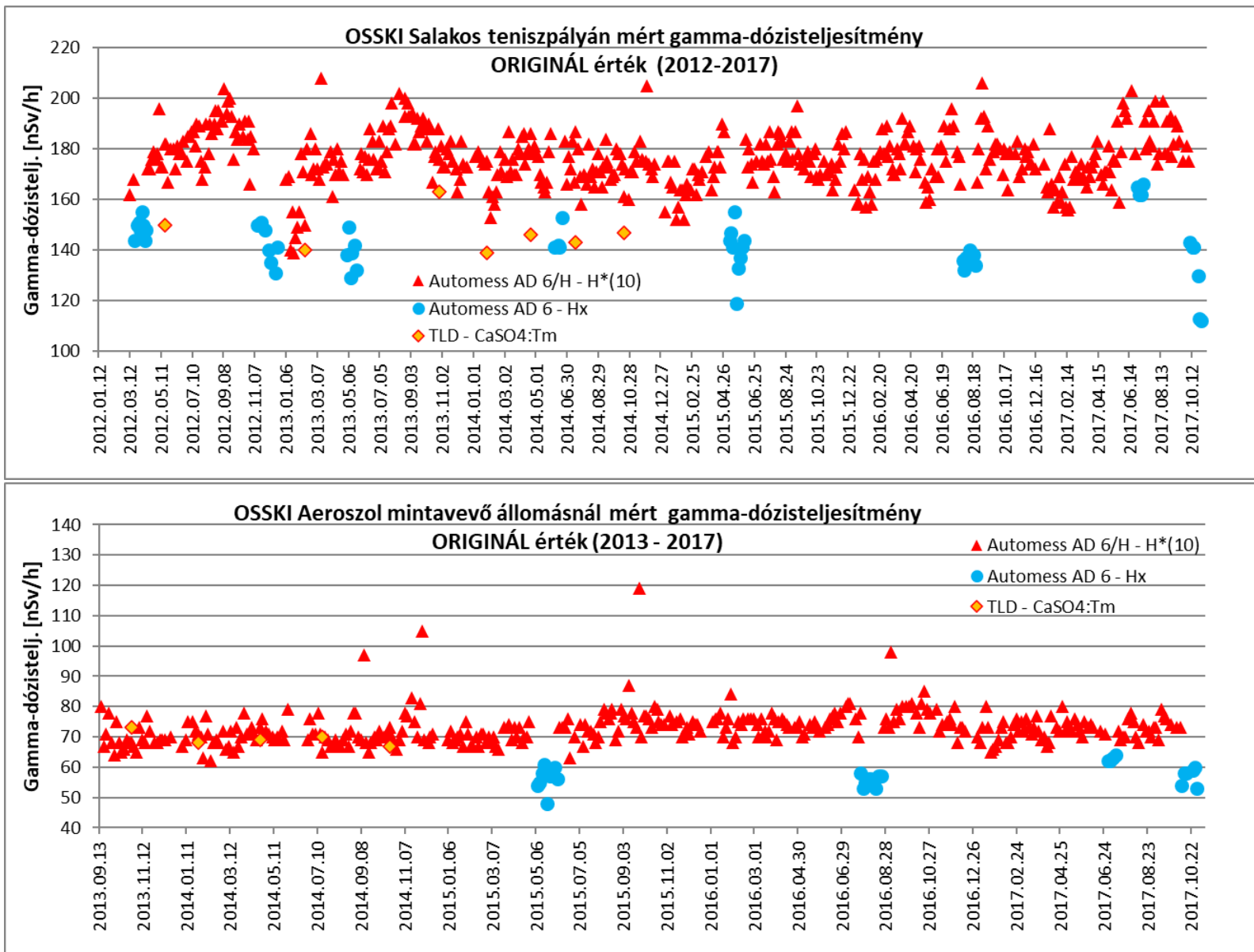
Hóréteg és a gamma-dózisteljesítmény kapcsolata

Tapasztalatunk szerint a lehullott hó a mennyiségével arányosan képes lecsökkenteni a talajfelszín felett mérhető gamma-dózisteljesítményt. Ennek a legvalószínűbb magyarázata az, hogy az **hó, mint fagyott víz árnyékoló réteggént viselkedik** a műszer és a talaj között.



Tartósan fagypont alatti hőmérséklet esetén a hó nem olvad el és ezért a dózisteljesítményt csökkentő hatása jobban meg tud jelenni a heti átlagértékek csökkenésében, mint az esőzéseknél az emelkedés.

