

DOSE ON LITE – DIREKT ÉS INVERZ BALESETI TERJEDÉSSZÁMÍTÁS

Nagy Attila Gábor^{1*}, Deme Sándor¹, Páles József¹,
Pázmándi Tamás¹ és C. Szabó István²

¹MTA Energiatudományi Kutatóközpont,
1121 Budapest, Konkoly-Thege Miklós út 29–33
²MVM Paksi Atomerőmű Zrt. 7031 Paks, Pf. 71.

*nagy.attila@energia.mta.hu

A kézirat beérkezett: 2019.06.17.

Közlésre elfogadva: 2019.09.01.

Dose on Lite – Direct and inverse calculation of dispersion of radioactive contaminants from accidental release.

The Centre for Energy Research (MTA EK) developed a system plan for updating the former online system for calculating dispersion of radioactive contaminants from accidental release. The system plan of the program consists of seven modules for tracking the pathways of radioactive material from the hermetic area to the environment. The current 'lite' (simplified) version is only a part of the complete program system. The database of this version consists of gamma-radiation dose rates originating from soil contamination measured at the environmental monitoring stations of the nuclear power plant and meteorological characteristics.

The first, so called Dose module serves for extrapolation of the gamma-radiation dose rate up to 30 km. General emergency occurs when the ambient dose equivalent rate exceeds 1 mSv/ outside the area of NPPH. In this case the display map on the corresponding area will be red.

The second, so called TREX module calculates, from data produced by the gamma-radiation detectors and meteorological data, the release in consecutive 10-minute intervals in Cs-137 equivalent. The first and the second modules run continuously, without operator intervention, but data output is provided only if the increase in the level is significant.

The third, so-called Training module can be run with source term and meteorological data given by the user with 10-minute time steps for a maximum of 24 hours, with time step acceleration defined by the user. This way, the 24 hours can be displayed within 12 minutes.

Keywords: accidental release, dispersion calculations, source term calculation

Az MTA EK kidolgozott egy rendszertervet a korábbi, hasonló célú online baleseti terjedésszámítás megújítására. A program rendszerterve hét modult tartalmaz a sugárzó anyag útjának követésére a hermetikus tértől a környezetig. A lite (egyszerűsített) változat csak egy része a teljes programrendszernek, ennek a változatnak a bemeneti adata az erőmű környezetellenőrző állomásain mért, a talajfelszín szennyezettségből származó gamma-sugárzás dózisteljesítmény és a meteorológiai jellemzők.

A program Dózis modulja szolgál a 30 km-ig terjedő gamma-sugárzás dózisteljesítmény extrapolálására. Az általános veszélyhelyzet akkor következik be, ha a telephelyen kívül a gamma-sugárzás környezeti dózisteljesítmény egyenértéke meghaladja az 1 mSv/h értéket. A megjelenítő térkép ilyen esetben az adott területen piros színezésű lesz. A program TREX modulja meghatározza a 10–10 perces időtartamok alatti kibocsátást Cs-137 egyenértékben és ezt az adatot átadja a TREX terjedésszámítási programnak. Az első és második modul

folyamatosan fut operátori beavatkozás nélkül, de adatot csak akkor ad ki, ha a szintemelkedés szignifikáns.

Az Oktató modul a felhasználó által megadott forrástaggal és meteorológiai adatsorral futtatható 10 perces időlépésekkel maximum 24 órás tartamra, a felhasználó által megadott időlépés gyorsítással, így a 24 óra akár 12 perc alatt is megjeleníthető

Kulcsszavak: baleseti kibocsátás, terjedésszámítás, forrástag meghatározás

BEVEZETÉS

Az általunk kidolgozott új, légköri terjedést számító Dose on Lite (egyszerűsített online dózisteljesítmény számító) program feladata a paksi atomerőműtől 30 km-es távolságig tájékoztató adatok szolgáltatása a kiülepedésből származó környezeti gamma-sugárzás dózisteljesítmény területi eloszlásáról, ezzel megkönnyítve a helyszíni felmérés területének a kijelölését.

A program – ugyancsak a környezeti gamma-sugárzási adatok alapján – meghatározza a forrástagot a paksi atomerőmű által használt TREX terjedésszámító program részére. Mind a mérések alapján számított gamma-dózisteljesítmény területi eloszlására, mind a forrástag nagyságára vonatkozóan ki kell emelni, hogy ezekre a mennyiségekre a program csak nagyságrendi tájékoztatást tud adni. A bizonytalanságok alapvető oka mind az adatokat szolgáltató mérőállomások egymáshoz képesti viszonylag nagy szögtávolsága, mind a terjedésszámításban használt paraméterek bizonytalansága.

A felsorolt két funkciót kiegészíti egy oktató modul, amely egyben esettanulmányok futtatására is alkalmas.

A paksi atomerőműben jelenleg használt Dose on program [1] az erőmű 30 km-es körzetére becsüli a radioaktív anyagok aktivitáskoncentrációját és a lakossági dózisokat. A KFKI AEKI által 2004-ben kifejlesztett verzió üzembe helyezése óta alapvetően módosultak a sugárbaeseti intézkedésre vonatkozó nemzetközi ajánlások [2], illetve az Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Intézkedési Terv (OBEIT v3.0) [3] által megfogalmazott elvárások, ezért egy elveiben új, a környezeti mérési adatokra támaszkodó program kifejlesztése vált szükségessé. A későbbiekben kifejleszthető a teljes Dose on program, amelyik a kibocsátás rövidtávú előrejelzésére alkalmas, figyelembe veszi a hermetikus téri dózisteljesítményt és túlnyomást, a reaktorcsarnoki dózisteljesítmény is.

A DOSE ON LITE PROGRAM FELÉPÍTÉSE

A DOSE ON LITE program három modulból áll:

1. A kiülepedésből származó dózisteljesítmény területi eloszlását számító Dózis (D) modul. Bemeneti adata a gamma-sugárzás dózisteljesítményt a környezet 20 pontjában mérő ún. Bitt szondák adatai. Kimenő információ a kiülepedésből származó dózisteljesítmény a 2-10 km között minden fél kilométeren és 15, 20, 25 és 30 km-en 10°-onként definiált 756 receptorpontra és az erőmű által az erőmű 30 km-es sugarú körzetében lévő 75 településre. Színkóddal jelöli azokat a receptorpontokhoz tartozó mezőket, amelyeknél a kiülepedésből származó gamma-dózisteljesítmény eléri valamelyik származtatott intézkedési szintet (SZISZ) [3].
 - SZISZ 1, megfelel ≥ 1 mSv/h dózisteljesítménynek – vörös színezés. Ennél a szintnél az elzárkóztatás, jódpofilaxis és a kitelepítés a mérlegelhető intézkedés.
 - SZISZ 2, megfelel $0,1 \text{ mSv/h} \leq \dots \leq 1 \text{ mSv}$ dózisteljesítménynek – sárga színezés. Ennél a szintnél a helyben termelt élelmiszerek fogyasztása korlátozható.

2. A TREX Cs-137 egyenértékben megadott forrástag számító TREX (T) modul. Bemenő adatok: a gamma-sugárzás dózisteljesítményét mérő ún. Bitt szondák adatai és a meteorológiai adatok (szélsebesség, Pasquill-kategória, csapadék). Kimenő adat a forrástag Cs-137 egyenértékben.
3. Oktató program (O modul). Kézi kiválasztással szélirány-eloszlás és forrástag időfüggés fájlok hívhatók be, kiegészítve néhány további paraméter megadási lehetőségével. Ezekkel a paraméterekkel lefut a kiválasztott súlyos baleset. Megjelennek a Bitt szondák és a receptorpontok számított adatai, a származtatott intézkedési szintnek (SZISZ) megfelelő színezéssel. A megjelenés formája megegyezik a D moduléval.

Az online változat feladata a folyamatos működés. Ez a programváltozat automatikusan, online módon kapja a futtatáshoz szükséges bemeneti adatokat, és végzi a számításokat, de a számított eredményeket csak a statisztikusan szignifikáns dózisteljesítmény szint esetén jeleníti meg.

