

Az általános környezeti veszélyhelyzet megállapítása és a megállapítás bizonytalansági tényezői

Deme Sándor*¹, Pázmándi Tamás¹, C. Szabó István², Szántó Péter¹

¹MTA Energiatudományi Kutatóközpont, Budapest

²MVMPaksi Atomerőmű Zrt., Paks
deme@aeki.kfki.hu

A kézirat beérkezett: 2016.06.16.

Közlésre elfogadva: 2016.07.04.

Determination of the general environmental emergency and uncertainties of the calculations. Due to recommendation of the International Atomic Energy Agency general environmental emergency in the vicinity of a nuclear installation should be announced if the γ -dose rate due to contamination of the ground surface exceeds 1 mSv/h at 1 m above the ground.

Our paper deals with the uncertainty assessment of several parameters affecting occurrence of general emergency at a given release, e.g. determination of the γ -dose rate due to deposited component, calculation of the dose rate at the plume centerline and extrapolation of data using meteorological parameters.

Final goal of the work is elaboration of methods to estimate uncertainties at the calculation of the general emergency situation.

Keywords: severe accident, general emergency, environmental monitoring, uncertainties.

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség ajánlása szerint egy nukleáris létesítmény környezetében akkor jön létre a sürgős lakossági intézkedést is megkövetelő általános sugárzási veszélyhelyzet, ha a radioaktív anyagok légköri kibocsátása olyan talajfelszíni szennyezettséget okoz, hogy annak γ -sugárzása révén 1 méteres magasságban 1 mSv/h vagy azt meghaladó dózisteljesítmény jön létre.

Cikkünkben ismertetjük azokat a számításokat, amelyekhez kapcsolódóan megvizsgáltuk a veszélyhelyzet megállapítását befolyásoló egyes bizonytalansági tényezőket, mint például a kiüledési hányad megállapítása, a csóvatengelyi dózisteljesítmény meghatározása és nagyobb távolságra történő extrapolációja a meteorológiai paraméterek alapján.

A munka végcélja az, hogy a döntéshozók részére információt adjon egy esetleges általános veszélyhelyzet megállapításánál fellépő bizonytalansági tényezőkről.

Kulcsszavak: súlyos baleset, általános veszélyhelyzet, környezeti mérés, bizonytalanság

BEVEZETÉS

A környezetet érintő súlyos atomerőműi balesetknél nagyon fontos, hogy egy esetleges veszélyhelyzet létrejöttét minél rövidebb idő alatt meg lehessen állapítani és a szükséges védőintézkedéseket meg lehessen határozni.

A rendeleti szabályozásban [1] a beavatkozási szint elkerülhető dózisban van kifejezve. E szerint védelmi intézkedést kell foganatosítani, ha az elkerülhető sugárterhelés meghaladja az intézkedésnek megfelelő beavatkozási szintet. Az elkerülhető dózis meghatározásához szükség van a forrástag ismeretére, radioökológiai adatbázisra és a számítás elvégzésére alkalmas terjedésszámító programra. Alapvető nehézséget okoz, hogy a forrástag megállapítása rendkívül bizonytalan és ennek alapján a számított sugárzási helyzet, valamint az elkerülhető dózis számértéke is.

Az általános veszélyhelyzet kihirdetése az alábbiak alapján lehetséges [2]:

(1) a reaktor (vagy nagy mennyiségű frissen kiszedett kiegészített üzemanyag) meglévő vagy prognosztizált sérülése;

(2) a sürgős óvintézkedések bevezetésére vonatkozó származtatott intézkedési szintet a létesítményen kívül meghaladó sugárzási szint detektálása és

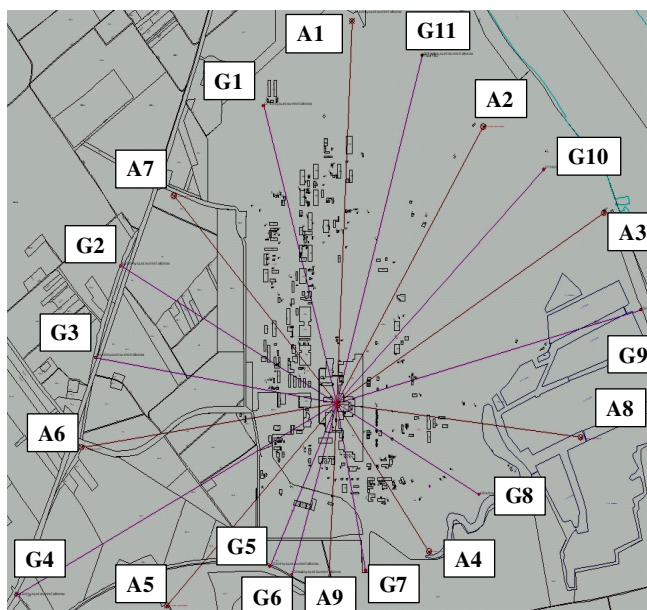
(3) olyan szándékos cselekmény elkövetése, amely veszélyezteti a kibocsátás megakadályozása szempontjából kritikus rendszerek működését vagy ellenőrizhetőségét.