Háttér gamma-sugárzás mérések alternatív helyszíneken 1.



2012 és 2017 között intenzíven vizsgáltuk a háttér gamma-dózisteljesítmény értékek időbeli változását a **FÜVES terület mellett két eltérő jellegű környezetben**.

- 1) **SALAK-kal borított területen** (valamikori tenispálya)
- 2) **Betonozott területen** (aeroszol mintavevő állomások környezete).

A méréseket elsődlegesen a TLD-vel mért eredmények ellenőrzésére kezdtük el.

A párhuzamos méréseket az alábbi aktív és passzív mérőeszközökkel végeztük:

- **Automess, $H^*(10)$**
- **Automess, Hx**
- **TLD, Panasonic UD 804AT**

A diagramok az egyedi mért értékeket és nem a heti átlagértékeket mutatják. Az időjárás hatások itt jobban megfigyelhetők.

Háttér gamma-sugárzás mérések alternatív helyszínei

- 1. **Füves terület** = OSSKI udvar
- 2. **Betonzott terület** = aeroszol mintavevő állomás
- 3. **Salakos terület** = tenispálya



2.

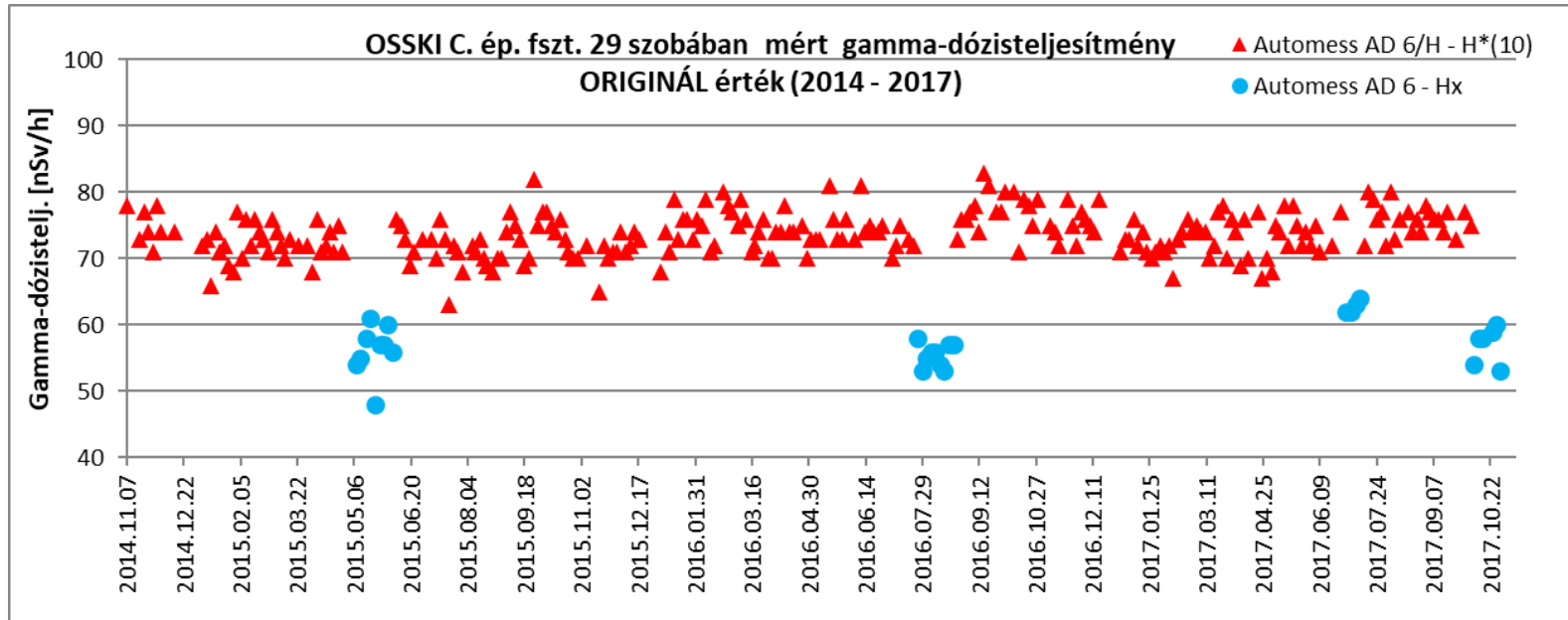
1.