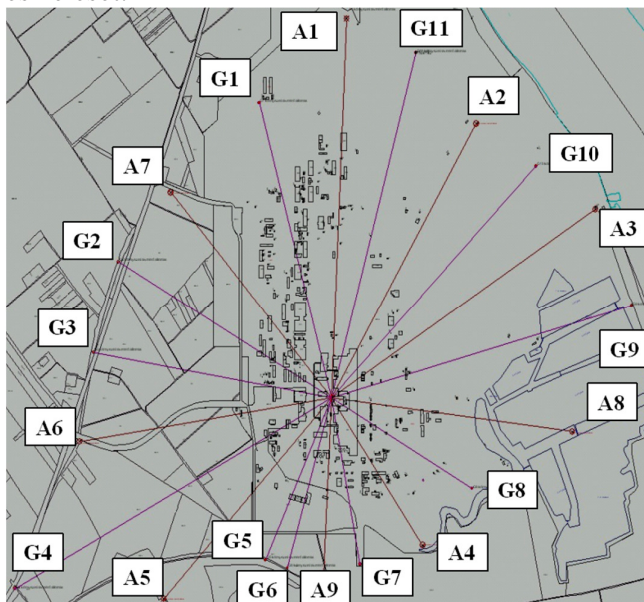
DÓZISTELJESÍTMÉNYT SZÁMÍTÓ MODUL (D MODUL)

Bemenő adat a Bitt szondák által 10 percenként 30 s-os időfelbontással mért gamma-dózisteljesítmény átlagos és minimális értéke. Kimenő adat a receptorpontokon a kiüledésből származó gamma-dózisteljesítmény táblázatos és az időfüggés grafikus formában, a receptorpontok térképszerű megjelenítése a javasolt óvintézkedésnek megfelelő színekkel:

≥ 1 mSv/h (jóprofilaxis, elzárkóztatás, kimenekítés, élelmiszerkorlátozás) – vörös színezés,
 $0,1$ mSv/h $\leq \dots \leq 1$ mSv/h (élelmiszerkorlátozás) – sárga színezés.

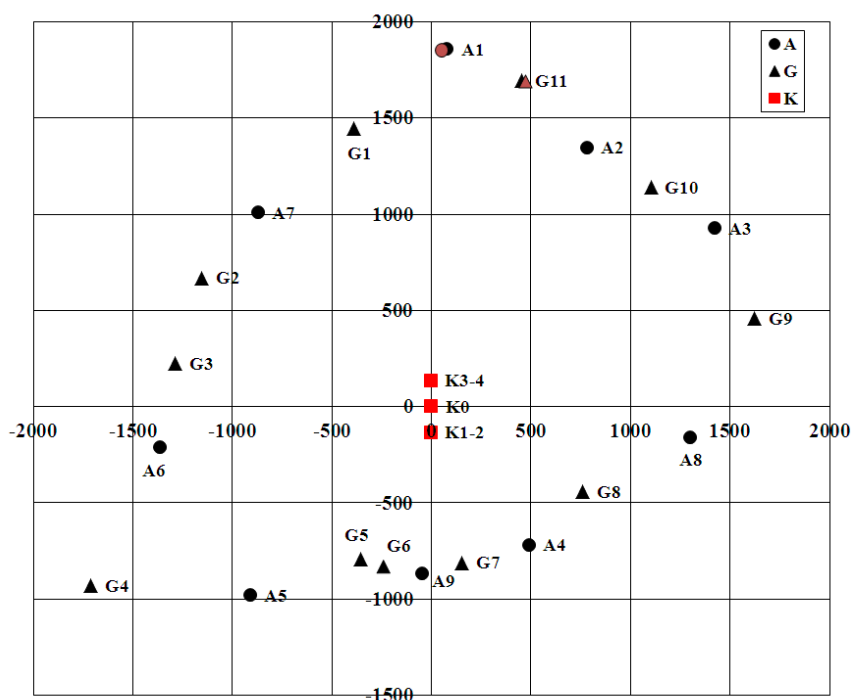
Kiindulási adatok

A mérőpontok, azaz az A és G típusú állomások elhelyezkedését a térképen az 1. ábra mutatja. Az aeroszol és jódaktivitás mérésére is szolgáló A1–A7 állomás épült meg először a közeli települések irányába az A8 és A9 állomás később kerültek telepítésre, az A8 állomás az A3 és A4 közötti nagy szögtávolság, az A9 pedig a KKAT mellé. Az A típusú állomások közé a csak a gamma-sugárzás dózisteljesítményét mérő G típusú állomások azért létesültek, hogy a szög szerinti lefedettség tegye lehetővé a bármely irányba történő kibocsátás észlelését.



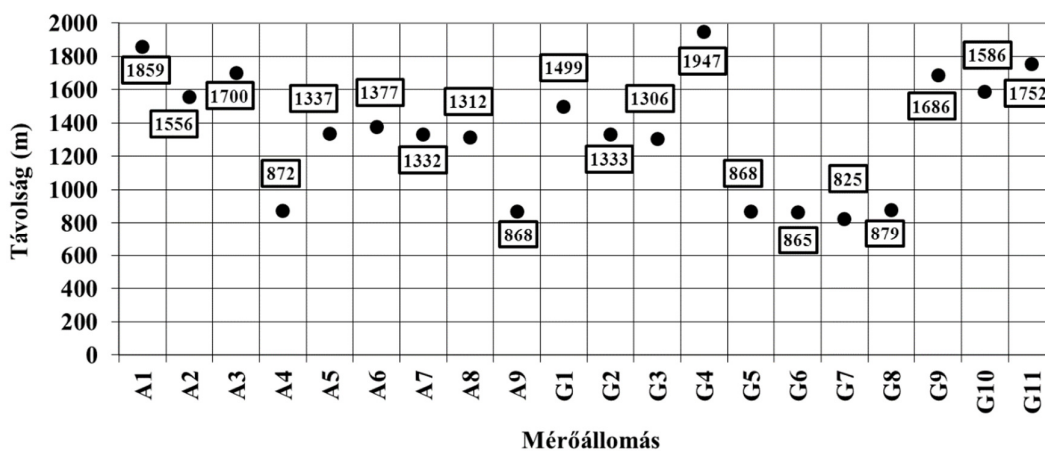
1. ábra. Az A és G típusú állomások (mérőpontok) elhelyezkedése a térképen

Az elhelyezkedést az erőművi koordináta rendszerben a 2. ábra mutatja. Az A1 és G11 állomásnál a Paks 2 építése miatt a várható, a jelenlegitől csak alig eltérő új pozíció piros színnel van jelölve. (A K betű szellőkéményt jelöl, a szellőzőkémény közötti felezőpontot K0 jelzi.)



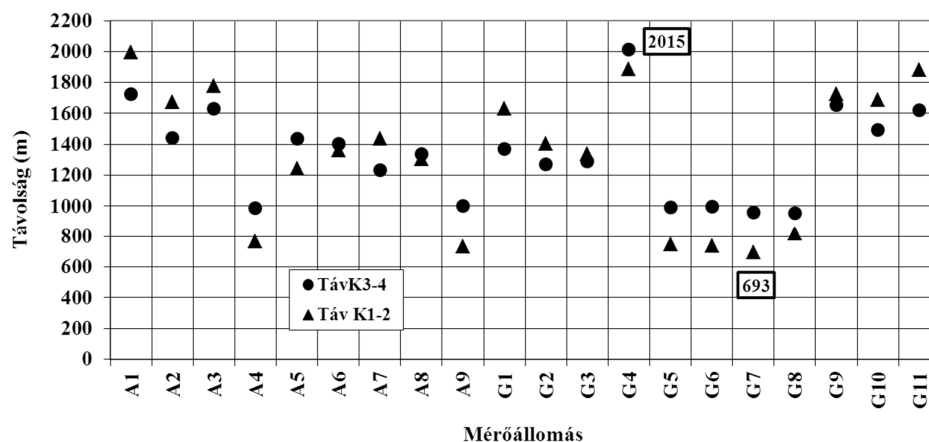
2. ábra. Az A és G típusú állomások elhelyezkedése az erőművi koordináta rendszer szerint

A 3. ábra alapján látható, hogy a K0 ponthoz legközelebb eső G7 pont 825 m, a legtávolabbi G4 pont pedig 1947 m-re van.



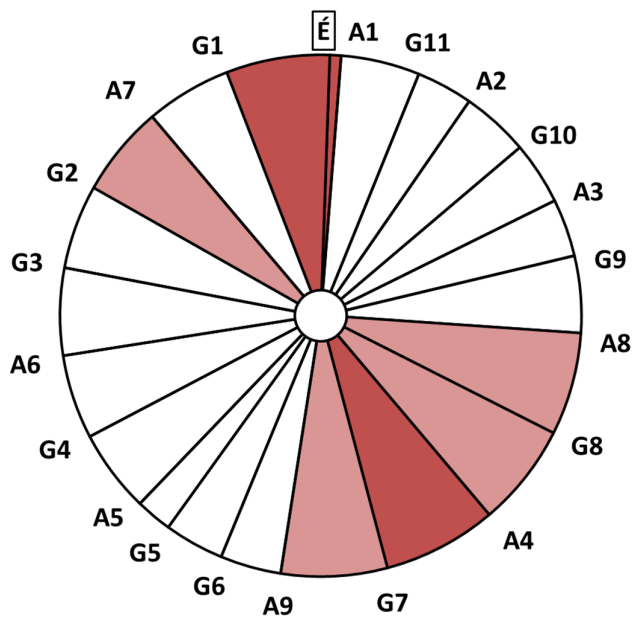
3. ábra. Az A és G típusú állomások távolsága a K0 ponttól

A 4. ábra ugyanezeket a távolságokat a K1-2 és K3-4 viszonyítva ábrázolja. Ebben az esetben legkisebb távolság 693, a legnagyobb 2015 m.