Közleményünkben a (2) esettel foglalkozunk. Korábbi cikkünkben [3] bemutattuk, hogy a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség a sürgős óvintézkedések megfontolásához mérhető paramétereken alapuló származtatott intézkedési szinteket javasol, amely esetünkben azt jelenti, hogy általános sugárzási veszélyhelyzet akkor jön létre, ha a talajfelszín szennyezettsége révén az 1 méter magasan mérhető γ -sugárzás dózisteljesítménye eléri az 1 mSv/h értéket [2]. A jelenlegi hazai szabályozás is a γ -sugárzás dózisteljesítményén alapul [4]. Ennek a megállapítására a Paksi Atomerőmű esetében legközvetlenebbül az erőmű környezetében elhelyezett, γ -dózisteljesítményt mérő szondák adatai használhatók fel.

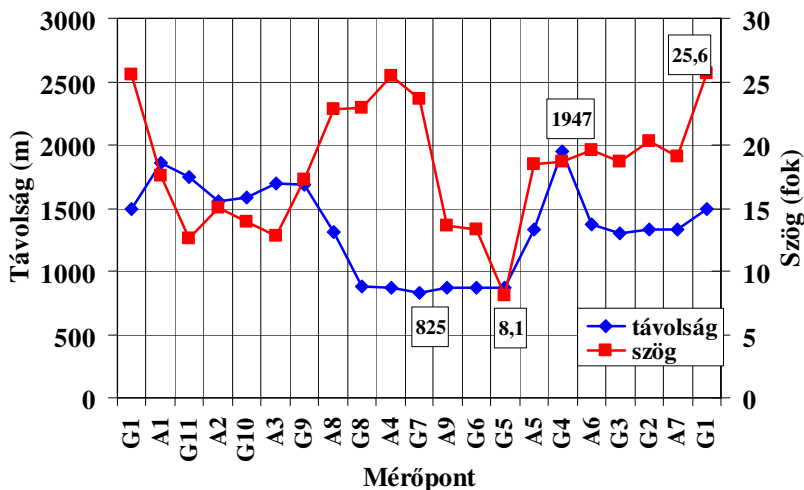
Cikkünkben ismertetjük azt a számítási módszert, amely segítségével a sugárzási veszélyhelyzet meghatározása az online mért γ -dózisteljesítmény és meteorológiai adatok alapján valós időben megoldható. Ez a módszer kiküszöböli a forrástag megállapításának igen jelentős bizonytalanságát és ennek révén a veszélyhelyzet megállapításának bizonytalanságát is nagymértékben csökkenti.

A KÖRNYEZETI γ -SUGÁRZÁS MÉRŐPONTOK JELLEMZŐI

Az erőművet körbevevő 20 darab γ -szonda telepítése két lépcsőben történt. Először az erőműhöz legközelebb eső települések irányába épültek ki a légszennyezettség távmérésére is szolgáló, ún. „A” típusú állomások, majd a későbbiekben a lefedetlen irányokba kiegészítő, csak a γ -sugárzást mérő G típusú állomások (1. ábra). A mérőpontok távolságát az erőmű két szellőkéményének felezőpontjától és az egymás mellett lévő mérőpontok közötti szöveget a 2. ábra mutatja. A távolságok és a szögek értékének szórását a terepviszonyok okozták.

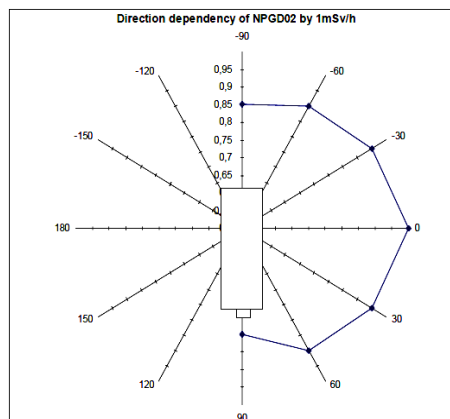


1. ábra. A mérőpontok elhelyezkedése az erőmű környezetében.