3.



Háttér gamma-sugárzás mérések alternatív helyszíneken 2.

A szabadban végzett mérések kontrolljaként a C. ép. épületen belül (fszt. 29. szoba) is mértük egy pontban 3 éven keresztül a gamma-dózisteljesítményt.



- A **salakpálya** esetében mind lefele, mind pedig felfele irányú kiugró értékek is megfigyelhetők voltak, amelyek a korábban leírt időjárási eseményekkel magyarázhatók.
- Ugyanakkor a **betonozott területen** csak felfele kiugró értékek voltak megfigyelhetők, lefele irányú nem. Vagyis az eső kimosó hatása érvényesült, de a lehullott hó mennyiségének hatása nem volt látható. Ez azért volt lehetséges, mert a talajt fedő betonréteg árnyékolása meghatározóbb volt, mint a hó árnyékolása.
- Ahogy az a fentiek alapján várható, az **épületben** mért értékek egy szűk tartományon belül szóródtak csak, és sem lefele sem felfele kiugró érték nem volt megfigyelhető. Az értékek szórását a műszer stabilitása határozta meg.



Következtetések:

- Abszolútumban az épületben mért értékeknek volt a legkisebb szórása, de a relatív szórás közel hasonló volt mindhárom környezetben. Vagyis az értékek szóródásának mértékét a műszer típusa határozza meg leginkább.

Gamma-dózisteljesítmény mérések háttérszínhez közel 1.

A **háttérszínhez közeli dózisterek** pontosságának normál esetben sugárvédelmi szempontból nincs jelentősége, mivel az ebbe a tartományban eső sugárzási szintek, mint külső források **effektív dózisa csekély**, éves szinten mSv-es nagyságú. **Azonban ebbe a nagyságrendbe esnek az épületben belül mérhető gamma-sugárzások szintjei.**

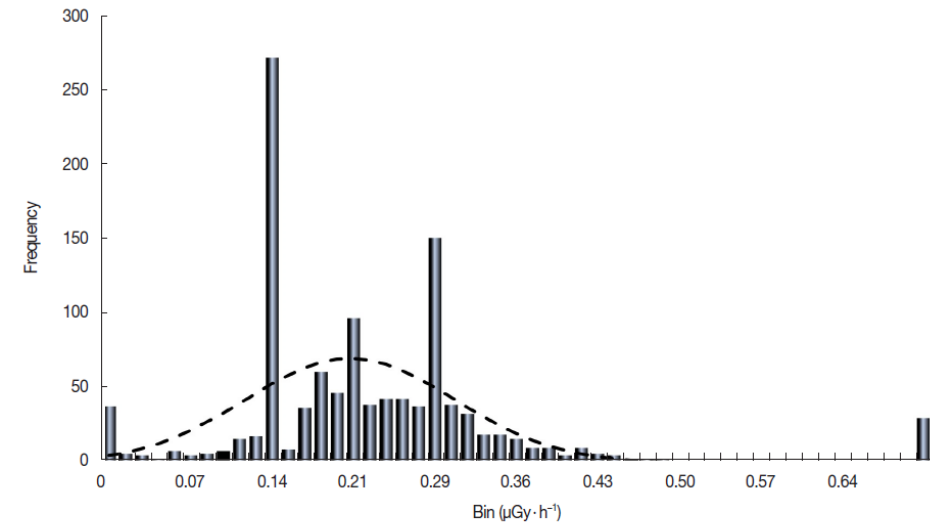
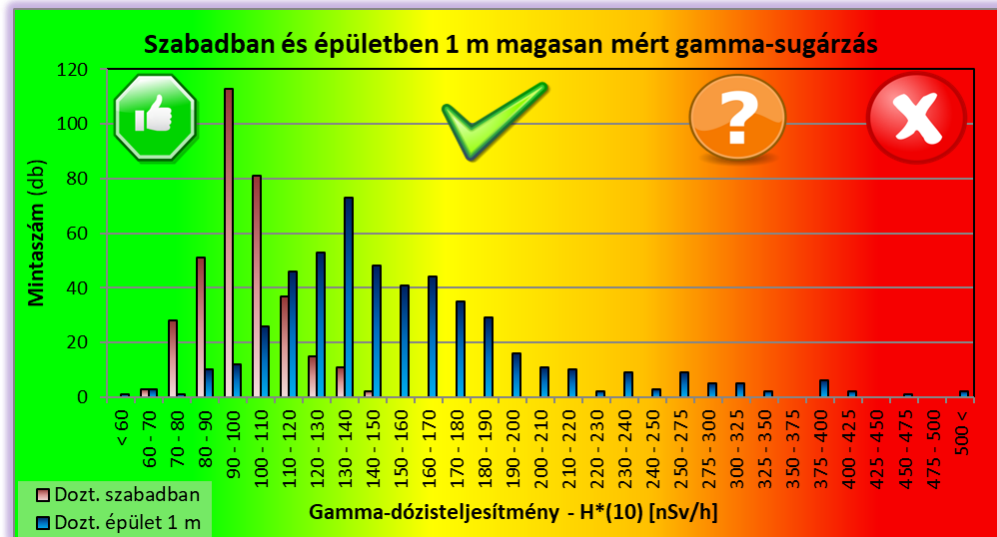