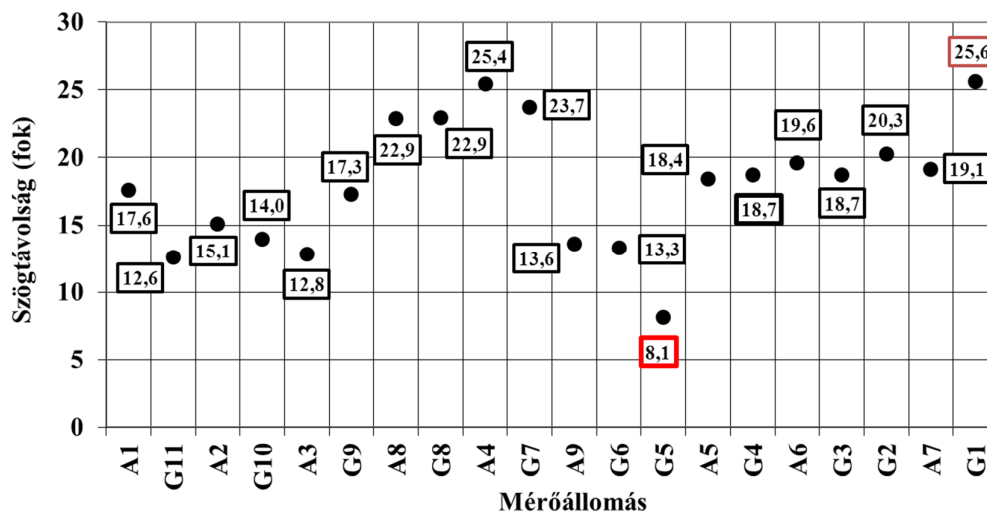


4. ábra. Az A és G típusú állomások távolsága a K1-2 és a K3-4 ponttól

Az állomások irányszögeit a K0 ponthoz képest az 5. ábra szemlélteti. Ugyanezt az adatot numerikus formában a 6. ábra mutatja. Ennek alapján megállapítható, hogy a legnagyobb szög a legkisebbnek több mint háromszorosa. Ez a tény és az állomások egymástól eltérő távolsága az erőműtől ahhoz vezet, hogy a különböző irányok lefedettsége nagyon különböző. A legkevésbé lefedett irányokat az 5. ábra színezéssel jelöli.

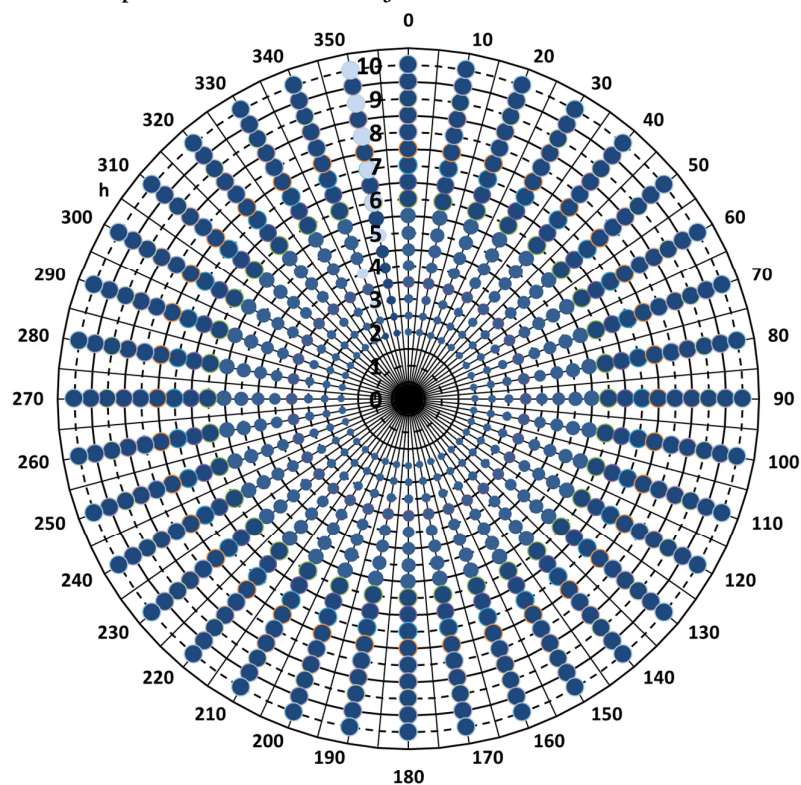


5. ábra. Az A és G típusú állomások irányai a K0 ponthoz képest. A sötétpiros színnel jelölt szektorok szöge $>25^\circ$, a világos piros esetében $20^\circ\text{--}25^\circ$

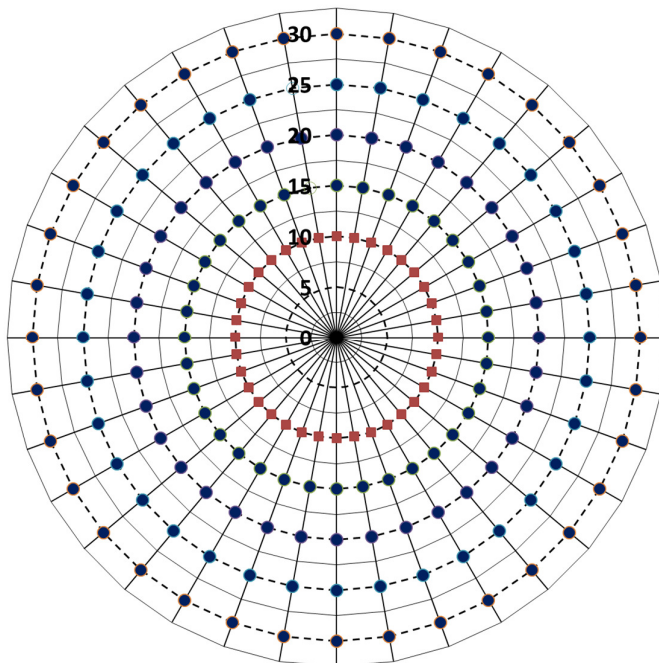


6. ábra. Az A és G típusú állomások közötti szög az óramutató szerinti következő mérőpontig

A számításoknál a következő számítási (receptor) pontok szerepelnek: 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5; 5,5; 6; 6,5; 7; 7,5; 8; 8,5; 9; 9,5; 10; 15; 20; 25 és 30 km sugarú körön egyenletesen felvett 36 receptorpont koordinátái. Ebben az esetben a 2–10 km közötti távolságnál receptorpontok száma $17 \times 36 = 612$. A 612 receptorpont (számítási pont) elhelyezkedését mutatja a 7. ábra. A távolabbi 144 számítási pontot a 8. ábra mutatja.

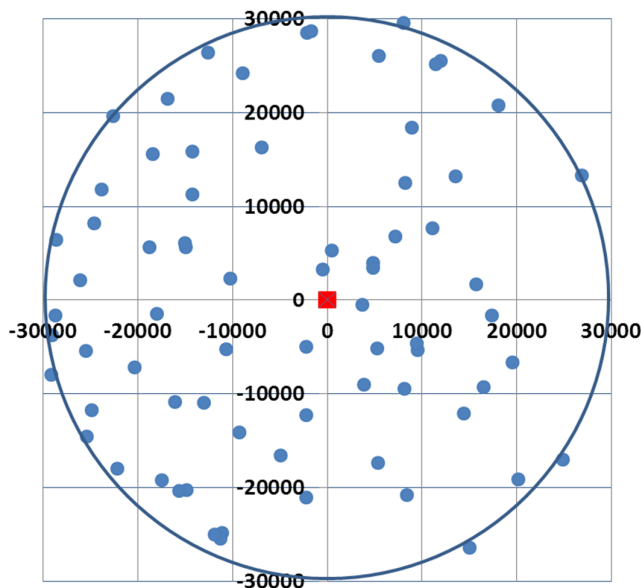


7. ábra. A 612 számítási pont a 2–10 km-es távolságtartományban 0,5 km-enként, 10°-os lépcsőkben. A 350°-nál egyes pontok csak a számérték leolvashatósága miatt világosak



8. ábra. A 144 számítási pont a 15–30 km-es távolságtartományban 5 km-enként, 10°-os lépcsőkben. Az ábrán eltérő színnel feltüntettük a 10 km-es gyűrűt is.

