

Korrelációs vizsgálatok a Paksi Atomerőmű rekonstruált környezeti mérőállomásainak adatai alapján

Nagy Ferenc Balázs¹, Deme Sándor², *Zagyvai Péter²

¹diplomázó egyetemi hallgató, MTA EK, Budapest, ²MTA EK Budapest

*zagyyai.peter@energia.mta.hu

Érkezett 2012.12.19.

Correlation studies for the data of the reconstructed environmental monitoring stations of the Paks Nuclear Power Plant

Abstract

One year period of data recorded by the environmental monitoring stations in the vicinity of the Paks Nuclear Power Plant were evaluated. Correlations were found between fluctuation of natural background radiation and weather parameters. This enables the development of a correction method reducing the standard deviation in the background estimation for gamma-radiation detectors of the stations. With this approach the dose rate of the natural environmental radiation can be distinguished from radiation due to stack emission of the power plant.

Keywords: nuclear power plant, natural radiation, correlation study

A munka célja a Paksi Atomerőmű rekonstruált környezeti sugárzás monitorozó mérőállomások adatainak feldolgozásával kimutatni a háttérsugárzás jellegzetességeit, és ennek során megvizsgálni a természetes eredetű gamma-sugárzástól származó dózisteljesítmények időfüggésének egymással való korrelációját. Korábbi mérések szerint ilyen korreláció fellép ugyan, de egy-egy adott mérési helyet jellemző értékei különbözőek. A feladatunk ilyen jellemző értékek meghatározása, illetve ezekre az eredményekre alapozva, a szélirányt is figyelembe véve, a létesítmény kibocsátását a jelenleginél érzékenyebben jelző módszer kidolgozása. A mérőállomások adatai közötti korrelációra alapozva el tudtuk különíteni a dózisteljesítmény természetes eredetű részét a sztochasztikus ingadozás és az esetleges erőműi kibocsátás együttes járulékától.

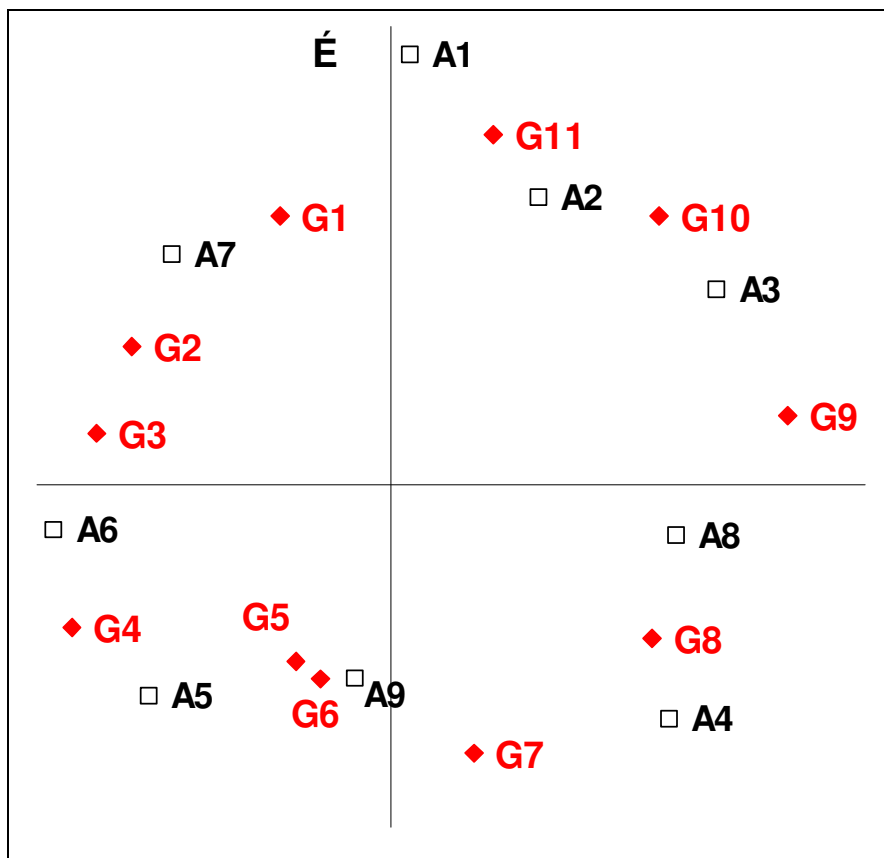
Kulcsszavak: atomerőmű, természetes sugárzás, korrelációs vizsgálatok