2. ábra. A mérőpontok távolsága az erőmű két szellőkéményének felezőpontjától és a szomszédos állomások közötti szög. A keretben a minimális és maximális értékek szerepelnek.

Mind az A, mind a G állomástípuson van egy-egy, a γ -sugárzás dózisteljesítményét 10 nSv/h–10 Sv/h méréstartományban mérő, BITT gyártmányú γ -szonda (3. ábra).



3. ábra. A γ -sugárzás dózisteljesítményét mérő, BITT gyártmányú szonda (bal oldalon) és irányfüggése (jobb oldalon)

Az általános veszélyhelyzet megállapításánál az alapfeladat az, hogy a 20 γ -sugárzás detektor jelzése alapján meg lehessen állapítani a detektoroknál a talajfelszín szennyezettségéből eredő dózisteljesítményt, majd a meteorológiai adatokat felhasználva az effektív csóvatengelynek megfelelő maximális γ -dózisteljesítményt, és ennek alapján a 10 km-es távolságig várható dózisteljesítmény eloszlást. A 10 km-es távolságot azért tekintjük e módszer felső határának, mert ennél nagyobb távolságoknál a terjedés meghatározásánál már az Országos Meteorológiai Szolgálat numerikus meteorológiai előrejelzését célszerű használni.

A KIÜLEPEDÉSBŐL EREDŐ γ -DÓZISTELJESÍTMÉNY SZÁMÍTÁSA

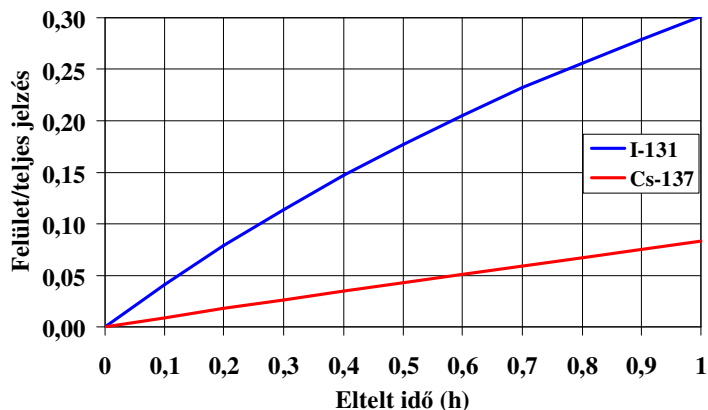
A számítások logikai vázlatát a 4. ábra mutatja.

A számítások során először meg kell határozni az egyes mérőpontokon a kiülepedésből származó γ -dózisteljesítményt. A kiülepedés sebessége függ a radionuklidok típusától (nemesgáz, szerves jód, elemi jód vagy aeroszol), a talajfelszín jellemzőitől (vízfelszín, növénytakaró), valamint a meteorológiai helyzettől (csapadék). Mind a típusok egymáshoz képesti aránya, mind a kiülepedési tényezők összetettsége miatt a felhő/kiülepedés γ -dózisteljesítmény arányt csak nagyon nagy bizonytalansággal lehet számítással meghatározni. Ezért a kiülepedés meghatározására azt a tényt használjuk ki, hogy a kiülepedés γ -dózisteljesítménye időben nem fluktuál, hanem a kibocsátás tartama alatt monoton nő, ugyanakkor a felhőből eredő γ -dózisteljesítmény a felhő pozíciójának folyamatos változása miatt időben fluktuál. Annak érdekében, hogy a fluktuáció becslésére minél előbb megfelelő statisztikájú adathalmaz álljon rendelkezésre a γ -szondák jelenlegi 10 perces adatai helyett a 0,5–1,0 perces adatait kívánjuk felhasználni.