További 75 számítási pont az erőmű 30 km sugarú körében fekvő 75 település.



9. ábra. Az erőmű 30 km-es sugarú körzetében lévő települések. A piros négyzet az erőmű kéményeinek középpontja.

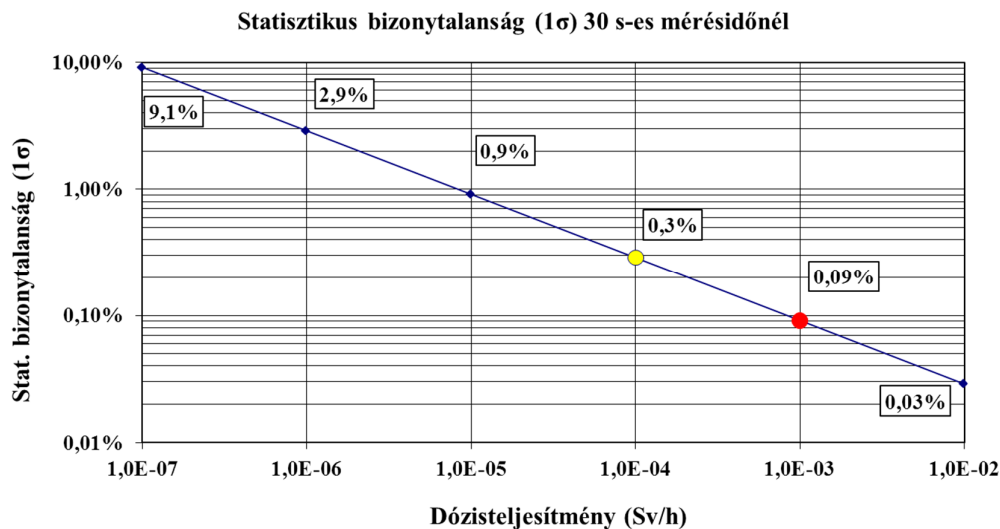
A Lite program jelenlegi verziójában folyamatosan számítjuk a receptorpontokban (a 30 km-es sugárban) a kiüledésemből származó gamma-dózisteljesítményt. A TREX forrástagot akkor kezdjük számolni, ha a dózisteljesítmény bármely receptorpontban eléri a 0,1 mSv/h-t. Ezt kiegészíti, hogy az udvartéri Bitt szondák mérései alapján is elindítjuk a forrástag számítását,

ha a mért érték meghaladja a fenti küszöböt. A településekre számított táblázatban az értékeket szintén folyamatosan számítjuk és meg is jelenítjük. A táblázat sorait a térképhez hasonlóan sárgára vagy pirosra színezzük, ha az adott településen a dózisteljesítmény eléri a küszöbértéket. Ha bármelyik receptorponon a kiülepedésből származó gamma-sugárzás dózisteljesítmény eléri vagy meghaladja 0,1 mSv/h értéket, akkor az érintett szektorszegmensek a dózisteljesítménynek megfelelően színesek lesznek, egeret fölé húzva megjelenik a számérték is.

A 0,1 mSv/h dózisteljesítményt azért választottuk indulási küszöbnek, mert a 30 s-os dózisteljesítmény érték egyszeres statisztikus szórása ebben az esetben már nem éri el a 0,5%-ot (10. ábra), így a kiülepedésnek megfelelő minimum és a teljes sugárzásnak megfelelő átlagos dózisteljesítmény jól elkülöníthető és nem a minimum érték statisztikus ingadozás következménye.

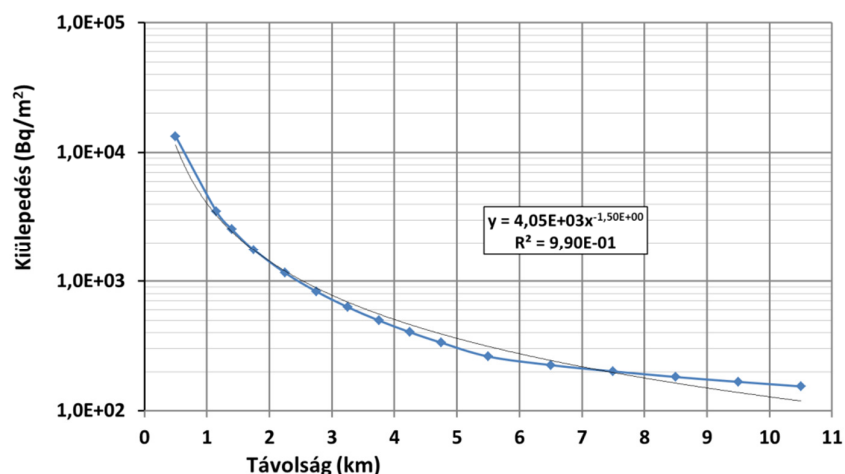
Megjegyezzük, hogy környezetellenőrző rendszer figyelmeztető szintje 0,25, vészszintje 0,5 μ Sv/h.

Szintemelkedés esetén megkezdődik a kihullásból származó gamma-dózisteljesítmény meghatározása. Egy mérési ponton az adott 10 percre vonatkozó 20 mérési adat minimumát tekintjük a kihullásból eredő dózisteljesítménynek [4], míg a teljes átlagos dózisteljesítményből kivonva a minimális dózisteljesítményt megkaphatjuk a felhőből származó 10 perces átlagos dózisteljesítményt. (Ezt az értéket a rendszer nem jeleníti meg, de az utólagos feldolgozásnál kiszámítható.)



10. ábra. A Bitt szonda 30 s alatti számlálási statisztikus bizonytalansága a dózisteljesítmény függvényében. Az 1 mSv/h érték felel meg az általános veszélyhelyzetnek, a 0,1 mSv/h pedig az élelmiszer fogyasztás korlátozásának.

Ha a mérési ponthoz képest távolodunk az erőműtől, akkor talajközeli kibocsátásnál – változatlan egyéb körülmények esetén – a felületi szennyezettség monoton csökken. A 11. ábra megadja a felületi szennyezettség távolságfüggését 10^{12} Bq Cs-137 kibocsátása esetén, ha a szélesebbség 10 m magasan 5 m/s, a felszíni érdesség durva (magas a növényzet), a kibocsátás magassága 10 m. A számításokat a PC COSYMA programmal végeztük [5]. Az 500 m-es távolságon túl a távolságfüggés menete azonos az összes Pasquill-kategóriára.



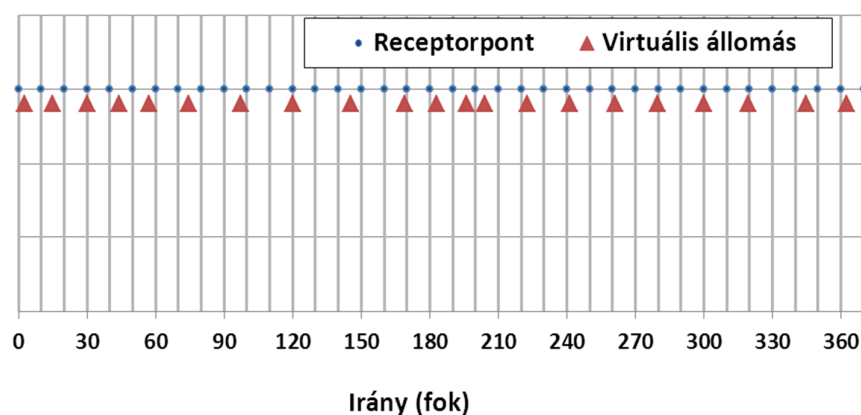
11. ábra. A felületi szennyezettség távolságfüggése $1 \cdot 10^{12}$ Bq Cs-137 kibocsátása esetén, száraz időben

Meg kell jegyezni, hogy a távolságfüggés nagyon sok paraméter függvénye, ezek a forrás geometriai jellemzői, a kibocsátás magassága, a kibocsátott anyagok fizikai–kémiai jellemzői, a szélesebbesség, a diszperziós jellemzők, a talajborítás (növényzet), az esetleges csapadék. Jelentősen befolyásolhatja a terjedést, ha a csóva áthalad a Duna felett. A bemutatott számítás átlagos esetnek fogadható el, a továbbiakban ezt használjuk.

A 11. ábra képletét használva kiszámítottuk az adott állomáson a Bitt szondával mért adat és a 2–10 km-es távolságra extrapolált értéket, azaz a Bitt szonda adata és virtuális (ugyanabban az irányban, a receptorpontnak megfelelő távolságban) állomás közötti normálási tényezőt.