Bevezetés

A Paksi Atomerőmű környezetének sugárvédelmi ellenőrzésére az erőmű 2 km-es sugarú környezetében távmérő állomások létesültek. Az 1980-as években még csak 8 mérőállomás volt, ezeken a mérőállomásokon a gamma-sugárzás dózisteljesítményét GM-számlálók mérték. Egy 1983-as közlemény [1] bemutatta, hogy a mérőállomások természetes eredetű háttérének változása időben azonos jelleget mutat, a jelzések korrelációját felhasználva az erőműi eredetű sugárzás érzékenyebben kimutatható.

A 2000-es évek elején került sor a környezeti mérőrendszer teljes rekonstrukciójára. Ennek keretében a gamma-sugárzás dózisteljesítményét mérő állomások száma 20-ra emelkedett, a GM csövek helyett BITT gyártmányú RS03 típusú proporcionális számlálókat szereltek fel. E detektorok méréstartománya 10 nGy/h–10 Gy/h. E közleményben ismertetjük a jelenleg használt detektorokra és a 20 mérőállomásra vonatkozó korrelációs vizsgálatokat.

Az 1. ábrán látható az erőmű körül a 20 mérőállomás elhelyezkedése [2]. A gamma-sugárzás dózisteljesítményét mind az A, mind a G jelű állomások mérik, de a G állomásokon csak a gamma-dózisteljesítmény mérés van, az A jelű állomásokon szűréssel kapott mintákkal történő folyamatos légköri aktivitáskoncentráció mérés, valamint fall-out mintavétel is folyik.



1. ábra. A környezeti sugárázmérő állomások elhelyezkedése. A koordináta-rendszer középpontja az erőmű két iker-szellőzőkéménye között fél távolságon van. A legközelebbi, A9-es állomás távolsága a középponttól 900 m, a legtávolabbi, A1-es állomásé 1900 m.

Az adatokat a Paksi Atomerőmű Zrt-től kaptuk tudományos vizsgálatok céljára. Minden adatsomag dátummal és időbélyegzővel van ellátva és 10 perces időintervallumokra vonatkozik. Tartalma a szélirány és szélesség 20, 50 és 120 méter magasságban, illetve csapadék (az adott 10 percben lehullott csapadék mennyisége, mm-ben), valamint a környezeti dózisteljesítmény.

A 20 mérőállomás egy év alatt e 10 percenkénti rögzítéssel együttesen 1 millió mérési adatot szolgáltat. Egyes adatsorok nem voltak teljesek. Voltak hiányzó adatok, melyek az átlagok, összegek, szórások számításánál nem okoznak problémát, volt azonban néhány eset, melynél a mérési eredmények kiszóró pontnak tekinthetők. Ezeknél az alábbi szabály szerint jártunk el: a mért dózisteljesítmény jellemzően 70 nSv/óra volt, 50-130 nSv/óra közötti tartományban. Az ettől lényegesen eltérő mérési adatokat (3-4 esetben) egyenként megvizsgáltuk. Ha az adat valódi mérési eredmény, elvárható lenne, akár erőműi eredetű, akár természetes dózistöbbletről legyen szó, hogy azt a szomszédos mérőállomás is jelezze. Mivel egyik ilyen esetben sem fordult elő szignifikáns változás a többi 19 mérőállomás adatainál, ezeket a hibásnak tekinthető adatokat figyelmen kívül hagytuk. Így a 30 nSv/óra alatti, illetve a 200 nSv/óra feletti eredményeket hiányzóként kezeltük.

A kiértékelő programot SAS nyelven készítettük el. A szórás a SAS program függvényével számoltuk a következő összefüggés szerint:

$$\text{STD}_x = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

A Bessel-korrekción (N helyett $N-1$ szerepeltetése) N nagy értékei miatt (50ezer körüli) elhanyagolható. A korrelációs mátrixot ugyancsak egy standard SAS eljárás felhasználásával számítottuk, Pearson-féle korrelációs együtthatóként. Ennek vizsgálata a várt eredményt adta; átlagosan 0,73-as korrelációs együtthatót kaptunk két állomás kapcsolatára.

Feltételeztük, hogy az egyes állomásokon mért eltérő dózisteljesítmények okai a véletlen ingadozás (statisztikus szórás), eltérő talajsugárzás, a levegőben és a talajfelszínen lévő radon leányelemek időben és térben változó sugárzása és az esetleges erőműi kibocsátás (csak a szél irányában jelentkeznek). A kozmikus sugárzás hatása a mérőállomásokon azonosnak tekinthető.