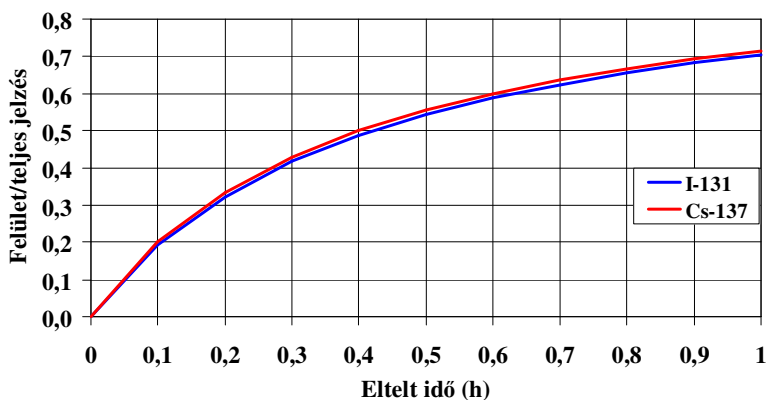
4. ábra. A kiülepedésből származó γ -dózisteljesítmény számítása 10 km-es távolságig

Egy egyszerű, COSYMA program [5] alapértelmezett paramétereivel végzett példaszámítással szeretnénk ennek jelentőségét bemutatni. A kibocsátás kezdetén a felhő γ -sugárzása dominál. Száraz időben az 1. óra végén az azonos aktivitású elemi formájú ^{131}I és az aeroszol formájú ^{137}Cs esetén a száraz kiülepedés adott nuklidra vonatkozó teljes jelzés 30, illetve 8%-át adja. (5. ábra).



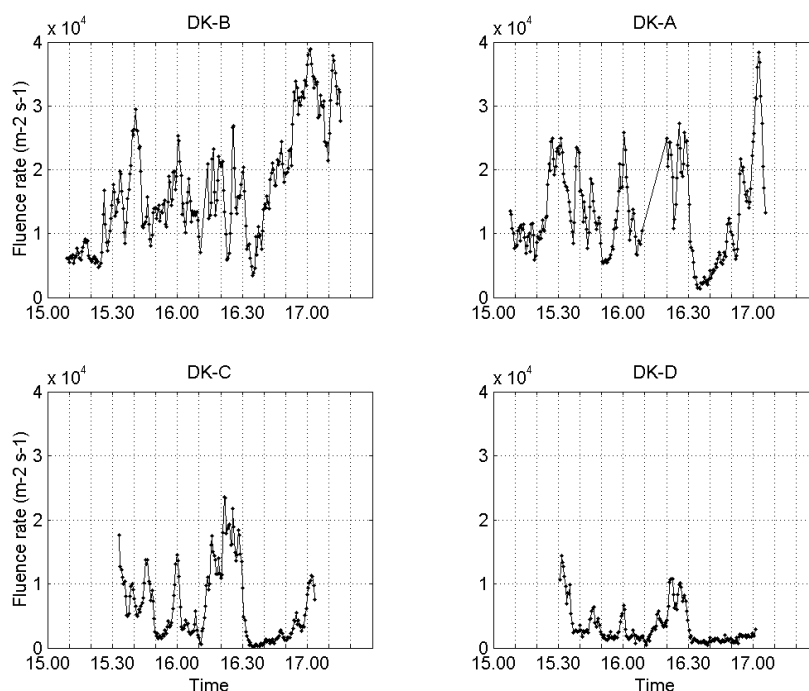
5. ábra. A detektor jelzésének a felületi talajszennyeződésből eredő hányada az adott nuklid teljes jelzéshez képest száraz időjárásnál a kibocsátás kezdetétől eltelt idő függvényében, azonos aktivitású elemi formájú ^{131}I és aeroszol formájú ^{137}Cs esetén

Esős időnél a kiülepedés (kimosás) részaránya sokkal nagyobb lesz, mint száraz időben, már 5 mm/h intenzitású eső mintegy 71%-ra emeli a kiülepedési hányadot (6. ábra). Ez utóbbi egyben azt is jelenti, hogy azonos nagyságú kibocsátásnál a talajfelszín szennyezettségéből származó dózisteljesítmény is jelentősen nő.



6. ábra. A detektor jelzésének felületi talajszennyeződésből eredő hányada a teljes jelzéshez képest 5 mm/h intenzitású esőnél a kibocsátás kezdetétől eltelt idő függvényében azonos aktivitású, elemi formájú ^{131}I és aeroszol formájú ^{137}Cs esetén

A felhő pozíciójának időbeli változásának hatására létrejövő γ -dózisteljesítmény ingadozást szemlélteti a 7. ábra, amely egy reaktor kéményén át kibocsátott ^{41}Ar által létrehozott γ -sugárzás intenzitásának időfüggését mutatja 30 s-os időbeli felbontással négy, a csóva tengelyére merőlegesen elhelyezett B, A, C és D sorrendű detektorral mérve. A terjedésszámításban használt átlagos, szélirány (azaz amerre a szél fúj) az ábrán az első, a B detektor irányába mutatott [6].

