

A paksi atomerőmű környezeti dózisadatainak analízise

Manga László¹, Apáthy István², Deme Sándor², Hirn Attila², Lencsés Andás¹,
Pázmándi Tamás²

¹MVM Paksi Atomerőmű Zrt., Paks

²MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

*mangal@npp.hu

Title - Analysis of the Environmental dose data in the vicinity of the Paks NPP.

Abstract - In the vicinity of the Paks NPP at the distance from 1 to 2 km 9 type A telemetric radiation monitoring stations are dislocated. At these points double gamma-radiation measurement is fulfilled, i.e. continuous dose rate telemetry (proportional counters manufactured by Bitt Company named as Bitt detectors) and exposure of thermoluminescent detectors (TLD). Similar measurements were performed at another point at the 25 km distance to obtain background values. Further 11 gamma telemetric points are at the same distance as type A points. For larger distances up to 30 km 14 C type TLD monitoring points were set as well. During 6 years (2009–2014) monthly gamma dose values were measured at the monitoring points listed above. Analyzing the measured data we have found $\pm 7\%$ standard deviation for the Bitt detectors, $\pm 9\%$ for TLDs at A type and $\pm 12\%$ at C type points. Normalizing the monthly data to annual mean at each points the standard deviations decreased to 2.1%, $\pm 5.2\%$ and $\pm 6.8\%$. In the next step these data were normalized to monthly mean values as the winter dose rates were lower than the summer ones. After double normalization the standard deviations decreased to $\pm 1.4\%$, $\pm 3.8\%$ and $\pm 5.4\%$.

Using double normalization of the raw monthly data minimum detectable dose became about 4 times lower for the Bitt detectors and 2 times lower for TLDs.

Keywords: Nuclear power plant, environmental dose, TLD, proportional counter.

Kivonat - A paksi atomerőmű 1–2 km-es környezetében a 9 db A típusú állomáson a környezeti gamma-sugárzás mérésére kettős rendszer van használatban. A dózisteljesítmény folyamatos távmérésére szolgálnak a Bitt gyártmányú proporcionális számlálók, az ún. Bitt szondák, a havi dózis mérésére pedig a PorTL rendszer termolumineszcens dózismérői, az ún. PorTL patronok. Ezen felül van még egy hasonló felszereltségű mérési pont Dunaföldváron. Az A típusú állomások távolságában van még további 11 db Bitt szonda, a 30 km-es sugarú körben pedig 14 mérőpont csak PorTL patronnal.

Hat év (2009–2014) havi gamma dózisainak analízisét végeztük el. Először meghatároztuk a nyers dózismérési adatok szórását. Megállapítottuk, hogy a szórás a Bitt szondáknál $\pm 7\%$, a PorTL patronoknál az A típusú állomásoknál $\pm 9\%$, a C típusúaknál $\pm 12\%$. Ha az adott állomás havi mérési adatait az adott állomás éves átlagára normáljuk, akkor az előzőekben felsorolt szórások lecsökkennek $\pm 2,1\%$, $\pm 5,2\%$ és $\pm 6,8\%$ -ra. A havi dózisadatok rendszeres évi menetet mutatnak, a téli adatok 2–4%-kal alacsonyabbak, a nyáriak ugyanennyivel magasabbak az éves átlagnál. Ha a már előzőekben normált adatokat a havi átlagértékekkel elosztjuk, akkor a szórások rendre $\pm 1,4\%$, $\pm 3,8\%$ és $\pm 5,4\%$.

Az ismertetett két lépéses normálással elérhető, hogy a PorTL patronokkal a normálás nélküli esethez viszonyítva közel kétszer, a Bitt szondákkal pedig négyszer kisebb havi dóziszváltozásokat is ki lehessen mutatni.

Kulcsszavak: atomerőmű, környezeti dózis, TLD, proporcionális számláló.

BEVEZETÉS

A paksi atomerőmű 1–2 km-es környezetében a 9 db A típusú állomáson a környezeti gamma-sugárzás mérésére kettős rendszer van használatban. A dózisteljesítmény folyamatos távmérésére szolgálnak a Bitt gyártmányú proporcionális számlálók, az ún. Bitt szondák, a havi dózis mérésére pedig a PorTL rendszer termolumineszcens dózismérői, az ún. PorTL patronok. Ezen felül van még egy hasonló felszereltségű mérési pont Dunaföldváron. Az A típusú állomások távolságában van még további 11 db Bitt szonda, a 30 km-es sugarú körben pedig 14 mérőpont csak PorTL patronnal.

A hat év (2009–2014) havi gamma dózisainak analízisét végeztük el olyan céllal, hogy az analízis révén meghatározzuk a nem természetes okokból eredő kimutatható gamma-sugárzás dózis emelkedést.

A KÖRNYEZETI GAMMA-SUGÁRZÁS DETEKTORAI

Az erőmű környezetében lévő környezeti gamma-sugárzás detektorait és a mérési pontokat az 1. táblázat adja meg.