Ezen megfontolások alapján a korreláció igazolásának egy másik módja [1] alapján, hogy egyenként vizsgáljuk a mérőállomások adatainak éves szórását, illetve az állomások adatainak az adott időintervallumhoz tartozó átlagára normált dózisteljesítmény szórását, és amennyiben ez utóbbi szignifikánsan kisebb, úgy kijelenthetjük, hogy a különböző pontokon mért dózisteljesítmények ingadozásában jelentkezik összefüggés. A relatív dózisteljesítményt a következőképpen értelmeztük: $N_{ji} / \bar{N}_i$, vagyis a j -ik állomás i időpontban mért dózisteljesítményének és az i időpontban az állomások által mért dózisteljesítmények átlagának hányadosa.

Jobb eredményt, tehát kisebb szórást kaphatunk, ha a pillanatnyi háttér nagyságát a szélfelőli mérőállomások átlagaként értelmezzük (azok a detektorok, amelyek felé az atomerőmű csóvját tereli a szél, szélmentiek, ezekkel ellentétes irányúakat, amelyek felől a szél fúj, azokat szélfelőlinek nevezzük), amivel $N_{ji} / \bar{N}_i$ nevezőjében csak a szélfelőli állomások szerepelnek. Az így kapott átlagértékkel osztottuk az egyes adatokat.

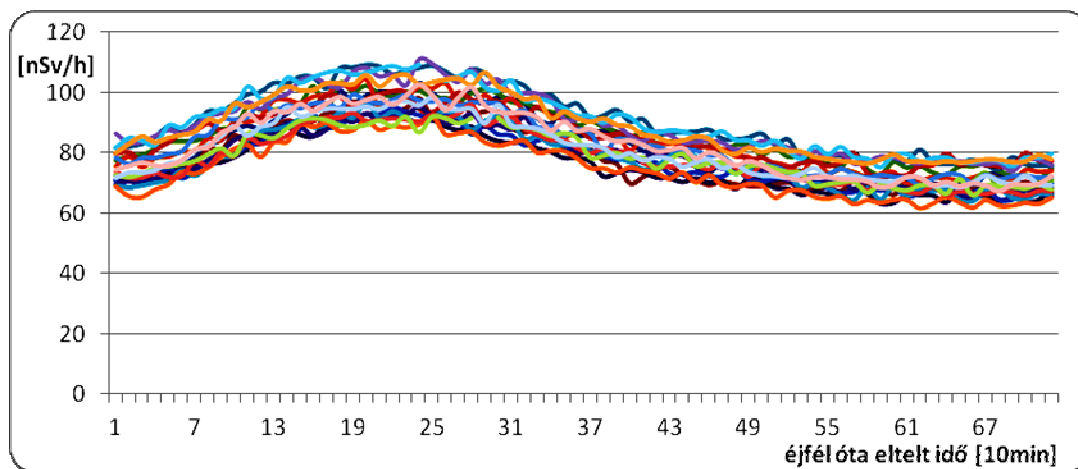
Ezután szórást számoltunk, mind az eredeti, mind a normált adatsorokra. Az egyes mérőállomások egész éves adatsorára végeztük el a számítást, vagyis meghatároztuk, hogy mennyire ingadozik a mért érték, illetve a „háttérhez” viszonyított érték az év során. Az így kapott eredményt tartalmazza az 1. táblázat.

1. táblázat. Az eredeti és a normált adatok relatív szórása

	Átlag	A1	A2	A3	A4	A5	A6
eredeti	4,63%	5,42%	5,24%	4,04%	4,22%	4,61%	4,87%
normált	3,37%	3,51%	3,46%	3,76%	3,08%	4,20%	3,14%
	A7	A8	A9	G1	G2	G3	G4
eredeti	4,62%	4,13%	3,99%	5,53%	5,20%	4,92%	4,51%
normált	2,64%	3,40%	3,38%	3,34%	2,78%	2,40%	3,54%
	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
eredeti	4,20%	4,12%	3,87%	4,24%	4,60%	4,95%	5,29%
normált	3,38%	3,33%	3,73%	3,36%	4,03%	3,38%	3,55%