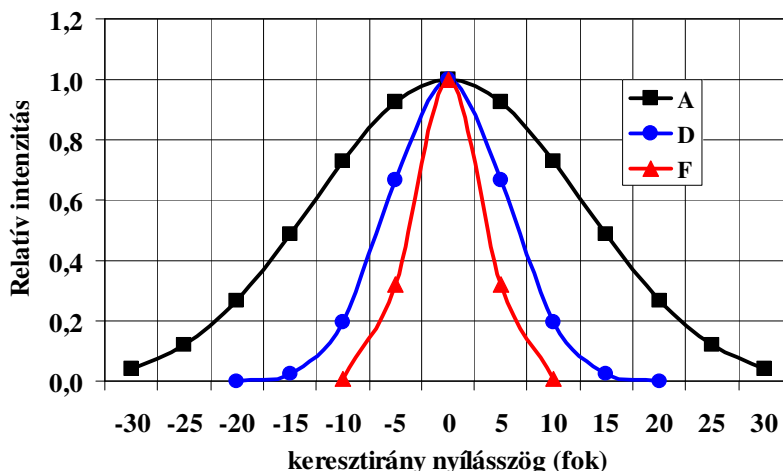


7. ábra. Egy reaktorkéményből kibocsátott ^{41}Ar csóva által létrejött γ -sugárzás intenzitása 30 s-es időfelbontással [6]

A 7. ábra alapján látható, hogy a γ -sugárzás intenzitásának – ami arányos a dózisteljesítmény mérő jelzésével – minimális értéke lényegesen kisebb, mint az átlaga. Ha a minimális értéket tekintjük a kiülepedésnek, akkor a kiülepedést kissé túlbecsüljük, de ez a hiba a kiülepedés részarányának növekedésével arányosan csökken.

A továbbiakban feltételezzük, hogy a kibocsátás a reaktorcsarnok tömítetlenségein át történik. A kéménykibocsátás esetét e tanulmányban azért nem vizsgáljuk, mert ebben az esetben mód van az aeroszolok és a jódnagy hatásfokú szűrésére, ezért a környezeti dózisek lényegesen kisebbek, mint a szűretlen épületkibocsátás esetén [7]. Ha a kibocsátás az épület falainál történik, akkor az épület által okozott levegőturbulencia a csóva kezdeti kiszélesedését okozza.

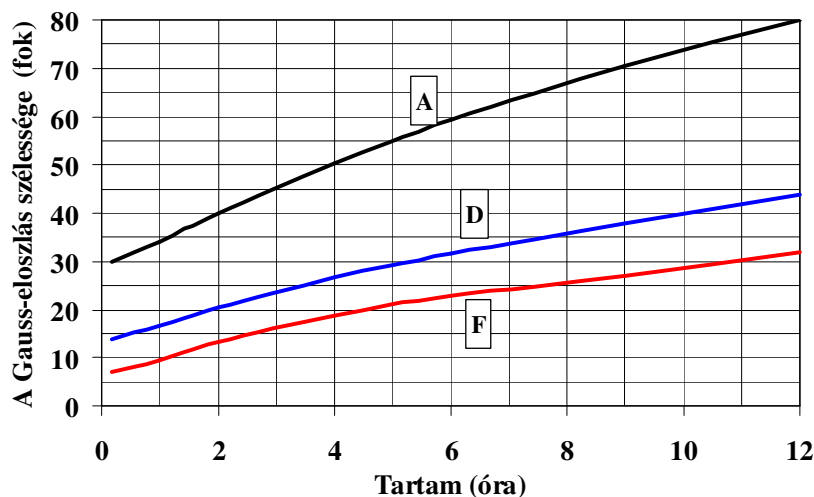
Az A, D és F Pasquill-kategóriákra vonatkozó – a reaktorepület diszperziós hatását is figyelembe vevő – keresztirányú anyag-eloszlásokat 1,5 km-es távolságra a 8. ábra mutatja. A számításokat a PC COSYMA programmal [5] végeztük. Az adatok alapján megállapítható, hogy a γ -szondák közötti átlagos, 18° -os szögnél (ez a (-9°) – $(+9^\circ)$ tartomány) az A Pasquill-kategória esetén – ha a csóva a két szonda közötti felezővonalban halad el, akkor a maximum 0,8-ad része lesz mérhető, D-kategória esetén ez az érték 0,3, míg F-kategóriánál 0,1. Ugyanakkor a 25° -os szögtávolságú szondapároknál az F-kategória esetén nem kapunk értelmezhető jelzést.