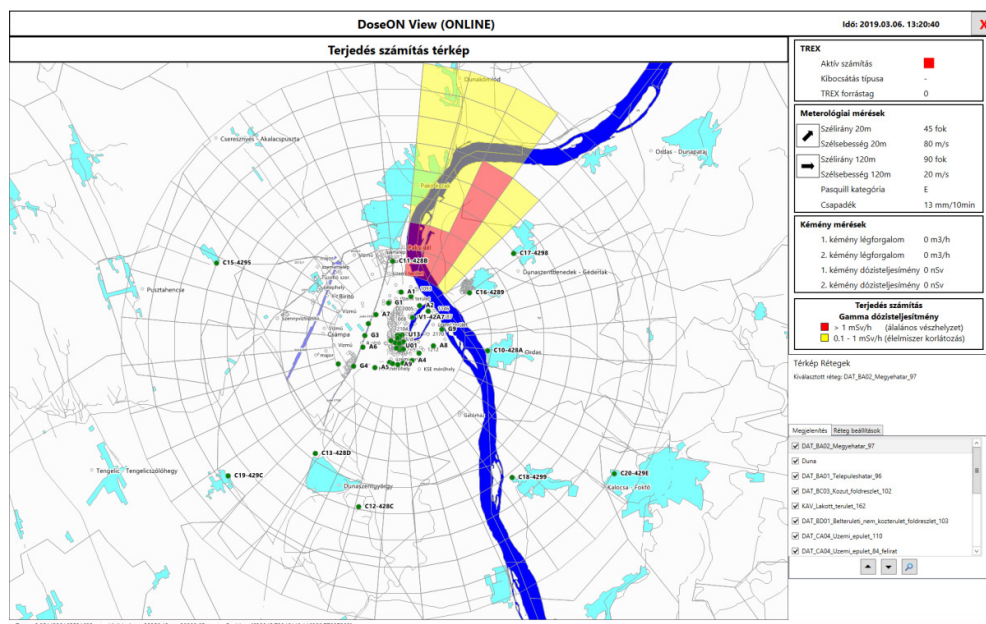
A következő lépésben a virtuális állomásokra kiszámított dózisteljesítmény értékeket a receptorpontokra kell átszámítani. Ennél – az egyszerűség érdekében – lineáris interpolációt használunk. Ez a közelítés huzamos, több 10 perces cikluson át tartó kibocsátás esetén a szélirány időbeli ingadozása révén – egyre jobb közelítést fog adni.

A virtuális állomáspontok és a receptorpontok irány szerinti elhelyezkedését mutatja a 12. ábra. Látható, hogy a virtuális állomások között 1–3 receptorpont helyezkedik el.

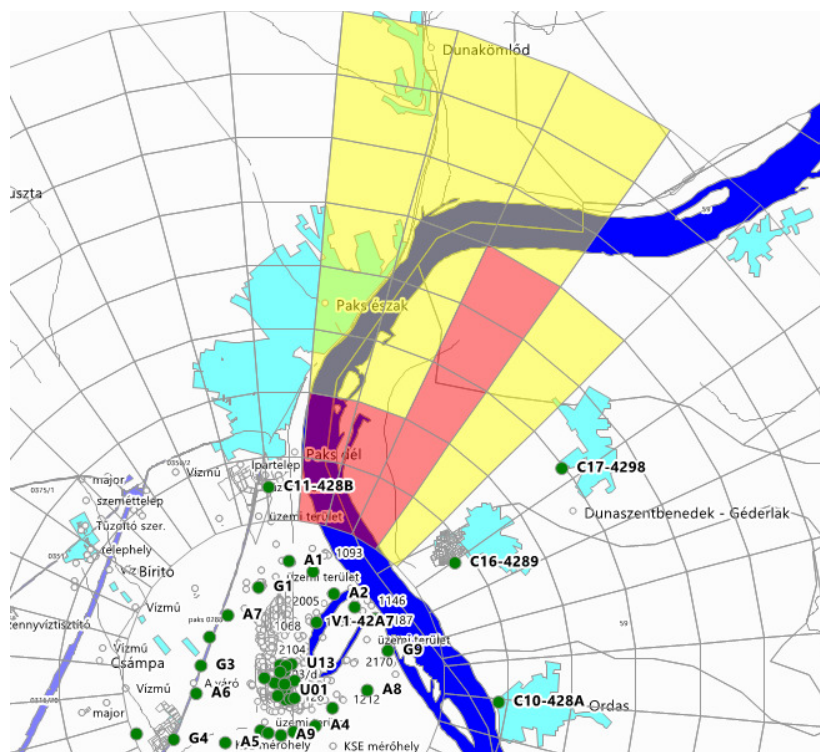


12. ábra. A 10°-onként megadott receptorpontok és a 20 virtuális állomás szöge. Két virtuális állomás közé egynél több receptorpont is eshet

A számítások révén kapott dózisteljesítményeket a receptorpontok esetében grafikusán (13. ábra), a települések esetében táblázatos formában jelenítjük meg, szinttűlépés esetén színezéssel. A 14. ábra a 13. ábra színezéssel érintett részét mutatja.



13. ábra. Az óvintézkedési javaslattal érintett pontok, színkóddal



14. ábra. A szintemelkedéssel érintett szektor-szegmensek

A TREX FORRÁSTAG MODUL (T MODUL)

A modul feladata, hogy a mért gamma-sugárzás dózisteljesítménye alapján az erőmű által használt TREX légköri terjedésszámító program részére forrástagot számítson ki. A gamma-sugárzás dózisteljesítményét a szellőzőkéményekben és a környezetben elhelyezett Bitt szondák mérik. Amennyiben a kéményekben lévő Bitt szondák $10 \mu\text{Sv/h-t}$ meghaladó jelzést

adnak, akkor baleseti kéménykibocsátást tételezünk fel. Amennyiben nincs kéménykibocsátás, de a környezeti szondák bármelyikének jelzése meghaladja a $10 \mu\text{Sv/h}$ -t, akkor épületen keresztüli kibocsátással (épületkibocsátással) számolunk. Kéménykibocsátás esetén az épületkibocsátást kizárjuk, mert a szellőzőrendszerek az épületen belül a környezethez képest depressziót hoznak létre, ezzel megakadályozva az épületkibocsátást. A két kiépítés kéményeit külön-külön kezeljük és adjuk meg I és II. kéménykibocsátásként, mert a két kéményben egymástól különböző légszűrés lehet

Kéménykibocsátás számításnál a Bitt szonda által mért dózisteljesítmény adat mellett szükség van a kémény légforgalom adataira is.

A kéménykibocsátás meghatározása a kémény Bitt szonda jelzése és a légforgalom alapján

A kéményben (a H1 szellőzőhídban) lévő Bitt szonda a H1 szellőzőhíd légtérfogának gamma-sugárzását méri. Ha ismerjük azt, hogy milyen összefüggés van a légtérfog egy adott nuklidra vonatkozó aktivitáskoncentrációja és a detektor jelzése között, akkor a detektor jelzése alapján megadható a légtérfog aktivitáskoncentrációja a számításnál használt nuklid gamma-sugárzásának egyenértékében. A számításoknál konzervatívan feltételezzük, hogy sem a szellőzőhíd fala, sem a detektor felszíne nem szennyeződik el.

A számításokat először egy olyan hipotetikus nuklidra végeztük el, amely bomlásakor egy 1 MeV -es gamma-fotont bocsát ki. A többi nuklid jelzése az adott nuklid gamma-dózisállandójával lesz arányos a hipotetikus nuklidhoz képest.

A H1 hídban a Bitt szonda és a sugárzó térfogat geometriai méreteit a 15. ábra mutatja. A detektor jelzését térfogati integrálással lehet meghatározni. A kapott eredmény a következő.

Ha a térben 1 Bq/m^3 homogén aktivitáskoncentrációt és bomlásonként egy 1 MeV -es gamma-foton kibocsátást tételezünk fel, akkor a térfogati numerikus integrál megoldásával $6,44 \cdot 10^{-12} \text{ Gy/h}$ dózisteljesítményt kapunk. Ugyanez az érték Microshield programmal [6] számolva $5,88 \cdot 10^{-12} \text{ Gy/h}$. A továbbiakban ez utóbbi, több tényezőt figyelembe vevő értéket használva megállapítható, hogy ha a szellőzőkéményben lévő gamma-szonda felső méréshatára 10 Gy/h , akkor ez $1,7 \cdot 10^{12} \text{ Bq/m}^3$ koncentráció mérését teszi lehetővé a feltételezett hipotetikus nuklidnál.