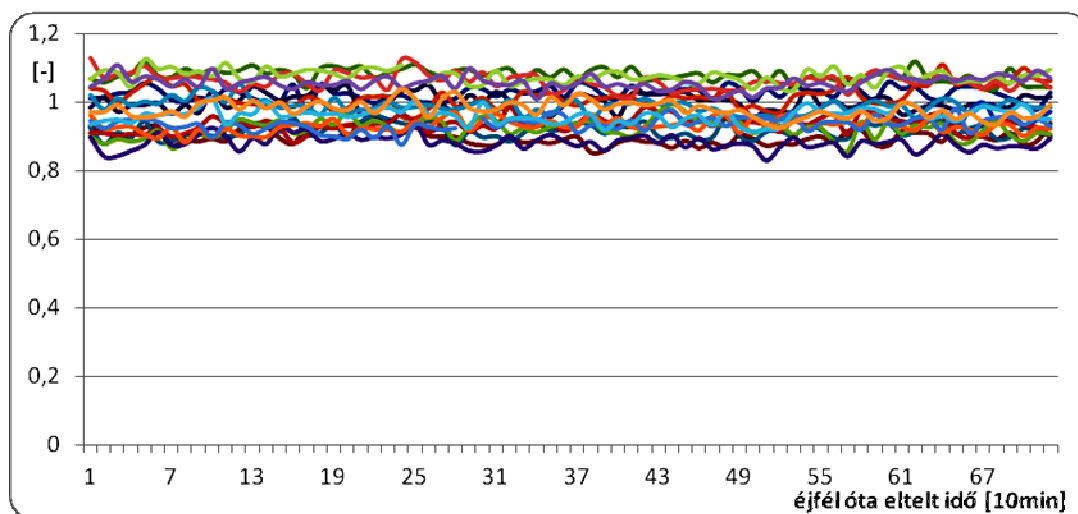
Az eredeti és a normált relatív szórások közötti szignifikáns eltérés a mért dózisteljesítmények korrelációjára utal. Azt, hogy mennyire függnek össze a mért adatok, jól demonstrálja a 2. ábra, mely 2005. december 30-án nulla óra és dél között mért dózisteljesítményeket mutatja grafikus formában. Ezen a napon hajnalban jelentős mennyiségű csapadék esett, ami a légkörben lévő radon leányelemek kimosása révén dózisteljesítmény többletet hozott létre, ez eredményezi az erőmű két kilométeres sugarú

környezetében (vagyis minden mérőállomás esetén ugyanúgy) a korábbi dózisteljesítményhez képest közel 50%-os növekedést.



2. ábra. A december 30-i eső hatására bekövetkező dózisteljesítmény változás az idő függvényében

Jól megfigyelhető, ahogy az egyes mérőállomások jelzésének statisztikus ingadozása (a BITT szonda egyszeres statisztikus bizonytalansága 70 nSv/h esetén 2,2%) ugyan jelentkezik, de a kimosás okozta csúcs mindegyik detektornál ugyanolyan mértékű, a statisztikus ingadozásokhoz képest lényegesen nagyobb növekményt jelent. A fentiekben ismertetett, a továbbiakban röviden normálásként említendő eljárást alkalmazva ez a szisztematikus növekedés a várakozásnak megfelelően eltűnik (3. ábra). Az ábrán az adott mérőállomáshoz tartozó adatok azonos színnel vannak megjelenítve, ezzel megkönnyítve az összehasonlításukat.



3. ábra. A normált relatív dózisteljesítmény az idő függvényében

Ez azért fontos eredmény, mert ezzel a dózisteljesítmény megnövekedésére alapozott hamis riasztások jelentős hányadát meg tudjuk különböztetni a valóban erőműi eredetű kibocsátásra utaló jelektől. Míg a természetes eredetű többlet dózisteljesítmény (csapadékcúcs)

jellemzően mindegyik mérőállomást érinti és ez által az átlagukra történő normáláskor eltűnik, az erőműből származó kibocsátás a szélmenti és a széloldali állomások adatai között számottevő különbséget eredményezne.

Összességében kijelenthető, hogy az elmélet alapján a vártnak megfelelően az egyes mérőállomások egymással összhangban mérnek, és amennyiben nincs csak néhány mérőállomást érintő hatás, az ingadozásuk korrelál. Ennek jelentősége abban áll, hogy megteremti a kibocsátott szennyeződések légköri terjedésének környezeti monitorozásához szükséges alapot, hiszen láttuk, hogy az atomerőmű üzemszerű működése során, az egyes pontokon mért dózisteljesítmény korrelál, míg jelentős, a háttér 10%-os emelkedését okozó erőműi kibocsátás esetén a szélfelőli és a szélmenti csoportokban mért dózisteljesítmények átlagainak az aránya várhatóan 1-től szignifikánsan eltérne.