Az A mérőpont az A típusú állomáson lévő PorTL patron és Bitt szondát jelenti, a B mérőpont hasonló, de távolabbi, az erőműtől független háttérrel mérő állomás, a C mérőpont a C típusú állomás PorTL patronja, a G mérőpont a csak Bitt szondával felszerelt G típusú állomások adatait tartalmazza, az L a paksi környezetellenőrző laboratórium udvarán elhelyezett PorTL patron.

1. táblázat. A mérőpontok és a kiértékelésben szereplő adatok száma, valamint a hat év alatt hiányzó adatok mennyisége

Detektor	Mérőpont						Adat	
	A	B	C	G	L	Összesen	Összes	Hiány db (%)
PorTL patron	9	1	14	-	1	25	1800	18 (1%)
Bitt szonda	9	1	-	11	-	21	1512	1 (0,07%)

A mérőpontokon elhelyezett PorTL patronok a PorTL rendszer detektorai.

A PorTL rendszer főbb paraméterei a következők:

- TL-anyag: $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$ kristály.
- Mérési tartomány: 10 μSv – 100 mSv (környezeti dózisegyenérték).
- MKEH által hitelesített kiolvasó és patronok.
- Gamma-sugárzás energiatartomány: 48 keV – 1,25 MeV.
- A kiolvasó működési hőmérséklettartománya: -20°C -tól $+40^\circ\text{C}$ -ig.
- Tápellátás: beépített akkumulátor.
- Tömeg: patron ≤ 25 g, kiolvasó $\approx 2,6$ kg.

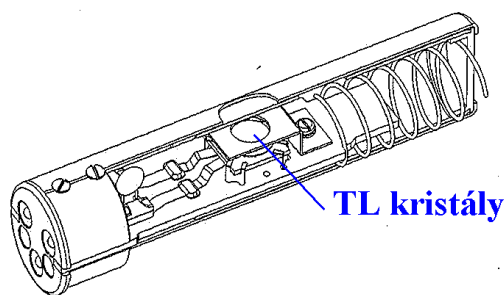
A PorTL rendszer fényképét az 1. ábra, a patron konstrukcióját a 2. ábra mutatja.

A MKEH által hitelesített, RS03/232-NLB típusú Bitt szonda (ld. 3. ábra) főbb adatai:

- Detektor típusa: proporcionális számláló.
- Mérési tartomány: 10 nSv/h – 10 Sv/h (környezeti dózisegyenérték).
- Gamma-sugárzás energiatartomány: 60 keV – 1,5 MeV.
- Működési hőmérséklettartomány: -30°C -tól $+70^\circ\text{C}$ -ig.
- Tápellátás: külső forrásból.
- Tömeg: $\approx 2,5$ kg.



1. ábra. A PorTL rendszer: bal oldalon a védőtokba helyezett patron, középen a kiolvasó, jobb oldalon a patron és a védőtok látható.



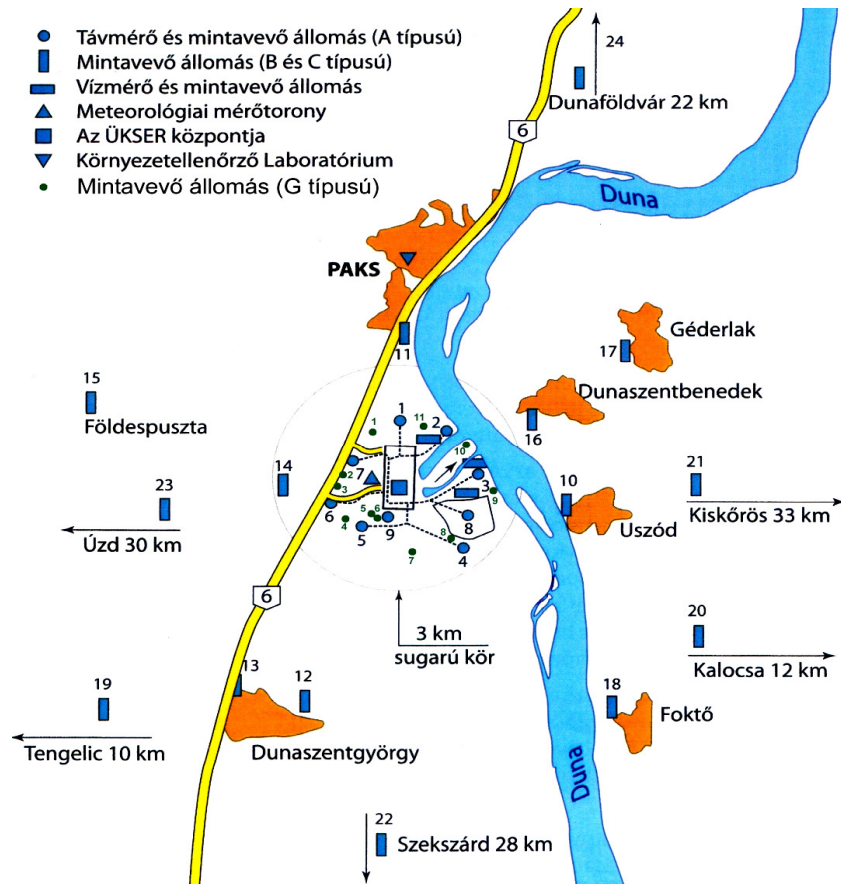
2. ábra. A PorTL rendszer patronjának konstrukciója. Bal oldalon a csatlakozó látható, a TL kristály alatt helyezkedik el a fűtőtest és az elektromos hőmérő.