Fig. 3. Frequency distribution of ambient background radiation dose rate as registered by different measurement devices. The dashed line is a normal distribution fit to the data.

Környezetünkben lévő dózisterek nagysága

Környezeti háttér gamma-sugárzás

átlag ~100 nSv/h, 10-90 perc. 80 – 120 nSv/h

Beltéri (lakótéri) gamma-sugárzás

átlag ~150 nSv/h, 10-90 perc. 110 – 200 nSv/h

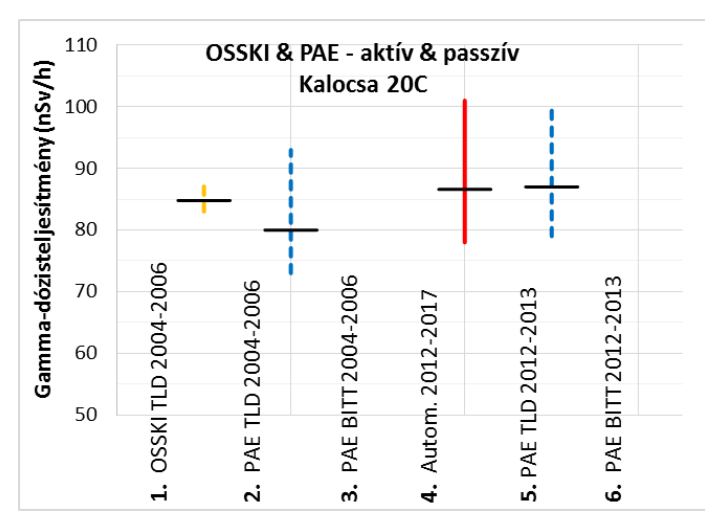
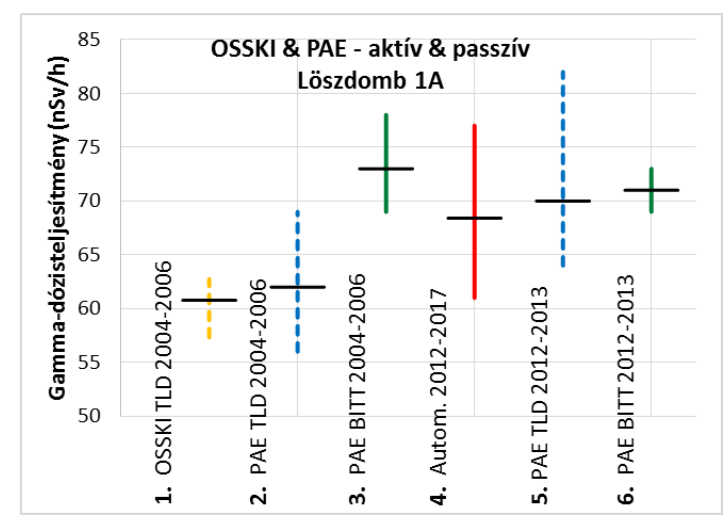
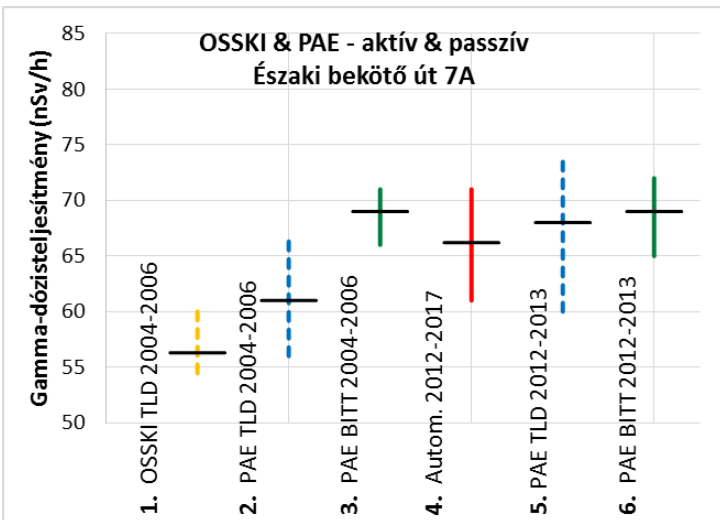
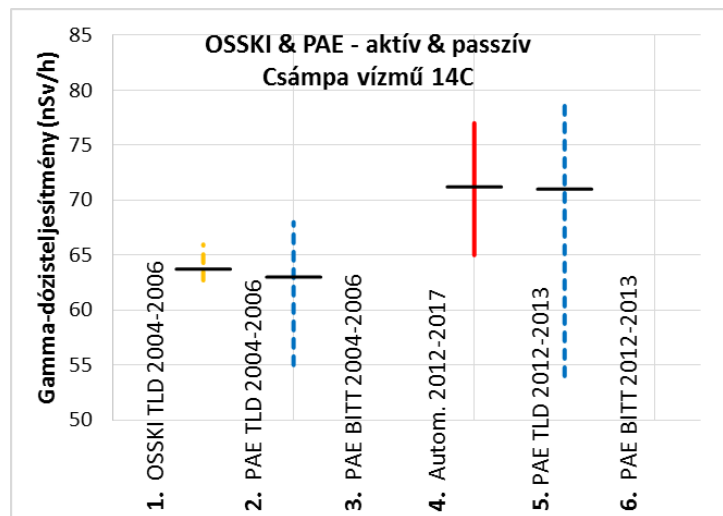
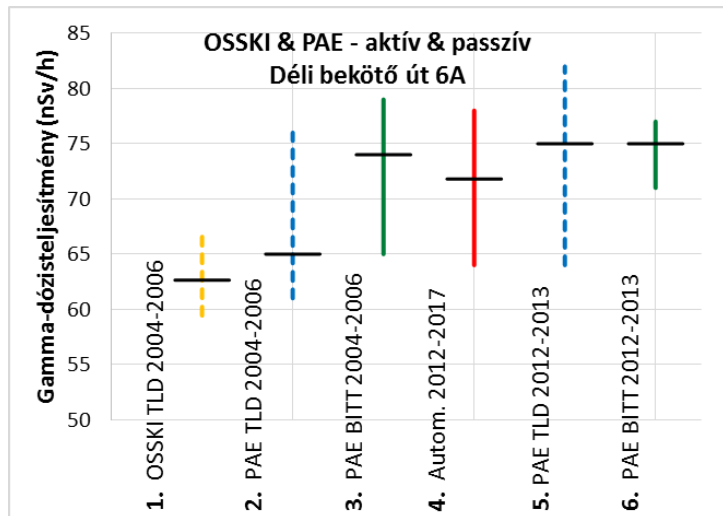