Az egyes mérőállomások által mért dózisteljesítmények a vártnak megfelelően a sztochasztikus jelleggel felül a lokális, temporális fluktuációk miatt is jelentős szórással bírnak. Fontos azonban, hogy az egészen kis kilengéseket is képesek legyünk felismerni, hiszen a megbízhatóság megköveteli a lehető legkisebb eltérés felismerését is.

Az alábbi korrekciós eljárás¹ igyekszik kiküszöbölni a mért adatok természetes eredetű fluktuációs ingadozását. Az előzőekben megfigyeltük és igazoltuk, hogy a mérőállomások korrelálnak egymással, ezáltal mindegyik mérőállomásra kiszámolható annak várható, a többi állomás által mért dózisteljesítmények átlaga alapján kalkulálható eredménye, mely azokkal jól korrelál. Ennek és a mért aktuális eredménynek a különbsége a sztochasztikus és a csak adott állomáson jelentkező eltérés együttes hatásának tekinthető. Az így nyert korrekciós tényező segítségével egy sokkal stabilabb, simább eredményt kapunk.

$$N_{ki}^{korr} = \left(\left(\sum_{j \neq k} \left(\frac{N_{ji}}{N_j} - \frac{N_{ki}}{N_k} \right) \right) / (n-1) \right) \overline{N_k} + N_{ki} =$$

$$= \left(\left(\sum_j \left(\frac{N_{ji}}{N_j} \right) - \frac{N_{ki}}{N_k} n \right) / (n-1) \right) \overline{N_k} + N_{ki} \quad (2)$$

Itt N_{ki} jelöli a k -dik állomás által mért dózisteljesítményt az i -dik időintervallumban, $\overline{N_k}$ a k -dik állomás kellően hosszú időre vett (idő)átlagát (ez esetünkben egy év). Képezzük ezek hányadosainak különbségét a j -ik állomás hasonlóképpen kapott viszonylagos mérési eredményével, majd átlagoljuk ezt (a $j \neq k$ feltétel mellett n állomás esetén $(n-1)$ tagú lesz az összeg, ezért szerepel $(n-1)$ a fenti képletben). Az így kapott átlagolt különbséget értelmezhetjük az k -ik állomás eltéréseinek relatív értékeként, tehát beszorozva annak $\overline{N_k}$ éves átlagával kapjuk a kívánt, i -dik időintervallumra vonatkozó korrekciós tényezőt. Ezt összeadva a k -ik állomásnál az i -dik időintervallumban mért eredménnyel, megkapjuk annak a többi állomással korreláló, az időszakos, természetes eredetű eltérésektől megtisztított becsült értékét.

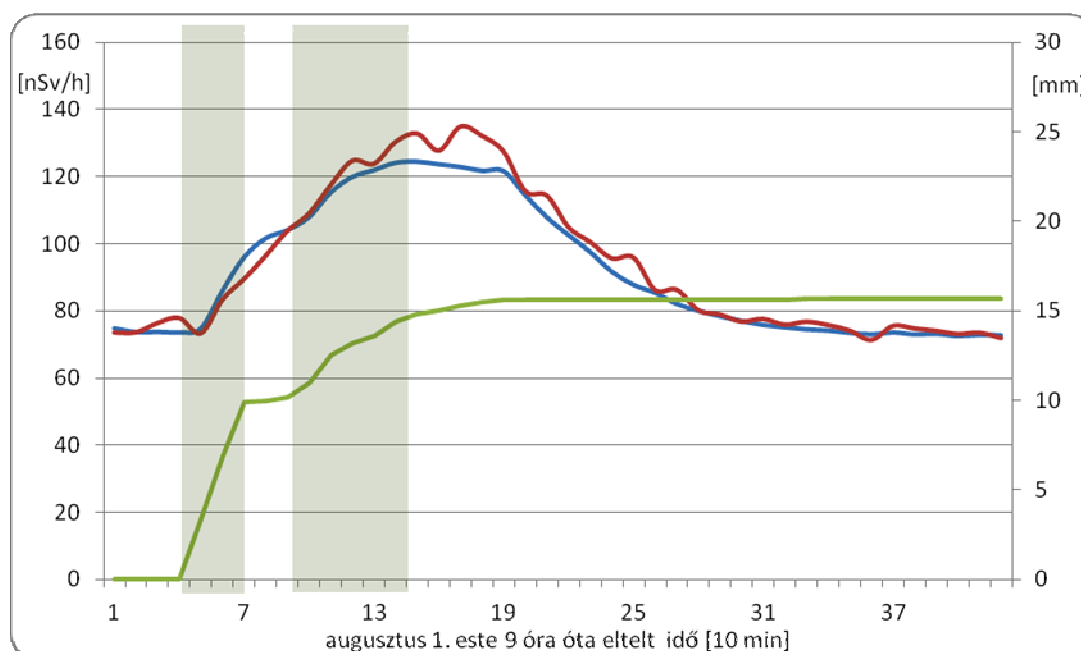
A fenti levezetésből látható, hogy az egyes állomásokhoz így rendelt korrigált dózisteljesítmény független lesz annak pillanatnyi mérési értékétől, ám függeni fog az összes többi állomástól. Ugyanakkor az adott állomás eredménye sem vész el, mert minden másik állomás kifejezésében jelentkezi fog. A 2. táblázat adja meg a szórást az így kapott korrigált eredményekkel:

¹ A korrekciós faktort [1] alapján vezetjük be, az ott közölt gondolatmenetből kiindulva.

2. táblázat. A korrigált adatok szórása

	Átlag	A1	A2	A3	A4	A5	A6
eredeti	3,91%	4,06%	4,15%	4,12%	3,55%	3,73%	4,04%
normált	2,11%	2,08%	2,21%	2,75%	1,65%	3,01%	2,16%
	A7	A8	A9	G1	G2	G3	G4
eredeti	4,16%	3,67%	3,59%	4,13%	4,18%	4,22%	3,81%
normált	1,48%	1,77%	2,37%	1,86%	0,97%	1,15%	2,74%
	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
eredeti	3,70%	3,65%	3,56%	3,66%	4,03%	4,13%	4,14%
normált	2,51%	2,46%	2,41%	1,29%	2,68%	2,41%	2,22%

A korábban kapott 4,63%-os szórás és a hozzá tartozó 3,37%-os szélfelőli normált szórások 3,91% illetve 2,11%-ra csökkennek, ami megbízhatóbb adatokat jelent. Ezt jól szemlélteti 4. ábra.



4. ábra A korrekciós eljárás hatása. Az A1 állomás által rögzített adat (piros görbe), a fenti eljárás által számolt háttér (kék görbe) és a csapadék összegzett mennyisége (zöld görbe a jobb oldali tengelyen) az idő függvényében

Jól látszik, hogy az adott állomás mért adatainál mennyivel simább a korrigált eredmény. A csapadék hatására kihulló radon leányelem aktivitás (dózisteljesítmény növekmény) mindkét esetben szembetűnő. A csúcs intenzitásának csökkenése a kimosott radon leányelemek bomlásának következménye

Fontos megemlíteni, hogy mivel itt már minden adat a saját éves átlagával, vagyis jó közelítéssel az adott helyszínen mérhető „háttér” nagyságával van normálva, az eljárás feloldja a talaj, illetve növénytakaró különböző járulékból adódó eltérések miatt fellépő különbséget a mérési adatok között. Tehát míg az egyik állomás 70 nSv/h-t mér átlagosan háttérnek, a másik pedig 80 nSv/h-t, (saját éves átlagukra) normált eredményként mindkettő