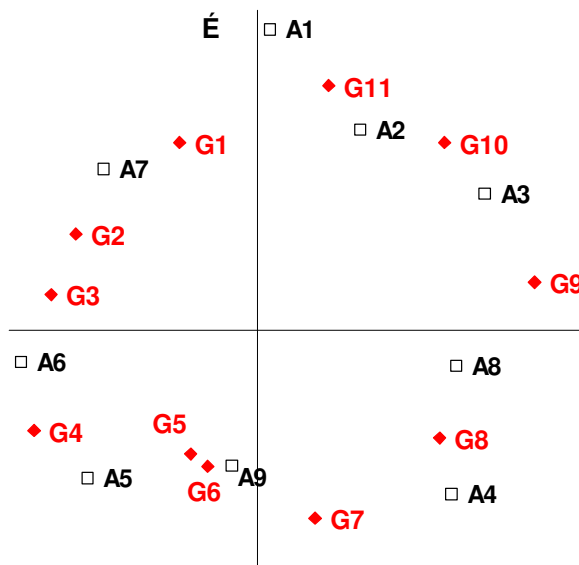
3. ábra. Az RS03/232-NLB típusú Bitt szonda fényképe. Középen a tokozott, alul és felül a tokozás nélküli

A KÖRNYEZETI GAMMA-SUGÁRZÁS MÉRŐPONTJAI

Az atomerőmű 30 km-es körzetében egy összetett mérőrendszer üzemel (4. ábra). A legközelebbi mérőpontok a 3 km-es körön belül elhelyezkedő A és G típusú állomások (5. ábra). Az A típusú állomásokon (6. ábra) PorTL patron és Bitt szonda is van (7. ábra). A B típusú állomás felszereltsége azonos az A típusúéval, de az erőműtől több mint 20 km-re van, hogy az esetleges, az erőműtől független háttérsugárzás emelkedést észlelni lehessen. A G típusú állomások csak a gamma-sugárzás folyamatos távmérésére szolgálnak, azokon csak Bitt szonda található (8. ábra), míg a C típusúakon (9. ábra) csak PorTL patron van. A C típusú állomásokon – ellentétben a többi mérőhellyel – a detektor alatt nem természetes talaj, hanem betonfelület van.



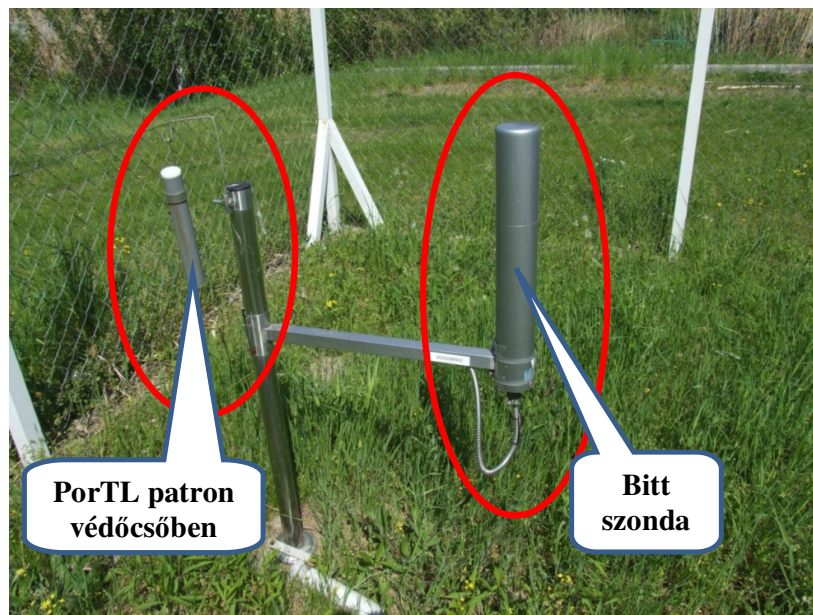
4. ábra. Az A, B, C, G és L mérőpontok (mérőállomások) elhelyezkedése. Az L mérőpont Pakson, a Környezetellenőrző Laboratórium kertjében elhelyezett PorTL patron.



5. ábra. Az A és G típusú állomások elhelyezkedése. Az erőmű a tengelyek metszéspontjában van, az állomások átlagos távolsága az erőműtől 1,5 km.



6. ábra. Az A típusú állomáson PorTL patron és Bitt szonda is van (a kép jobb szélén pirosan bekarikázva).