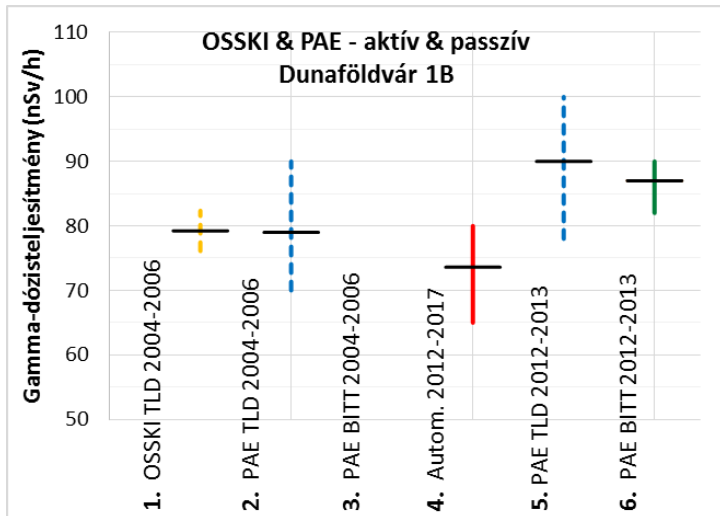


Ausztrál metrológusok **116 féle típusú, összesen 1158 db műszert teszteltek** referencia sugárzási térben. Az 1-5 $\mu\text{Sv/h}$ gamma-sugárzási térben a műszerek kb. 90%-ának kijelzése legfeljebb $\pm 10\%$ -os eltérést mutatott az elvárt értékhez képest. Ugyanakkor a **laboratórium épületében mért háttér értékek szórása igen nagy volt**. A legvalószínűbb értéknek megfelelő eredmény ($140 \text{ nSv/h} \pm 10\%$) az összes feljegyzett értéknek csak kb. 25%-át tette ki. [Aqeel, 2019]

Gamma-dózisteljesítmény mérések háttérszinthez közel 2.