15. ábra. A térfogati integrálási határok értelmezése a szellőzőkémény Bitt szonda esetén. A méretek méterben vannak megadva, a Bitt szonda a szaggatott vonallal jelölt sík geometriai középpontjában van.

Az érzékenységet meghatároztuk Cs-137 nuklidra is. Ez $3,65 \cdot 10^{-12} \text{ Gy/h}$ 1 Bq/m^3 aktivitáskoncentráció esetén, azaz az 1 MeV -es érték 0,62-ed része,

A DOSE ON LITE program kiszámolja a 10 percre vonatkozó, a szellőzőkéményben lévő átlagos aktivitáskoncentrációt Bq/m^3 Cs-137 gamma-sugárzás egyenértékben. Ezen adatok és a 10 percre vonatkozó légforgalom ismeretében az 1. táblázat alapján meghatározható a kibocsátott nuklidok Cs-137-re vonatkozó aktivitása.

A számításnál konzervatívan nem vesszük figyelembe a falakon és detektoron kiülepedő szennyezettséget.

1. táblázat. Dóziskonverziós tényezők (Dkt.) a Cs-137 dóziskonverziós tényezőjére normalva

Nuklid	Dkt.	Nuklid	Dkt.	Nuklid	Dkt.	Nuklid	Dkt.
Kr-85	0	I-134	4,41	Sr-90	0	Cs-137	1
Kr-85m	0,24	I-135	2,47	Sr-91	1,75	Ba-140	0,31
Kr-87	1,17	Te-127	0,01	Mo-99	0,26	Zr-95	1,3
Kr-88	2,74	Te-127m	0,29	Tc-99m	0,24	La-140	3,62
Xe-133	0,04	Te-129	0	Ru-103	0,87	Ce-141	0,1
Xe-135	0,42	Te-129m	0,25	Ru-105	1,37	Ce-143	0,43
Xe-135m	0,76	Te-131	0,73	Ru-106	0,35	Ce-144	0,02
I-131	0,67	Te-131m	2,34	Rh-105	0,13	Sb-127	1,1
I-132	3,89	Te-132	0,36	Cs-134	2,73	Sb-129	2,3
I-133	1,06	Sr-89	0	Cs-136	3,63		

Az épületen át történő kibocsátás meghatározása a környezeti Bitt szondák jelzése és a meteorológiai adatok alapján

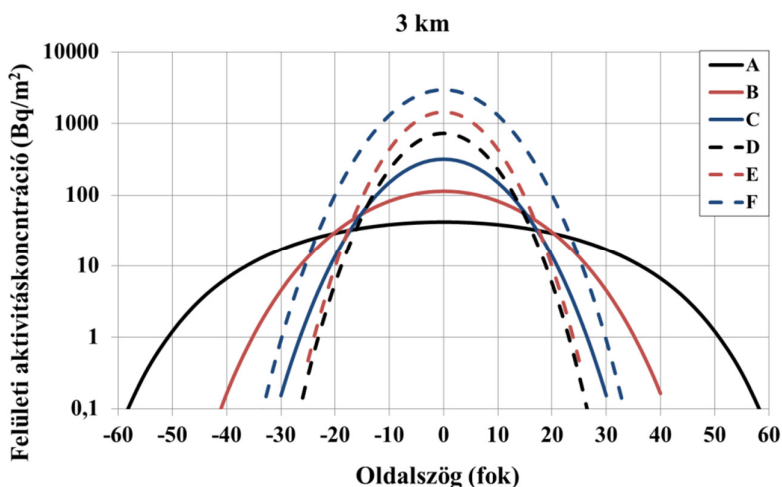
A forrástag meghatározása az inverz terjedésszámításon alapul. Ennek lényege, hogy egy adott 10 perc alatti kiülepedésből eredő dózisteljesítmény növekmény alapján meghatározzuk a kiülepedés felületi aktivitáskoncentrációjának növekményét Cs-137 egyenértékben, majd a kiülepedési vagy a kimosási tényezőt és a csapadékintenzitást felhasználva meghatározzuk a talajközeli légköri 10 perces átlagos aktivitáskoncentrációt. Ezután a további meteorológiai adatok (Pasquill-kategória és szélsébség) alapján számítjuk a hígulást és ennek révén végül megkapjuk a forrástagot. Miután kiindulási adatként csak a kiülepedésből eredő gamma-sugárzás dózisteljesítmény adat áll rendelkezésre, ezért a kibocsátott nuklidok külön-külön nem határozhatók meg, ezért számításainkat Cs-137-re végeztük el, amely az 1. táblázat alapján átszámítható más aeroszol formájú radionuklidra. A jódiotópok esetében az aeroszol formát tételezzük fel.

Adott forrástagnál a receptorponton várható kiülepedés számítását a COSYMA programmal [5] végeztük el. A Bitt szondák mérési adatai alapján a mért, kiülepedésből származó dózisteljesítményeket a 3 km-es távolságban lévő, egyenletes szögkiosztású receptorpontokra számítottuk át, kiküszöbölve a Bitt szondák eltérő távolságát és egyenetlen szögkiosztását az erőmű középpontjához képest.

A számításokhoz felhasznált felületi szennyezettség – dózisteljesítmény összefüggés Cs-137 esetén: 1 Bq/m^2 szennyezettség $2 \cdot 10^{-12} \text{ Gy/h}$ dózisteljesítményt hoz létre [6]. A Bitt szondák Sv/h egységben mérik a dózisteljesítményt, ez a szokásos környezeti sugárzási térben számértékben kifejezve mintegy 20%-kal több mint a Gy/h érték, de a különbséget elhanyagoljuk, ami konzervatív megközelítés.

A következőkben a forráserősség és a talajközeli aktivitáskoncentráció összefüggést vizsgáljuk. A számításokat a 11. ábra számításának megfelelő paraméterekkel végeztük.

Első lépésként meghatároztuk a csóva intenzitásának szektorok szerinti eloszlását a hat Pasquill-kategóriára (16. ábra). Látható, hogy míg a maximális felületi szennyezettség szélső értékei között közel két nagyságrend arány van, addig a csóvaszélesség csak mintegy kétszeres arányt mutat.



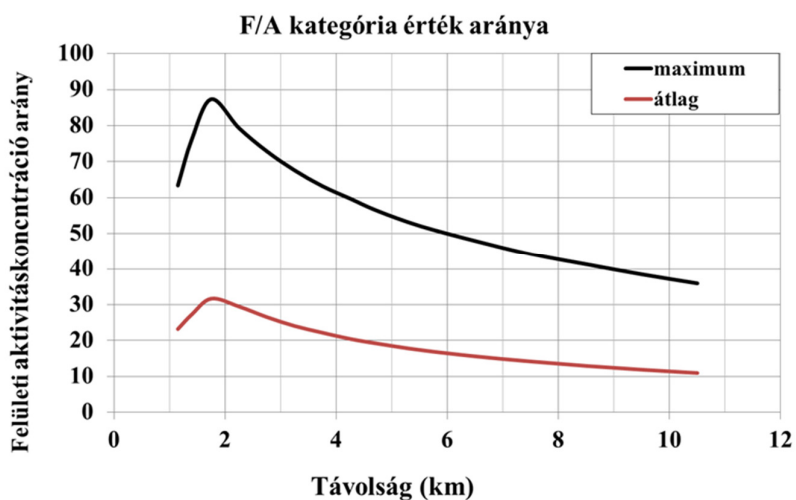
16. ábra. A csóva intenzitásának szög szerinti eloszlása a hat Pasquill kategóriára **3 km-es** távolságnál

Ha a csóva maximális értéke, azaz a csóvatengelyi érték helyett a 360 fokos szögre átlagolt értéket vizsgáljuk, akkor az A és F kategória intenzitás arányára kisebb értéket kapunk, mert ebben az esetben a csóvaszélesség kis mértékben kompenzálja a maximum értékek közötti arányt. E két érték arányának távolságfüggését az F/A kategóriára adja meg a 17. ábra. A görbék kezdeti szakaszának eltérő menetét az épülethatás okozza. A COSYMA program által számolt épülethatás a 2 km-nél nagyobb távolságoknál már jelentéktelen. (Az épülethatás a valóságban nagyon összetett az erőmű épületeinek nagy száma és jelentős méretei miatt.)