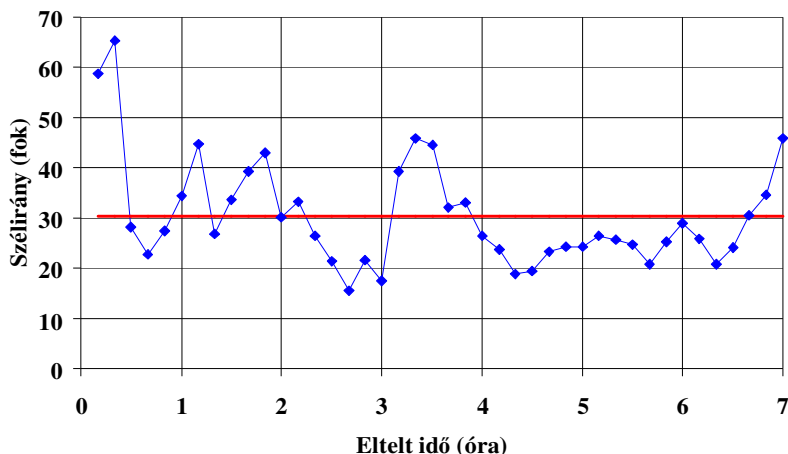
8. ábra. A keresztirányú relatív intenzitás eloszlás a forrástól 1,5 km-es távolságban A, D és F Pasquill-kategóriákra.

Az előzőekben megadott értékek rövididejű (10 perces) kibocsátásra vonatkoznak. A tapasztalatok szerint huzamosabb kibocsátás esetén a szélirány nem marad állandó és ennek következtében az eloszlásgörbe szélessége az észlelési idővel monoton nő. Ezt a növekedést Clarke [8] adatait felhasználva a 9. ábra adja meg. Ez alapján megállapítható, hogy a maximális, 25°-os szondatávolságnál a csúcstérték felét az A kategória esetében már a kibocsátás kezdetén eléri a mért érték, D kategóriánál ehhez 3, F kategóriánál pedig 7 óras kibocsátásra van szükség. Meg kell jegyezni, hogy a teljes feszültség-kimaradás mellett bekövetkező súlyos balesetknél a kibocsátási idő ennél hosszabb, elérheti a 12–24 órát is, mert ennyi időre lehet szükség a baleset elhárításához.

Egy adott balesetnél a csóva kiszélesedésének meghatározásához a ténylegesen mért szélirányváltást célszerű alapul venni. Egy júliusi éjszaka 10 perces átlagolású 7 órás szélirány időfüggést mutat a 10. ábra. A 7 órás időtartam alatt a szélirány szórása (σ_y) 10,7° volt

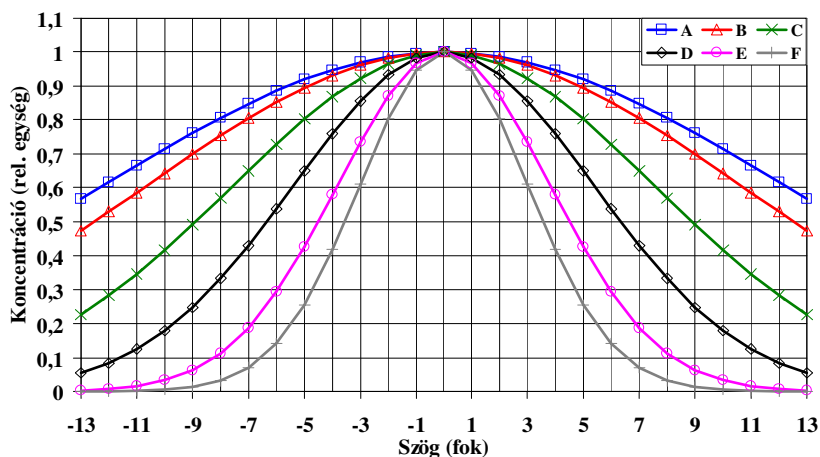


9. ábra. A Gauss-eloszlás félmagasságban vett szögértékének változása a kibocsátási idő függvényében A, D és F Pasquill-kategóriákra



10. ábra. A 20 m magasan a meteorológiai toronnyal 7 óra alatt mért 10 perces szélirányok (kék). Az átlagos szélirány $30,4^\circ$ (piros vonal), a szélirány szórása (σ_y) $10,7^\circ$