7. ábra. Az A típusú állomáson elhelyezett PorTL patron és Bitt szonda



8. ábra. A G típusú állomás, a piros karikában a Bitt szonda



9. ábra. A C típusú állomás, a piros karikában a PorTL patron védőcsőben

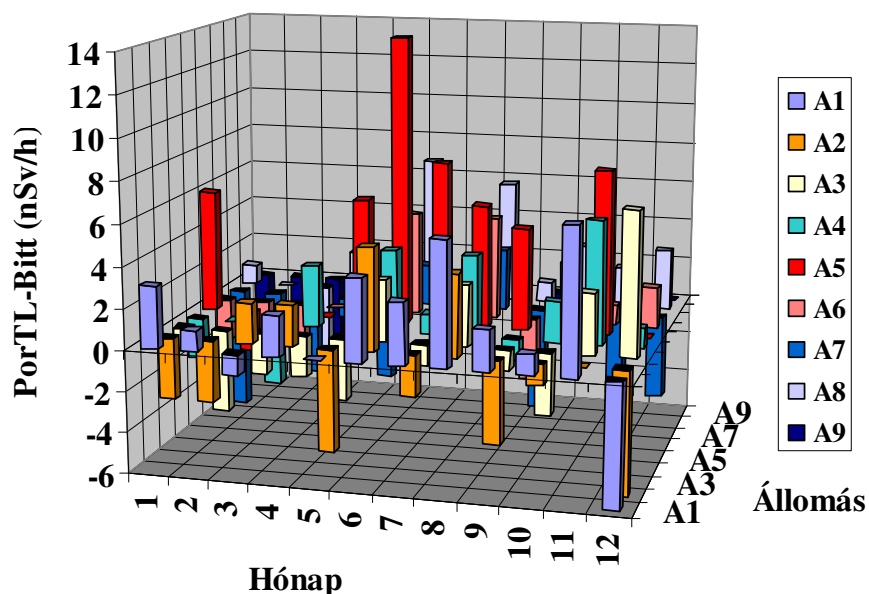
A MÉRÉSI EREDMÉNYEK ANALÍZISE

Elsőként összehasonlítottuk a kilenc A típusú állomáson a PorTL patronnal és a Bitt szondával mért átlagos havi dózisteljesítményeket. Meg kell jegyezni, hogy csak az A és B típusú mérőállomásokon van PorTL patron és Bitt szonda. A B állomás távol esik az erőműtől, ezért a kiértékelésbe ennek adatait nem vontuk be. Az összehasonlítás eredményeit a 2. táblázat adja meg. Látható, hogy az átlagos éves adatok nagyon jó egyezést mutatnak; az átlagos eltérés 2,0%.

2. táblázat. Az A1-A9 mérőállomásokon PorTL patronnal és Bitt szondával mért átlagos éves dózisteljesítmény 2009–2014. években

Adat	Dózisteljesítmény nSv/h értékben							
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Átlag	Szórás
PorTL patron	77,6	72,7	74,2	75,3	73,9	72,1	74,3	$\pm 1,80$
Bitt szonda	76,9	74,7	76,5	76,5	76,1	75,4	76,0	$\pm 0,75$
PorTL patron-Bitt szonda	0,7	-2,0	-2,3	-1,2	-2,2	-3,3	-1,7	$\pm 1,25$

Megvizsgáltuk azt is, hogy az egyes hónapokra és állomásokra vonatkozóan hogyan alakulnak a PorTL patronnal és a Bitt szondával mért dózisteljesítmények közötti eltérések. A legnagyobb eltérést az A5 állomás mutatta (10. ábra). A havi adatok mérése után célszerű az ilyen összehasonlítást elvégezni, hogy nagy eltérésnél az esetleges kiváltó okot mielőbb meg lehessen határozni.



10. ábra. Az A1–A9-es állomásokon PorTL patronnal és Bitt szondával mért dózisteljesítmények közötti eltérések a 2009. évben

A továbbiakban vizsgáljuk meg egy-egy évre vonatkozóan az adott állomástípuson adott módszerrel (PorTL patron vagy Bitt szonda) meghatározott, hónaponkénti mérési adatokat. Az egyes mérési pontokon az óránkénti dózisteljesítményre normált havi átlagos természetes dózisteljesítmények nem azonosak (3. táblázat). Ennek oka az, hogy az állomások környezetében lévő talaj radioaktív koncentrációja eltérő, de e mellett a dózisteljesítményt befolyásolja a talaj aktuális nedvességtartalma és az esetleges hótakaró is. Ha ezeket a módosító tényezőket a lehetőség szerint korrigáljuk, akkor a mérési adatok eltérései lényegesen csökkenthetők és ennek révén a nem környezeti tényezőkből létrejövő dózisteljesítmény emelkedés kimutatási határa javulhat.