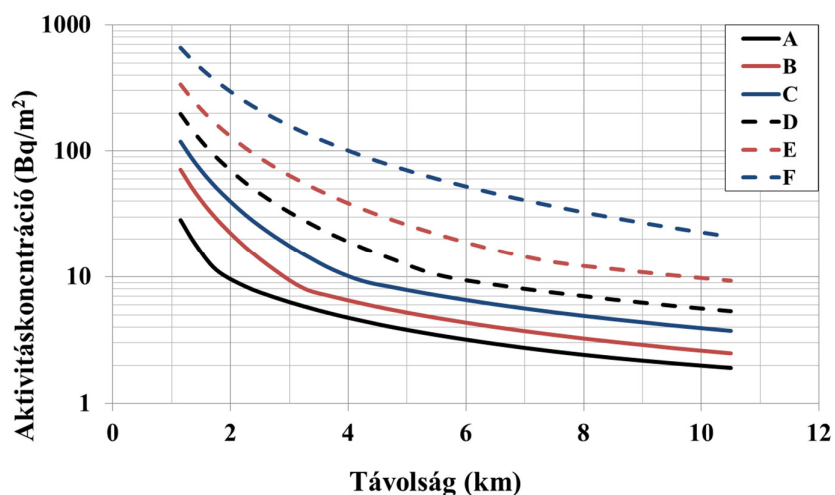
A továbbiakban az átlagos értékeket használjuk, mert ennek meghatározása kisebb hibával jár, mint a maximum értéke, miután az átlag értéket több pont együttes értéke adja meg.

Az átlagos kiülepedés távolságfüggését a hat Pasquill kategóriára a 18. ábra mutatja.

A továbbiakban használt 3 km-es referencia távolságot azért választottuk, mert a Bitt szondák távolsága az erőmű épületétől (a kémények középpontjától) nagyon különböző, míg a 3 km-re extrapolált érték ezt a távolságot azonossá teszi minden Bitt szondára vonatkozóan. A 3 km-re vonatkozó átlagos kiülepedést a hat Pasquill kategóriára a 2. táblázat adja meg.



17. ábra. Az F/A Pasquill kategóriánál a maximum és átlagértékek aránya a távolság függvényében. A 2 km alatti anomáliát az épülethatás okozza.

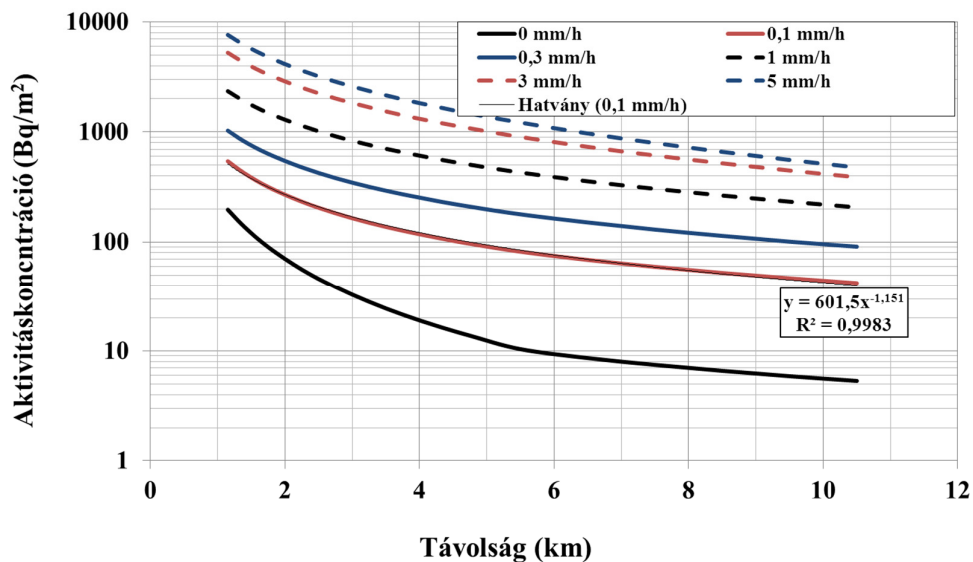


18. ábra. Az átlagos kiülepedés távolságfüggése a hat Pasquill-kategóriára

2. táblázat. Az átlagos kiülepedés aktivitáskoncentrációja Bq/m²-ben 3 km-en $1 \cdot 10^{12}$ Bq forráserősségnél, 5 m/s-os szélességnél és a hat Pasquill-kategóriára vonatkozóan és a szélső értékek aránya

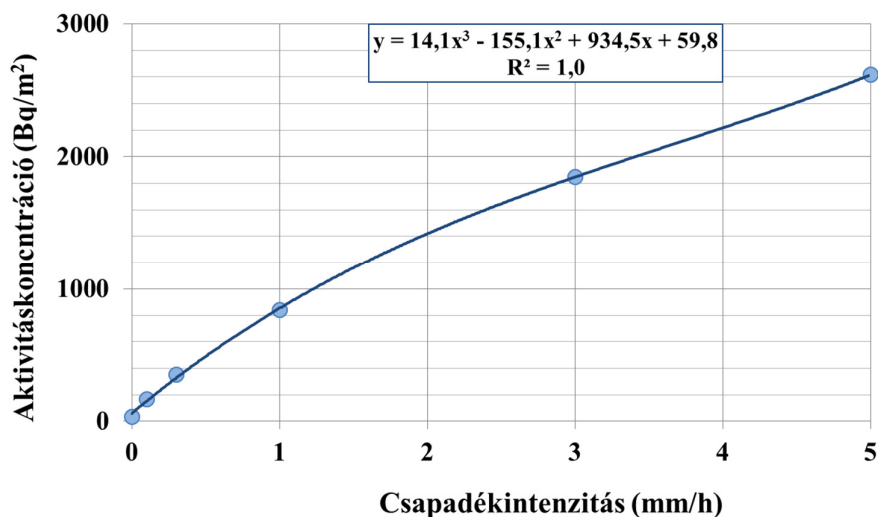
A	B	C	D	E	F	F/A érték arány
6,3	9,7	18	33	65	161	25

Csapadék. Az eddigiekben csapadégmentes időjárást tételeztünk fel. Csapadék esetén a száraz kihullás mellett a kimosódás is fellép. Esetünkben a talajfelszíni Cs-137 mennyiségét határoztuk meg különböző intenzitású csapadék esetén. Az összes adat D Pasquill-kategóriára vonatkozik, miután általában csak ennek a kategóriának megfelelő időjárási körülmények között tud csapadék kialakulni.



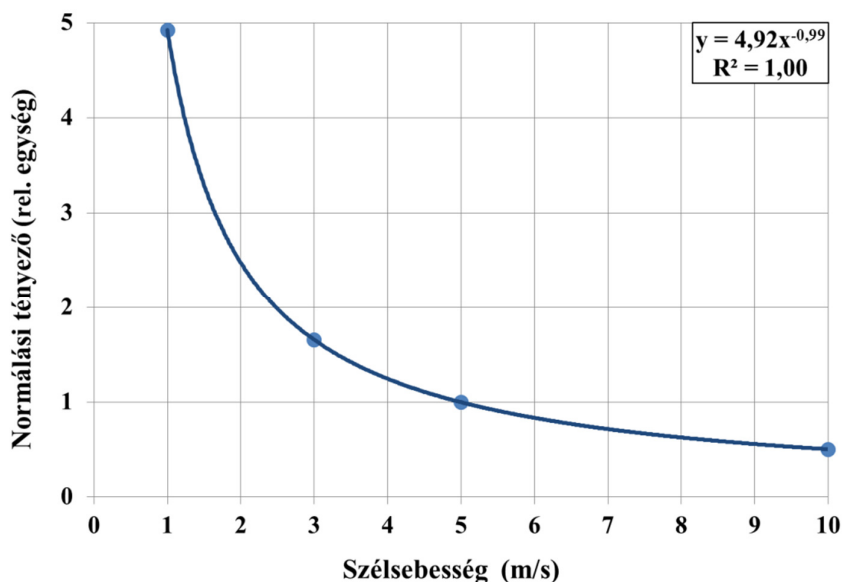
19. ábra. Talajfelszíni aktivitáskoncentráció száraz időben és különböző intenzitású esőnél D-Pasquill-kategória, 5 m/s szélesség esetében

A 3 km-es távolságra a 20. ábra adja meg a talajfelszíni aktivitás csapadékkéntesség függését. Ha az adott 10 percen nem volt csapadék, akkor a kiülepedésre vonatkozóan a 2. táblázat adatát kell használni D kategória esetén is.



20. ábra. Az átlagos talajfelszíni aktivitáskonzentráció az esőintenzitás függése 10^{12} Bq kibocsátása esetén 3 km-es távolságnál

Szélesség. Az aktivitáskonzentráció – változatlan egyéb paraméterek esetén – a szélességgel fordítottan arányos. Az eddigi számítások 5 m/s-os szélességre vonatkoznak, ettől eltérő szélesség esetén az aktivitáskonzentráció korrekcióját a 21. ábra adja meg. Adott aktivitáskonzentrációnál a forráserősséget a korrekciós faktorral való osztással kaphatjuk meg.