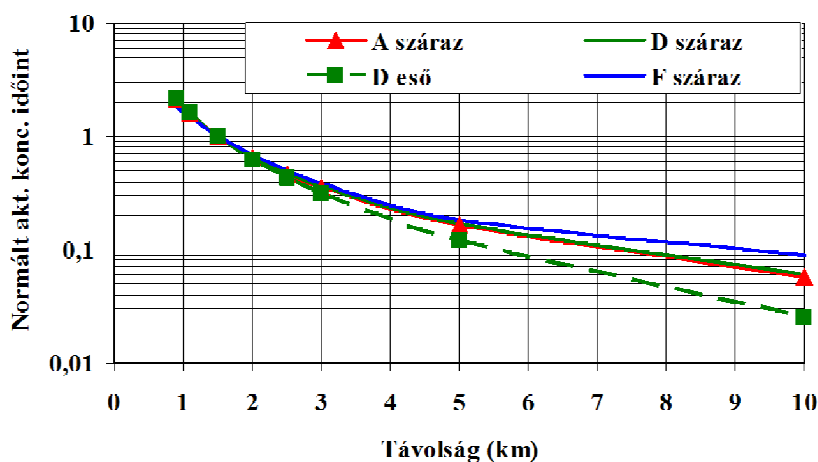
Az A-F kategóriák keresztirányú eloszlása a 7 órás $10,7^\circ$ -os szélirány szórás figyelembe vételével a 11. ábra szerint alakul. Ha az adott időszakban az E kategória volt, akkor erre a kategóriára az eredő σ_y érték 11° -nak felelt meg, amely érték megegyezik a rövididejű kibocsátásnál a B kategóriának.



11. ábra. Az A–F kategóriák keresztirányú eloszlása a 7 órás szélirány szórás figyelembe vételével

A továbbiakban tételezzük fel, hogy a 1,5 km-es távolságban a fennálló Pasquill-kategóriából és a szélirány fluktuációból – megfelelő illesztő programmal – meghatároztuk az adott időpontra vonatkozó csóvatengelyi, a talajfelszíni szennyezettségből eredő γ -dózisfeljesítményt. A következő lépés ennek az értéknek az extrapolálása nagyobb távolságokra. Az így elvégzett extrapoláció maximális távolsága véleményünk szerint legfeljebb 10 km lehet, mert ennél nagyobb távolságra az egyenes vonalú terjedés már kétséges. Ezen felül figyelembe kell venni, hogy a felületi szennyezettség a távolság mintegy -1,5-szeres kitevőjű hatványfüggvénye szerint csökken. Ez azt jelenti, hogy a távolság megkétszerezése esetén a sugárzás intenzitása az eredeti érték egyharmadára csökken, tehát a védőintézkedések szükségessége kevésbé várható, mint a forráshoz közelebbi területeken.

Megvizsgáltuk, hogy az 1,5 km-es érték extrapolációs függvénye hogyan függ a Pasquill-kategóriától és a csapadéktól. Az extrapolációs függvényeket A, D és F Pasquill-kategóriákra, száraz időre és a D kategóriára 10 mm/h intenzitású esőnél a 12. ábra mutatja. (A és F kategóriánál derült az égbolt, így ezek esetében esővel nem számoltunk.) A számértékek alapján a 10 mm/h intenzitású esőnél a nagymértékű csóvaszegényedés következtében a 10 km-re extrapolált 1,5 km-es érték csak 0,4-ed része a száraz időben várható értéknek, végeredményben intenzív eső révén a szennyeződés az 1,5 km-es értéknek csak mintegy 3%-a lesz.



12. ábra. A talajfelszín szennyezettségének távolságfüggése A, D és F Pasquill-kategóriákra, száraz időre és 10 mm/h intenzitású esőnél D-kategóriára

A SZÁMÍTÁSOK BIZONYTALANSÁGA

Az előzőekben ismertetett számításoknál kiindulásként szükséges ismerni a γ -szondákkal mért, a talajfelszín szennyezettségéből eredő dózisteljesítményt, és a Pasquill-kategóriát, valamint a csapadék intenzitását. (A szélirányt csak tájékoztató adatként használjuk.) A kiülepedésből származó dózisteljesítmény csak egy hányada a teljes dózisteljesítménynek. Ennek meghatározása történhet számítással, de ennek bizonytalansága – különösen száraz időben és a kibocsátás kezdetén – nagyon nagy [3], ezért nem is használjuk fel módszerünkben. Sokkal jobb eredményt érhetünk el, ha a mért érték fluktuáló részét nem vesszük figyelembe, mert ezt a komponenst a felhő γ -sugárzásának következményének tekintjük. E tényező bizonytalansága – nem jelentős – felülbecslést jelent.