3. táblázat. Az A típusú állomásokon PorTL patronokkal 2009-ben mért havi átlagos dózisteljesítmény adatok nSv/h egységben

Állomás	Hónap												Átlag
	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	nov.	dec.	
A1	75	73	70	74	72	76	75	78	74	73	82	66	74,0
A2	70	70	74	75	68	78	71	77	70	73	76	68	72,5
A3	80	77	78	80	79	85	81	86	82	80	82	79	80,8
A4	77	79	75	84	79	84	81	84	80	82	87	79	80,9
A5	81	72	75	78	85	92	87	85	85	78	86	75	81,6
A6	75	73	74	78	76	82	79	82	75	80	81	79	77,8
A7	66	69	67	71	67	74	70	74	67	70	70	69	69,5
A8	85	84	80	89	88	94	89	93	89	89	88	86	87,8
A9	72	71	70	72	72	77	72	76	72	73	76	74	73,1
átlag	75,7	74,2	73,7	77,9	76,2	82,4	78,3	81,7	77,1	77,6	80,9	75,0	77,6
szórás	5,87	4,87	4,09	5,82	7,24	7,04	6,87	6,02	7,32	5,94	5,95	6,48	6,50

Az éves átlag adatokat értékelve megállapítottuk, hogy a minimális dózisteljesítmény érték 69,5 nSv/h, a maximális érték 87,8 μ Sv/h, az átlagos érték 77,6 nSv/h. A teljes adatmennyiség (9 állomás x 12 hónap=108 adat) szórása $\pm 6,5$ μ Sv/h, azaz $\pm 8,4\%$.

Kiküszöbölendő az állomások környezetében lévő eltérő talajaktivitásból eredő átlagos dózisteljesítményt eltérést, normáljuk az adott állomás havi adatait az adott állomás éves átlagára, ezzel kiküszöbölve az állomások helyén lévő átlagos éves dózisteljesítmény eltérést. Az így normált adatokat a 4. táblázat tartalmazza

4. táblázat. Az állomások éves átlagára normált relatív dózisteljesítmények

állomás	hónap											
	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	nov.	dec.
A1	1,014	0,986	0,946	1,000	0,973	1,027	1,014	1,054	1,000	0,986	1,108	0,892
A2	0,966	0,966	1,021	1,034	0,938	1,076	0,979	1,062	0,966	1,007	1,048	0,938
A3	0,991	0,954	0,966	0,991	0,978	1,053	1,003	1,065	1,015	0,991	1,015	0,978
A4	0,952	0,976	0,927	1,038	0,976	1,038	1,001	1,038	0,989	1,013	1,075	0,976
A5	0,993	0,883	0,919	0,956	1,042	1,128	1,066	1,042	1,042	0,956	1,054	0,919
A6	0,964	0,938	0,951	1,002	0,976	1,054	1,015	1,054	0,964	1,028	1,041	1,015
A7	0,950	0,993	0,964	1,022	0,964	1,065	1,007	1,065	0,964	1,007	1,007	0,993
A8	0,968	0,956	0,911	1,013	1,002	1,070	1,013	1,059	1,013	1,013	1,002	0,979
A9	0,985	0,971	0,958	0,985	0,985	1,054	0,985	1,040	0,985	0,999	1,040	1,013
átlag	0,976	0,958	0,951	1,005	0,982	1,063	1,009	1,053	0,993	1,000	1,043	0,967
szórás	0,021	0,033	0,033	0,026	0,028	0,029	0,025	0,011	0,027	0,021	0,034	0,042

A teljes adatmennyiség szórása a normálás nélküli 8,4%-ról lecsökkent 4,3%-ra. A következőkben az évszakos változások kiküszöbölésére az állomások értékeit normáljuk az adott hónap 9 állomásra vett átlagos értékével. Az így kapott eredményeket a 5. táblázat mutatja.

5. táblázat. Az állomások éves átlagára és a havi átlagos értékre normált relatív dózisteljesítmények

Állomás	Hónap												átlag
	jan.	febr.	márc.	ápr.	máj.	jún.	júl.	aug.	szept.	okt.	nov.	dec.	
A1	1,039	1,030	0,994	0,995	0,991	0,967	1,004	1,001	1,007	0,986	1,062	0,922	1,000
A2	0,990	1,008	1,073	1,030	0,955	1,012	0,970	1,008	0,972	1,007	1,005	0,970	1,000
A3	1,015	0,995	1,015	0,986	0,997	0,991	0,994	1,011	1,023	0,991	0,973	1,012	1,000
A4	0,975	1,019	0,974	1,033	0,995	0,977	0,992	0,986	0,996	1,013	1,030	1,010	1,000
A5	1,018	0,921	0,966	0,952	1,061	1,061	1,057	0,989	1,049	0,956	1,010	0,951	0,999
A6	0,988	0,979	0,999	0,998	0,995	0,991	1,006	1,000	0,970	1,028	0,997	1,050	1,000
A7	0,973	1,036	1,013	1,017	0,982	1,002	0,998	1,011	0,971	1,007	0,965	1,027	1,000
A8	0,992	0,998	0,957	1,009	1,021	1,007	1,004	1,005	1,020	1,013	0,960	1,013	1,000
A9	1,010	1,014	1,007	0,981	1,004	0,992	0,976	0,987	0,992	0,999	0,997	1,047	1,000
átlag	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
szórás	0,022	0,034	0,034	0,026	0,029	0,027	0,025	0,010	0,027	0,021	0,032	0,044	0,028