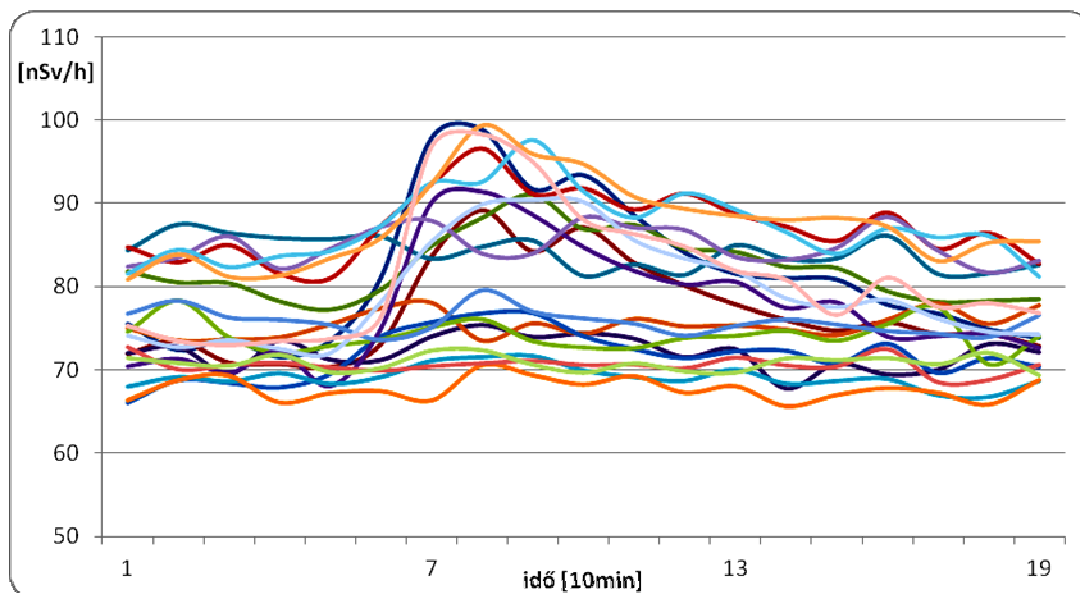
1-et ad, és így az önmagukhoz mért ingadozásukkal számolhatunk, nem pedig az eltérő környezeti hatásokkal terhelt értékekkel.

Az utóbb leírt módszerrel kiszámítható az adott mérőállomás által mért háttér értéke. Ebbe a háttérbe beletartozik mindannak a hatása, ami az erőmű tágabb környezetében általánosan tapasztalható, tehát mind a napi ingadozás, mind az egész területet érintő hatások (pl. csapadék). Az ettől eltérő rész,

$$K_{ki}^{kor} = N_{ki}^{kor} - N_{ki} = \left(\left(\sum_j \left(\frac{N_{ji}}{N_j} \right) - \frac{N_{ki}}{N_k} n \right) / (n-1) \right) \overline{N_k} \quad (3)$$

már csupán a lokális (egy vagy legfeljebb néhány mérőállomást érintő) hatásokat, és a sztochasztikus ingadozást (a számlálás statisztikus hibáját) tartalmazzák. Értéke jellemzően 0-hoz igen közeli, a húsz állomás éves átlagainak átlaga 0,003 nSv/h, melyeknek abszolút értékénél minden esetben nagyobb a hozzájuk tartozó szórás. Ez meg is felel azon elvárásunknak, hogy az átlagtól való eltérések összege nullát adjon, egzaktul nullát azonban mégsem eredményez, hiszen az adathibák miatt nem minden esetben álltak rendelkezésre mind a 20 állomás adatai.

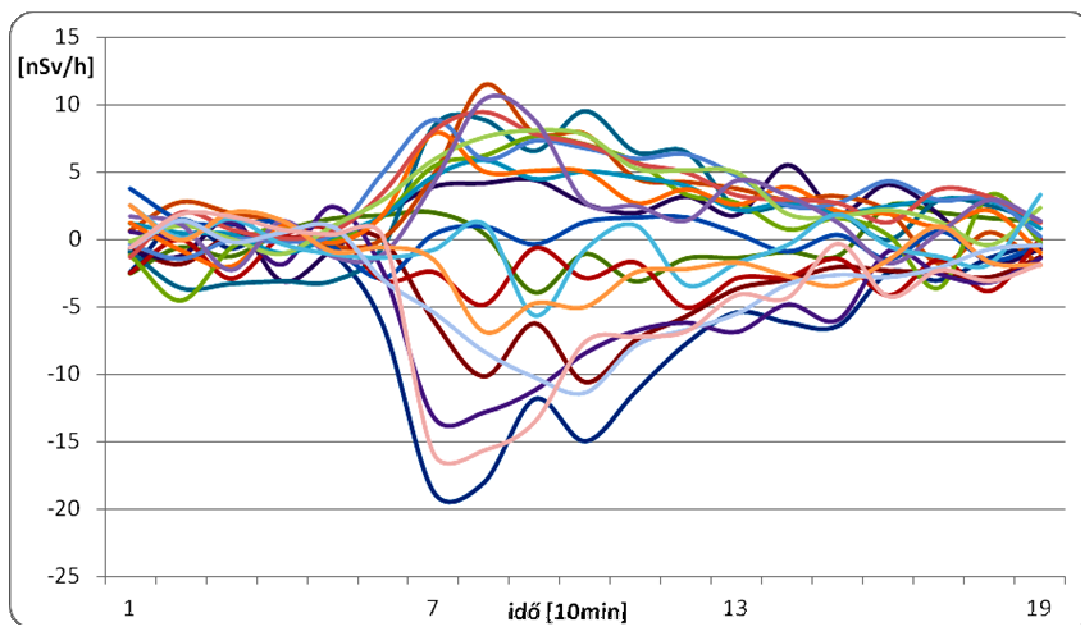
Ez a nulla közeli érték mégis sok lehetőséget rejt magában. Érzékenyen mutatja ki ugyanis az összes lokális hatást, melyekbe beletartozik a reaktorból származó, levegőben terjedő szennyeződés, vagyis a reaktorok esetleges radioaktív kibocsátása. A korrekciós faktor abszolút értékben 3-nál ritkán nagyobb, az abszolút értékének éves átlaga 1,25-1,7 nSv/h közötti. Ennek révén az adatok részletes vizsgálatakor mind az esők, mind a zivatarok igen könnyen kimutathatóak voltak, ezt a 3 nSv/h limitet alkalmazva. Az 5. ábrán látható egy kisebb zivatar hatása, amely csak néhány állomást érint. Az ábrán az állandó érték körül ingadozó görbék és a kimosás miatti hatást követő görbék vegyesen szerepelnek.