A diagramok **alacsony háttérű környezetben 4 különböző eszközzel mért eredmények** összehasonlítását mutatja. Az azonos időszak átlagértékei közötti eltérés rendszerint kevesebb, mint 5 nSv/h volt.

Időszakok:
2004 – 2006.
2012 – 2013.



Gamma-dózisteljesítmény mérők hitelesítése

A műszerek megbízhatóságának (a kijelzett érték pontosságának) ellenőrzésére szolgál a rendszeres újrahitelesítésük vagy kalibrálásuk.

A **127/1991 (X. 9.) Korm. rendelet a Mérésügyi tv. (1991. évi XLV. tv) végrehajtásáról** határozza meg azon műszerek típusát, amelyek hitelesítésre kötelezettek. II. sz. melléklet 17. sor

„Sugárvédelmi és gyógyászati alkalmazású dózismérők és felületi szennyezettségmérők, radon-mérő eszközök.”

A **365/2016. (XI. 29.) Korm. rend.** alapján a BFKH MMFF („OMH”) végzi a sugárvédelmi mérőeszközök hitelesítését és újrakalibrálását.

A sugárásmérők hitelesítése gamma-dózisteljesítményre általában:

- Cs-137 forrással történik
- 4-6 mérési ponton végzik
- pontonként 10 db leolvasásból származó érték átlagát veszik figyelembe
- a vizsgált tartomány 4-6 nagyságrendet fog át
- a jellemző vizsgált tartomány 0,5 µSv/h és 50 mSv/h közötti
- mérési pontonként a megengedhető legnagyobb eltérés ± 20%. 

A gyakorlatban a referencia értéktől az eltérés rendszerint kisebb, mint 10%.

A vizsgált műszerek közül a legszélesebb hitelesítési tartománnyal a BNS-98S típusú műszer rendelkezett. A vizsgálat 8 ponton történt, 8 nagyságrendet fogva át, amely 90 nSv/h és 400 mSv/h közötti volt. A referenciától való eltérések átlaga 5% volt.

Referencia szint	± 20 % eltérés	Elfogadott tartomány
200 nSv/h	± 40 nSv/h	160 – 240 nSv/h
500 nSv/h	± 100 nSv/h	400 – 600 nSv/h
1 µSv/h	± 200 nSv/h	800 – 1.200 nSv/h
5 µSv/h	± 1.000 nSv/h	4.000 – 5.000 nSv/h
10 µSv/h	± 2 µSv/h	8 – 12 µSv/h
50 µSv/h	± 10 µSv/h	40 – 60 µSv/h
100 µSv/h	± 20 µSv/h	80 – 120 µSv/h
1 mSv/h	± 200 µSv/h	800 – 1.200 µSv/h