A teljes adatmennyiség szórása a normálás nélküli 8,4%-ról és az állomás átlagára történő normálás utáni 4,3%-ról végeredményben lecsökkent 2,8%-ra, azaz az eredeti érték egyharmadára, ezzel a mesterséges eredetű dózisteljesítmény emelkedés kimutatási határa (3σ) ~8%, ami a 77 nSv/h átlagos dózisteljesítménynek megfelelő 56 μ Sv átlagos havi dózis esetében mintegy 4,5 μ Sv dózisemelkedésnek felel meg.

A leírtaknak megfelelően az adatfeldolgozás lépései a következő.

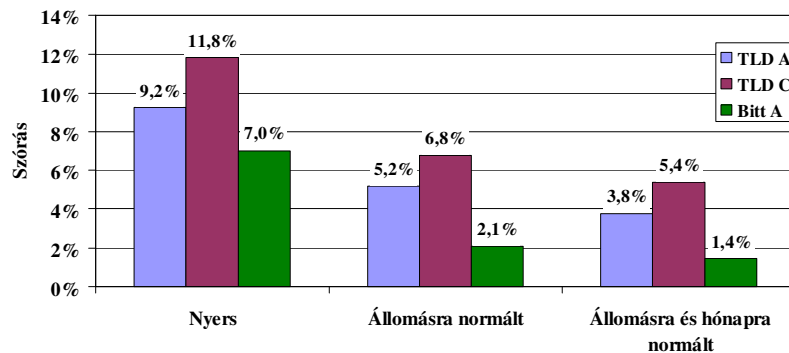
- Az adott típusú detektorok mérési adatainak szórását meghatározzuk (szórás 1)
- Az adott típusú detektorok mérési adatait az adott pont éves átlagára normálva kiküszöböljük a mérési pont átlagos háttére közötti különbséget (szórás 2)
- Az előzőekben normált adatokat az adott hónap átlagos intenzitására normáljuk (szórás 3).

A leírtaknak megfelelően az adatfeldolgozást elvégeztük a teljes rendelkezésre álló hatéves adatbázisra. A hat évre vonatkozó nyers, az állomás éves átlagára és a havi átlagra is normált mérési adatok szórása (11. ábra):

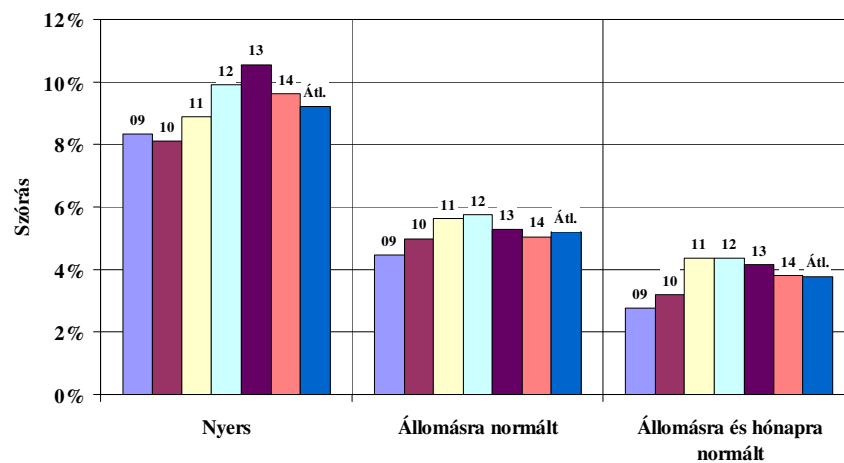
- PorTL patron az A típusú állomásokon 3,8%
- PorTL patron a C típusú állomásokon 5,4%
- Bitt szonda az A típusú állomásokon 1,4%.

Megállapítható, hogy az A típusú állomásokon, azaz mintegy 1,5 km-es sugarú körön belül elhelyezett PorTL patronok adatainak korrigált szórása szignifikánsan kisebb, mint a nagy területen szétszóró C típusú állomásokra vonatkozó adat. A Bitt szondák mérési eredményei nagyon kis szórást mutatnak, ami nagyrészt annak köszönhető, hogy ezeknek a méréseknek statisztikus pontossága rendkívül jó.