21. ábra. Az aktivitáskonzentráció korrekciós tényezője a szélesség függvényében

Az esetleg hiányzó Bitt szonda adatának meghatározása

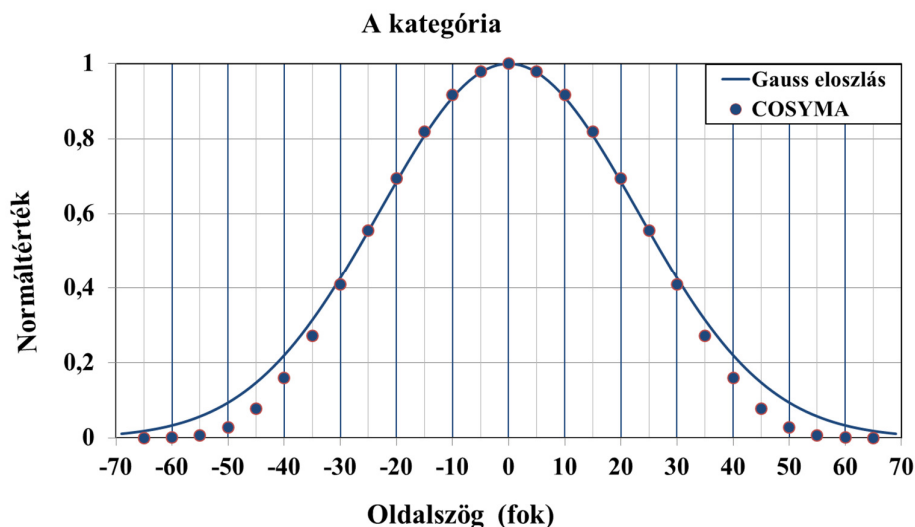
Karbantartás vagy meghibásodás következtében hiányozhat Bitt szonda mérési adat. Karbantartást csak akkor végezhetnek egy Bitt szondán, ha a két közvetlenül mellette levő szonda üzemképes. A továbbiakban tehát abból indulunk ki, hogy a hiányzó adatot a szonda két oldalán található közvetlenül szomszédos adatából tudjuk meghatározni. A meghatározás módja lineáris interpoláció, figyelembe véve a két mérési adatot biztosító és a meghatározandó adatú Bitt szonda erőműtől mért távolságát.

OKTATÓI MODUL (O MODUL)

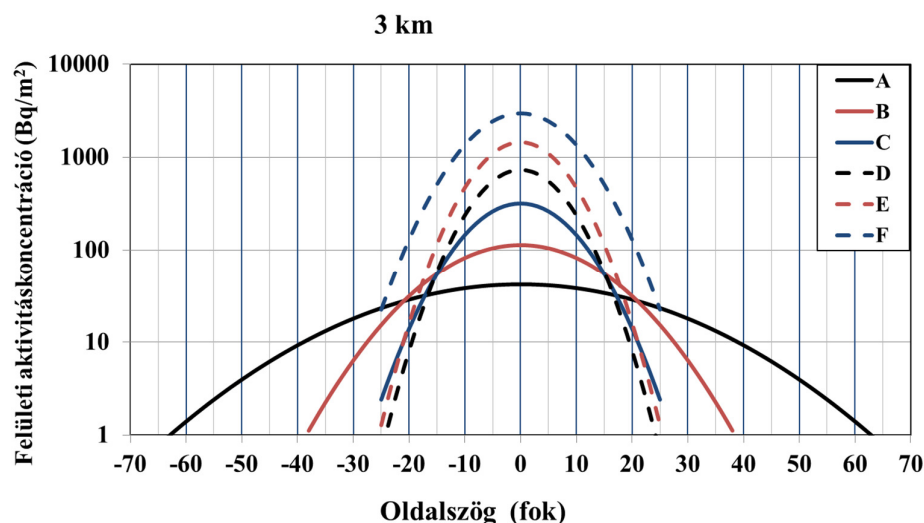
Az oktatói modul révén a grafikus felhasználói felületen keresztül megadandó forrástaggal és meteorológiai adatsorral szimulálhatóak a súlyos baleseti szituációk, a program kimenetének megjelenítése megegyezik a valós baleseti szituációéval. Az oktató program a teljes feszültség kimaradással (TFK) járó súlyos balesetekre jellemző épületkibocsátásokra számítja ki a receptorpontokra és a környezeti Bitt szondák helyére a talaj felületi aktivitáskoncentrációját és ez alapján a védőintézkedések javasolt kategóriáit. A kibocsátást minden esetben épületkibocsátásként kezeljük, mert ha van kéményen keresztüli kibocsátás, akkor biztosítható a kibocsátott levegő hatékony aeroszol és elemi jódszűrése, így a környezetszennyezés nem érheti el a baleseti intézkedési szintet.

A számításokhoz szükség van arra, hogy 1°-os felbontásban rendelkezésre álljanak a hat Pasquill-kategóriára vonatkozó aktivitás kiülepedési adatok a számításoknál használt alapparaméterekre, azaz a forráserősség $1 \cdot 10^{12}$ Bq Cs-137, a kibocsátás magassága 10 m, az épület szélessége 100 m, magassága 40 m, a 10 m-en mért szélesebbesség 5 m/s, nincs csapadék.

Az előzőekben a COSYMA programmal [5] meghatároztuk a kiülepedést 5°-os felbontásban 3 km-es távolságra. Ezekre az adatokra illesztettünk Gauss eloszlásokat, amelynek révén megkaptuk az 1°-os felbontású számértékeket. Az illesztéseket a görbék maximumának 0,6-os értékére végeztük. A kapott egységre eloszlásokat példaként 22. ábra az A kategóriára adja meg. A hat kategória normálás nélküli értékeit a 23. ábra adja meg.



22. ábra. Az A Pasquill kategória normált adataira illesztett Gauss eloszlás. Az eloszlás σ -értéke 23°



23. ábra. A hat Pasquill kategória esetén létrejövő felületi aktivitáskoncentráció Bq/m² egységben az alapparaméterek esetén

Az oktatói modul algoritmusa

Kiinduló adatok

A program vezérlésére grafikus felhasználói felület szolgál. Ezen megadható:

- A forrástag fájl (a korábban bevitt forrástag fájlok valamelyike Cs-137 egyenértékben). A forrástag megadja a kibocsátást 10 perces időlépéssel a baleseti kibocsátás teljes időtartamára, de legfeljebb 24 órára ($6 \times 24 = 144$ ciklus). A forrástag alapértelmezésben $1 \cdot 10^{12}$ Bq/10 perc. Lehetőség van a felhasználó által szerkesztett forrástag használatára is.
- A forrástag szorzója. Beírható 0,1 és $9,9 \cdot 10^5$ között tetszőleges szám. A szám alapértelmezésben 1
- A szélirány fájl a korábban bevitt szélirány fájlok valamelyike. A szélirány fájl megadja a terjedési szélirányt 1°-os szögfelbontással a 0°–359° szögtartományban 10 perces időlépésekkel. A szélirány alapértelmezésben 0°. Lehetőség van a felhasználó által szerkesztett szélirány fájl használatára is.
- A szélesség értéke 10 m-es magasságban. Az adott futás teljes időtartamára vonatkozó szélesség 1–10 m/s tartományban adható meg. A szélesség alapértelmezésben 5 m/s
- A Pasquill-kategória. Az adott futás teljes időtartamára vonatkozó Pasquill-kategória. Alapértelmezésben D Pasquill-kategória
- A csapadék intenzitása. Az adott futás teljes időtartamára vonatkozó csapadékintenzitás megadható a 0–5 mm/h tartományban. A csapadék intenzitása alapértelmezésben 0 mm/h.
- Program léptetési sebesség, megadható kézi léptetés vagy automatikus léptetés 5 s-ként. Ennek révén egy 24 órás esemény futási ideje 12 perc. Alapértelmezés a kézi léptetés.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Láng E., Deme S., A Dose_on terjedés- és dózisszámoló programegység, KFKI AEKI, Budapest, AEKI-KER-2004-716-01/0, 2004. április 26.
- [2] Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, GSG-2-Pub 1467, 2011
- [3] Országos Nukleárisbaleset-Elhárítási Intézkedési Terv OBEIT v. 3.0, 2018. február
- [4] Deme Sándor, Pázmándi Tamás, C. Szabó István, Szántó Péter Az általános környezeti veszélyhelyzet megállapítása és a megállapítás bizonytalansági tényezői. Sugárvédelem IX. évf. (2016) 1. szám, 1–10. oldal
- [5] PC COSYMA (Version 2): An Accident Consequence Assessment Package for Use on a PC Report EUR 16239 (1996)
- [6] Microshield ver. 6. Grove Engineering.

Készült a SOMOS Alapítvány támogatásával