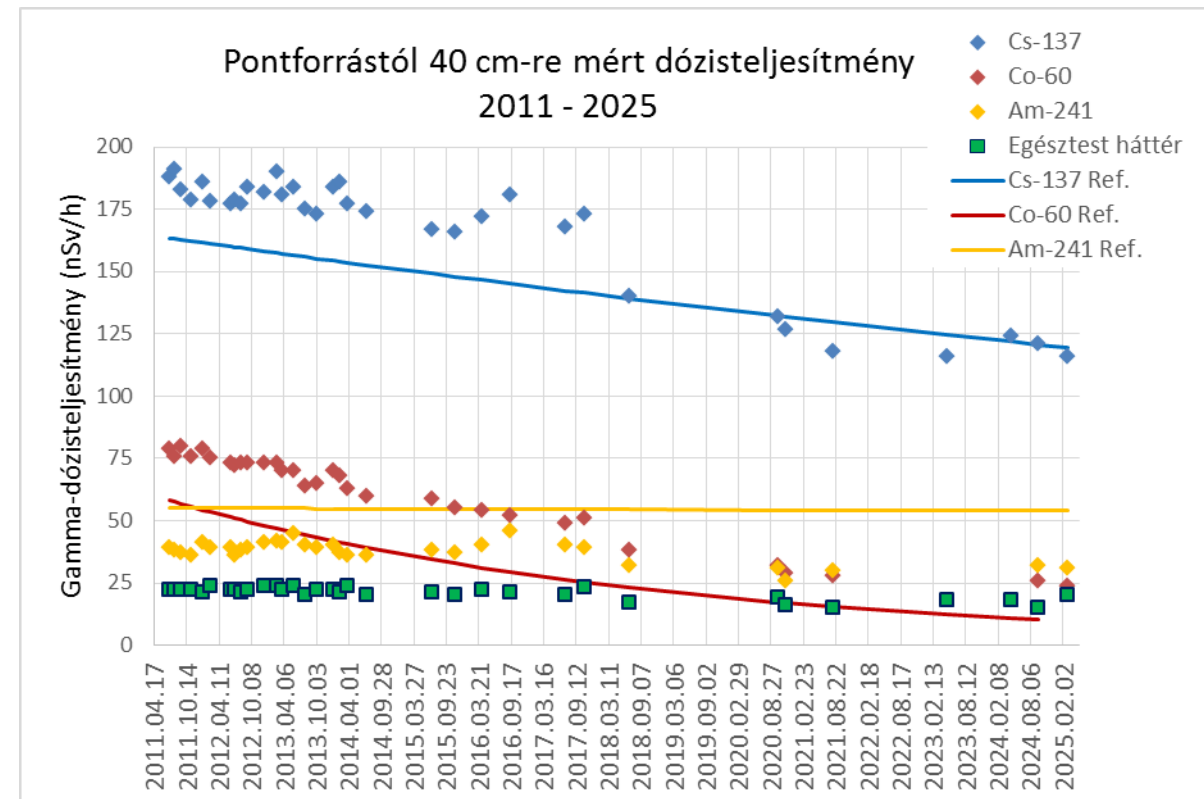
Automess 6150 AD 6/H + b/H műszer stabilitása 1.

Háttér: A műszerünk stabilitásának rutin ellenőrzését ismert aktivitású **Cs-137**, **Co-60**, **Am-241** pontforrásokkal végeztük az alacsony háttérű Egésztest számláló kamrájában. A forrásokat a műszerrel egy síkban (azaz nem középmagasságban) fix 40 cm távolságban helyeztük el, úgy hogy a sapkáját nem vettük le. A háttérrel külön feljegyeztük.

Az eredményeket a távolság és a pillanatnyi aktivitásból a dózisállandóval számítható Referencia értékhez hasonlítottuk.

Következtetések:

- A **Cs-137** esetében növekvő felülmérés látható, amely megszűnt a műszer újralibrálása után.
- A **Co-60** esetében 2018. előtt szintén felülmérés látható, amely mérséklődik az újralibrálás után.
- Az **Am-241** alulmérése azzal magyarázható, hogy a műszer sapkáját a méréskor nem vettük le.
- 2016. és 2017. magasságában egy enyhe emelkedés látható mindhárom értéksorozatban a korábbiakban mért relatív eltérést alapul véve.
- Ez az enyhe emelkedés megfigyelhető a 2016-2017-ben az OSSKI udvaron, a salakpályán, az aeroszol állomáson és a beltéri környezetben mért értékek esetében is.