A legnagyobb bizonytalanságot a csóvatengelyi dózisteljesítmény meghatározása okozza. Különösen nagy a bizonytalanság stabil (E, F) Pasquill-kategória esetén. Ez a bizonytalanság a kibocsátási idő növekedésével csökken, 6–8 óra elteltével már csak abból ered, hogy a keresztirányú eloszlás nem a mérések alapján feltételezett Pasquill-kategóriából számítottnak felel meg. További, de viszonylag kisebb bizonytalanságot jelent a 1,5 km-re számított csóvatengelyi dózisteljesítmény extrapolálása nagyobb, 10 km-ig terjedő távolságokra. Ebben az esetben az extrapolációs függvény alig függ a Pasquill-kategóriától, de érzékeny a csapadékra. Az eső hatása a csóva szegényedésében nyilvánul meg. (10 mm/h intenzitású esőnél a 10 km-re extrapolált talajszennyezettség csak 40%-a lesz a száraz időre megadott értéknek.) A γ -szondák tényleges távolságára korrekciót lehet elvégezni, így ezzel a bizonytalansággal nem kell számolni.

A bizonytalanságokat általánosan nem lehet számszerűen megadni. A legnagyobb várható bizonytalanság esetében a számított eredmény a 0,3–3-szoros szorzó tartományba esik, ez más

módszereknél, például az erőmű feltételezett műszaki állapotából számítottnál sokkal kedvezőbb. A bizonytalanságok számítását egy későbbiekben kidolgozandó terjedésszámítási program részévé kell tenni.

KÖVETKEZTETÉSEK

A tanulmányban leírt módszer nem teszi szükségessé a baleseti forrástag nagy bizonytalanságú becslését, hanem a környezeti γ -szondák mérési adatai alapján határozza meg a 10 km-ig terjedő távolságokra a talajfelszín szennyezettségéből eredő csóvatengelyi γ -sugárzás dózisteljesítményt súlyos baleseti, épületen át történő kibocsátásnál. A számítások bizonytalansága a kibocsátás elején, különösen stabil Pasquill-kategóriáknál igen jelentős, de a súlyos balesetekre jellemző néhány órás kibocsátás esetén a bizonytalanság jelentősen csökken, a számított érték bizonytalansági tartománya 0,3–3 szorosa a számított értéknek. A módszer alapul szolgálhat olyan számítógépes program kidolgozásához, amely mind a talajfelszíni szennyezettség dózisteljesítményének, mind ezen érték bizonytalanságának számítására is alkalmas, így objektív alapot ad a szükséges védőintézkedések meghozatalához. A bizonytalansággal megnövelt, konzervatív értékek alapul szolgálhatnak a beavatkozások optimálására.

TOVÁBBI FELADATOK

- A részletes algoritmus kidolgozása.
- Számítógép program kidolgozása tárolt adatbázissal.
- Számítógép program kidolgozása on line adatbázissal.
- Tréning változat kidolgozása tárolt forrástagokkal, való idejű meteorológiai adatokkal.

IRODALOM

- [1] 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet
- [2] Criteria for Use in Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency, GSG-2-Pub 1467, 2011
- [3] Deme Sándor, Pázmándi Tamás, C. Szabó István, Szántó Péter. Az általános környezeti veszélyhelyzet létrejöttét befolyásoló tényezők vizsgálata. Sugárvédelem VII. évf. (2014) 1. szám. 43–56
- [4] Sugárvédelem. Szerkesztette Fehér István és Deme Sándor. Az ELTE Eötvös Kiadó és a Somos Környezetvédelmi Kft. közös kiadása, Budapest, 2010.
- [5] PC COSYMA (Version 2): An Accident Consequence Assessment Package for Use on a PC Report EUR 16239 (1996)
- [6] Martin Drews et al. Measurements of plume geometry and argon-41 radiation field at the BR1 reactor in Mol, Belgium. Report NKS-55 (2002)
- [7] Deme Sándor, Pázmándi Tamás, C. Szabó István, Szántó Péter. A reaktorcsarnoki szellőztetés hatása súlyos atomerőműi balesetnél. Sugárvédelem. VIII. évf. (2015) 1. szám. 1–7.
- [8] R. H. Clarke. A model for short and medium range dispersion of radionuclides released to the atmosphere. Report NRPB-R91 (1979)

A pályamű a SOMOS Alapítvány támogatásával készült.