5. ábra. Dózisteljesítmény az idő függvényében május 14-én, amikor az eső csak néhány mérőállomásnál esett

A 6. ábrán a megfelelő időtartamra számolt korrekciós faktorok szerepelnek, mind az esemény előtt, mind utána 0 körül ingadoznak, ám az eső hatására erősen, jól észrevehetően kitérnek pozitív és negatív irányokba. Ez azért van, mert a korrekciós faktor a mérőállomások átlagához igyekszik húzni minden értéket. Így ahol a kimosás többletdózist eredményezett, ott

a hatás negatív, ahol ez a hatás nincs jelen, ott pozitív. Az 5. és 6. ábrákon az adott mérőállomáshoz tartozó adatok itt is azonos színnel vannak megjelenítve.



6. ábra A korrekciós faktorok kilengése jelzi az eseményt
Korrekciós faktor az idő függvényében

Mivel a vizsgált időszakban nem volt az atomerőműnek a környezetben legalább 10 nSv/h dózisteljesítmény eredményező kibocsátása, így nem tudjuk annak detektálását ábrával szemléltetni.

Még pontosabb eredményt kaphatunk, ha kiválasztjuk a szélmenti detektorok terjedési modellből számolt érintett hányadát, és a háttér számolásához is kevesebb mérőállomást veszünk figyelembe. Így ugyan valamelyest nagyobb lesz a zaj, de alkalmasabb lesz nem erőműi eredetű hatás kiküszöbölésére.

A bemutatott értékelések alapján nyilvánvaló, hogy az erőműből származó radioaktív kibocsátásra vonatkozó kimutatási érzékenység sokkal kedvezőbb, mintha pusztán a növekmény nagyságát vizsgálnánk. Az eljárás előnye, hogy automatizálható, így a húsz mérőállomás összevetése a meteorológiai adatokkal gyorsan elvégezhető, megbízható monitorozó rendszert eredményez, lehetővé téve a figyelmeztető dózisteljesítmény szint kisebbre választását. Fontos, hogy a korrekciók utáni szintemelkedés valóban erőműi eredetű sugárterhelést jelent, így az egyszerű szintfigyelésnél jobb ellenőrző és figyelmeztető rendszert jelentene a lakosság terhelésének monitorozásánál. A módszer használható egy-egy erőműi kibocsátás környezeti hatásának utólagos elemzésére is.

HIVATKOZÁSOK

- [1] S. Deme, I. Fehér, E. Láng, J. Rónaky : GM-counters for continuous environmental monitoring at the Paks Nuclear Power Station. XI Regional Congress of IRPA, 1983, Vienna
- [2] Csurgai J., Deme S., Dombovári P., Ferenczi Z., Kantavári A., Máté K., Solymosi J., Szántó A. A nukleáris balesetek esetén hazánkban használt légköri terjedés- és dózisszámító szoftverek összehasonlítása. 4. Melléklet. OAH/NBI-ABA-27/11 Tanulmány, 2011, Budapest