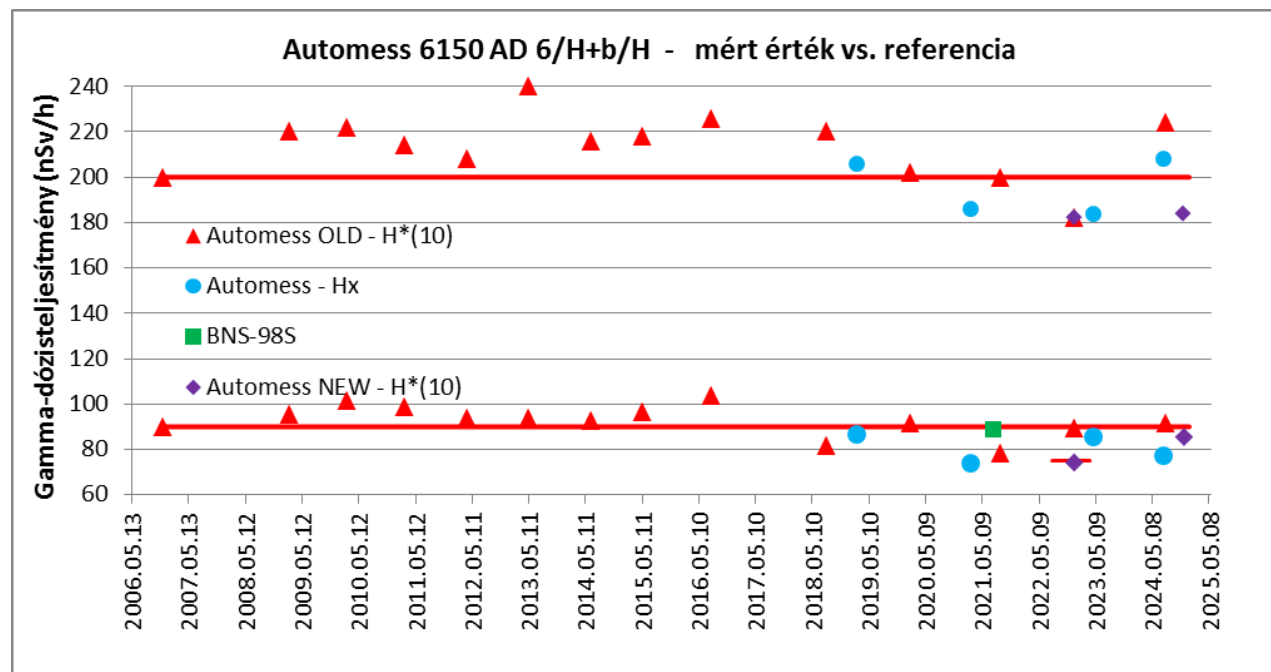
Automess 6150 AD 6/H + b/H műszer stabilitása 2.

Háttér: A pontforrásokkal végzett ellenőrzés megmutatta, hogy a 2017-es újrakalibrálást megelőzően a Cs-137-nél felülmérést mutatkozott, majd utána a várt értéknek megfelelőt adta válaszul. Ezért megvizsgáltuk, hogy ez hogyan jelenik meg a mérésügyi hivatal által végzett hitelesítési vizsgálatok eredményeiben a régi és az új $H^*(10)$ -ben, a Hx-ben mérő Automess-ünknel és a BNS-98S-nél.

Mindegyik műszer rendelkezik hitelesítéssel a 90 nSv/h körüli és a 200 nSv/h értékek tartományában, ami megfelel az ellenőrzéshez használt szabadtéri környezet dózisterének. Az eredményeket az alábbi diagram mutatja be.

Hitelesítési időszak	2006-2016	2018-2024	2006-2016	2018-2024
Referencia érték	90 nSv/h		200 nSv/h	
Automess OLD $H^*(10)$	96	87	218	206
Automess, Hx	-	81	-	196

Vizsgálati időszak	Automess	2012-2017	2018-2025
Salakos tenispálya	$H^*(10)$	177	146
	Hx	142	122
Aeroszol állomások	$H^*(10)$	73	61
	Hx	55	49
OSSKI udvar	$H^*(10)$	104	86
	Hx	83	78



Következtetés: A Cs-137 forrással végzett ellenőrzés eredménye azonos tendenciát mutatott, mint a szabadtéri környezetben mért értékek statisztikái, de az utóbbiban tapasztalt különbségek nagyobbak voltak, mint az a hitelesítési vizsgálat eredményei alapján várható.

Köszönetnyilvánítás

Az előadásban bemutatott eredmények nem csak a szerzők, hanem sok az OSSKI-ban és utódintézményeiben dolgozó ember munkájából született, amelyhez más intézményben, cégnél dolgozók is hozzájárultak. Az elemzett vizsgálatokban a ~30 év alatt nagyon sokat közreműködtek, ezért az alábbi felsorolás semmiképpen sem tud teljes lenni. Mégis az ismert személyek közül néhányat szeretnénk név szerint is megemlíteni.

Branczeisz Zoltán

Demkó Richárd

Déri Zsolt

Elek Richárd

Fenyvesi Ferenc (Canberra P.)

Fülöp Nándor

Gál Edina

Kocsy Gábor

Lengyel József

Nagy János

Nikl István

Manga László (PAE)

Polik György

Szűcs László (OMH)



Köszönöm a megtisztelő figyelmet!

Törley Pezsgőpincészet Budafokon