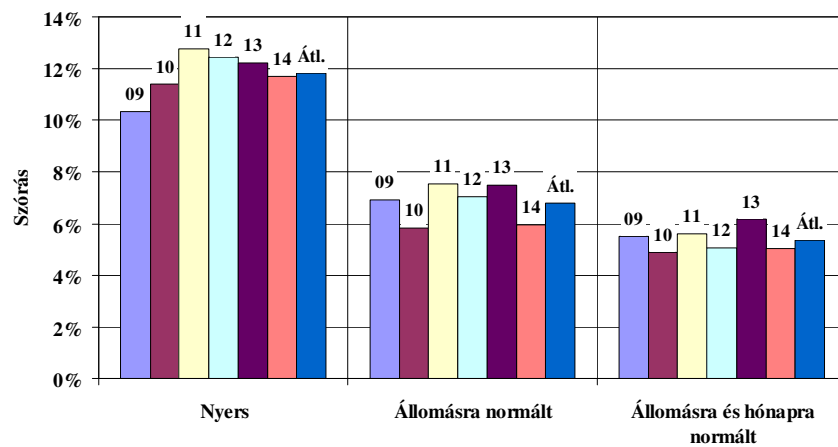
Megvizsgáltuk azt is, hogy a mérési adatok korrigált szórása mennyire állandó a vizsgált 6 évre vonatkozóan. Megállapítható, hogy az A típusú állomásokon elhelyezett PorTL patronok adatainak szórása egyik évben sem haladta meg a 4,5%-ot (12. ábra), ami azt jelenti, hogy a 3σ értéknek megfelelő kimutatási határ 7 μ Sv az egyhavi dóziszál. A C típusú állomásokra vonatkozó hasonló érték 4,5% helyett mintegy 6% (13. ábra). Ugyanez az érték Bitt szondák esetében ennek az értéknek mintegy egyharmada, azaz mintegy 2 % (14. ábra).



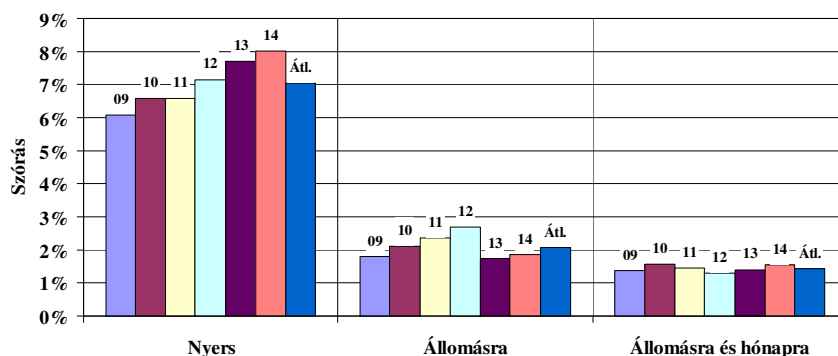
11. ábra. A hat évre vonatkozó nyers, az állomás éves átlagára és a havi átlagra is normált mérési adatok szórása (TLD – A és C típusú állomások, Bitt szonda A típusú állomások)



12. ábra. A típusú állomásokon mért PorTL mérési adatok szórása. Az oszlopok fölött lévő számok az évszám két utolsó számjegyei

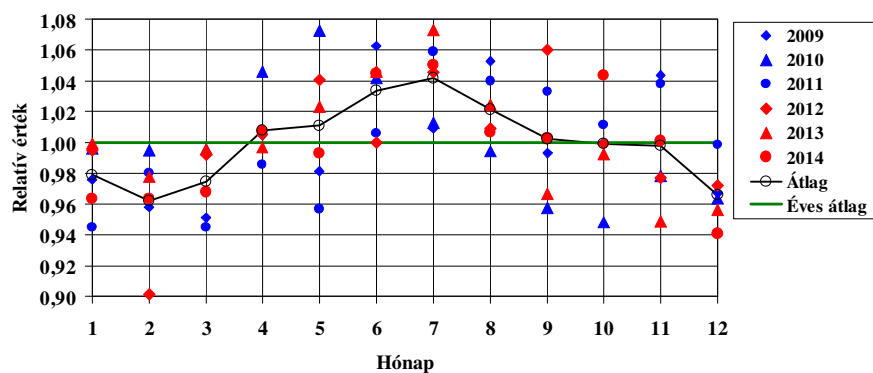


13. ábra. A C típusú PorTL adatok szórása. Az oszlopok feletti számok az évszám két utolsó számjegyei

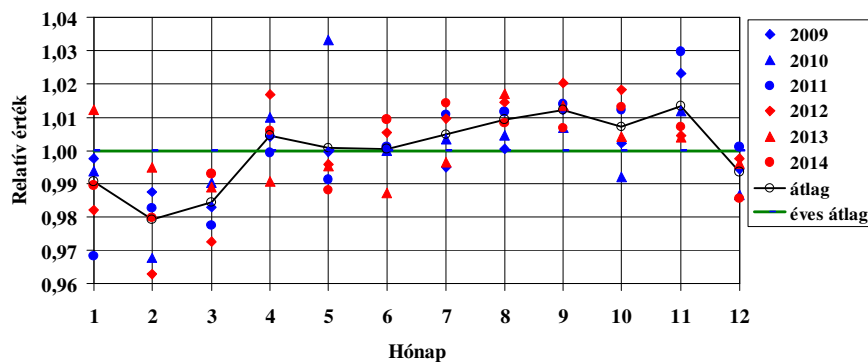


14. ábra. A Bitt szondák mérési adatainak szórása. Az oszlopok feletti számok az évszám két utolsó számjegyei

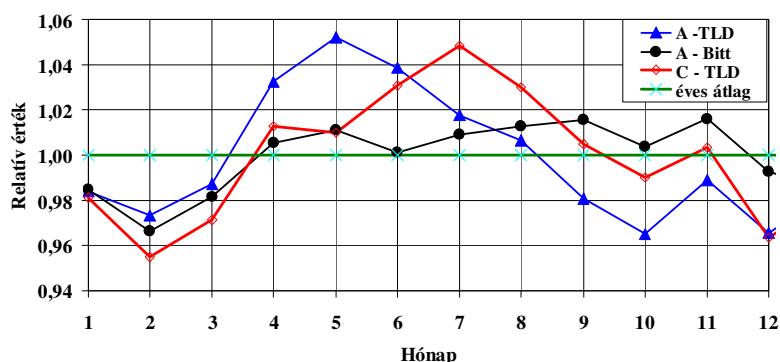
A 15. ábra az A típusú állomásokon a PorTL detektorokkal 6 éven át mért relatív (az éves átlagra normált) havi dózisteljesítményeket mutatja. Bár az eredmények jelentős szórást mutatnak, de a mérési eredmények átlagában egyértelműen kirajzolódik a hidegebb évszakok nagyobb talajnedvesség tartamának megfelelő kisebb dózisteljesítmény a melegebb, szárazabb hónapok adataihoz képest. Ugyanakkor viszont a Bitt szondák adatainál ez az évszakos változás sokkal kisebb (16. ábra). A 17. ábra együtt mutatja az A és C típusú állomásokon elhelyezett PorTL patronok és az A típusú állomásokon lévő Bitt szondák jelzésének havi menete hat évre átlagolva. Figyelemre méltó, hogy a PorTL patronok esetében a C típusú állomásokon a nyári csúcs két hónappal később jelentkezik, mint az A típusú állomásoknál, míg a Bitt szondáknál nem észlelhető nyári csúcs. Meg kell jegyezni, hogy az A típusú állomásoknál mind a PorTL patron, mind a Bitt szonda alatt természetes talaj van, a C típusú állomásoknál pedig betonfelület, de ezzel a leírt eltérések nem magyarázhatóak.



15. Az A típusú állomásokon elhelyezett PorTL patronok jelzésének hat évre vonatkozó havi eloszlása

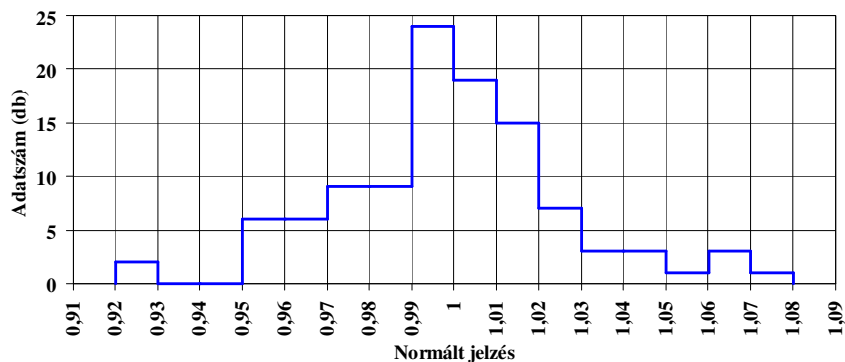


16. ábra. A Bitt szondák jelzésének hat évre vonatkozó havi eloszlása



17. ábra. Az A és C típusú állomásokon elhelyezett PorTL patronok és az A típusú állomásokon lévő Bitt szondák jelzésének havi menete hat évre átlagolva

Végül megvizsgáltuk a kilenc A típusú állomás kétszeresen normált kétévi PorTL adatának jelzés gyakoriság szerinti eloszlását, amelyik közelítő Gauss eloszlást mutat (18. ábra), a szórás nagysága 2,7%. ez megfelel az előzőekben számított értékekkel (5. táblázat).



18. ábra. 216 kétszeresen normált PorTL patron mérési adat gyakoriság eloszlása

KÖVETKEZTETÉSEK

Az elvégzett analízisek alapján megállapítható, hogy az állomások éves átlagos értékére és a havi átlagos értékekre történő normálás révén a kimutatható legkisebb dózis értéke jelentősen lecsökken (6. táblázat), azaz a PorTL patronokkal a normálás nélküli esethez viszonyítva közel kétszer, a Bitt szondákkal pedig akár négyszer kisebb dózisokat is ki lehet mutatni, ezért a havi adatok kiértékelésénél a leírt módszert kívánjuk használni.

6. táblázat. A havi adatok alapján kimutatható dózisok (3σ)

Adatok	$\mu\text{Sv/hónap}$		
	TLD A	TLD C	Bitt A
Nyers	14,8	18,9	11,5
Állomásra normált	8,3	10,9	3,4
Hónapra is normált	6,0	8,6	2,4