

Rudas Csilla

„Uncertainties in Modelling Atmospheric Dispersion of Radioactive Contaminants”

című, PhD fokozat elnyerésére benyújtott doktori értekezéséről

Bíráló: Dr. Hózer Zoltán, MTA doktora, HUN-REN Energiatudományi Kutatóközpont

Nagyon köszönöm a Bírálónak az alapos átnézést és az értékes kérdéseket. A válaszaimat az egyes kérdések után írtam.

Kérdések

1. Az értekezésben a jelölt leírja, hogy a TA3, TA4 és TAK események során milyen elfogadási kritériumoknak kell eleget tenni és milyen légköri terjedési modelleket kell alkalmazni. A TAK eseményeket nem osztja szét, pedig a TAK1 és TAK2 között lényeges eltérés lehet a forrástag tekintetében. Miért nem kezeli külön ezt a két kategóriát?

Valóban, a TAK1 (komplex üzemzavarok) és TAK2 (súlyos balesetek) besorolású események kibocsátási forrástagjai között, és így a védelmi intézkedések nélkül feltételezett dóziskövetkezmények között is nagy különbség lehet. Az NBSz¹ az alábbi definíciókat adja a két kategóriára:

- Komplex üzemzavar (TAK1): Új atomerőművi blokk esetében a várható üzemi események és a tervezési üzemzavarok körén kívül eső üzemállapot, amely a tervezési alapba tartozó üzemállapotoknál súlyosabb következményekkel járhat, üzemanyag-olvadással nem járó fűtőelem-sérülést okozhat. Meglévő nukleáris létesítmény esetén a tervezésen túli üzemzavarnak felel meg.
- Súlyos baleset: Súlyos baleset bekövetkezése esetén az atomerőművi blokk üzemanyag-olvadással együtt járó, TAK1-nél súlyosabb, telephelyen kívüli hatásokat is okozó üzemállapota alakul ki.

Az európai atomerőművek üzemeltetői által kiadott European Utility Requirements (EUR) általam alkalmazott D verziójában a tervezési alapot meghaladó összes eseményre (a komplex üzemzavarokra és a súlyos balesetekre is) az alábbi megfelelési kritériumok vonatkoznak (az óvintézkedésekhez kapcsolódó dózismennyiségekkel kifejezve), miszerint a kibocsátás következménye ne haladja meg:

- 800 méteren kívül az 50 mSv-et (24 óra alatt);
- 3 km-en kívül 30 mSv-et (4 nap alatt);
- 800 m-en kívül a 100 mSv-et (teljes kibocsátás alatt);
- azt az értéket, amely jelentős gazdasági hatásokat vonna maga után (táplálkozási és takarmányozási tilalmak legfeljebb térben és időben korlátozottan válnak szükségessé).

A doktori munkámban ezen EUR követelményének való megfelelést igazoltam egy a CONFIDENCE projektben is felhasznált hipotetikus kibocsátási esetre. A kibocsátási esetet a projektben résztvevő holland kollégák állították össze, egy a holland Borssele erőmű biztonsági

¹ 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről

elemzéséből vett és egy 900 MW elektromos teljesítményű PWR reaktorra átskálázott esetként definiálták, melynek előfordulási gyakorisága 10^{-7} 1/év.

2. Pöff modellt számos számítógépes eljárás használja a légköri terjedés szimulációjához. A 3. tézispontban a SINAC kóddal kapcsolatban megfogalmazott következtetések használhatóak-e más számítógépes programokban is? Milyen időlépéssel számolnak más – pöff modellt alkalmazó – kódokban?

A 3. tézispontban megfogalmazott következtetések részben alkalmazhatóak más pöff modell esetében is. Az a következtetés más programokban is érvényes, hogy az autoskálás módszerek alkalmazása segít abban, hogy a szimulációban kevesebb pöff léptetéssel is megfelelő precizitású eredményt kapjunk, vagyis ezzel csökkenthető a futtatások ideje. Viszont az, hogy milyen parametrizáció pontosan mekkora precizitású eredményt ad, az eltérő lehet más-más modelleknél, végeredményként használt mennyiségeknél, a választott receptorpontoknál (egyéb input és modell paramétereknél). A futtatási idő csökkentésének mértéke is több tényezőtől függ, például a programkód felépítésétől vagy a használt számítógép jellemzőitől.

Tudomásom szerint más forgalomban lévő kódoknál az általános gyakorlat a fix időlépés alkalmazása. A JRODOS ASTEP² modelljében az alapértelmezett időlépés 10 perc, a RIMPUFF³ modellben pedig 20 másodperc.

3. A CONFIDENCE projektben számított magyar eredmények adják a legkisebb értékeket azokra a távolságokra, ahol ¹³⁷Cs kiülepedésből származó felületi aktivitások már nem haladják meg a határértékeket a (39. és 40. táblázat az értekezésben). Mi ennek a magyarázata? Milyen következményei lehetnek a jelölt modelljében használt feltételeknek egy paksi biztonsági elemzésben?

A kérdés az alább beillesztett 39. és 40. táblázat második és harmadik oszlopára vonatkozik, amelyben azok az átlagos maximum távolságok láthatóak, amelynél a Cs-137 talaj-aktivitáskoncentráció átlépi az adott határértéket.

Table 1. The average maximum distance of threshold exceedance for the meteorological perturbations at 24 h (my results indicated with bold font) Error: Reference source not found

Participant	Average maximum distance of threshold exceedance					
	Cs-137 Deposition		Inhalation thyroid dose		Effective dose	
	10 kBq/m ²	37 kBq/m ²	10 mSv	50 mSv	10mSv	50 mSv
IRSN	558 km	389 km	209 km	79 km	26 km	1 km
Met	578 km	558 km	130 km	52 km	24 km	0 km
BfS	543 km	447 km	142 km	40 km	16 km	4 km
RIVM	543 km	15 km	40 km	19 km	7 km	0 km
CER	96 km	38 km	87 km	29 km	13 km	0 km
DTU	417 km	403 km	97 km	37 km	11 km	0 km
EEAE	523 km	316 km	46 km	20 km	6 km	0 km

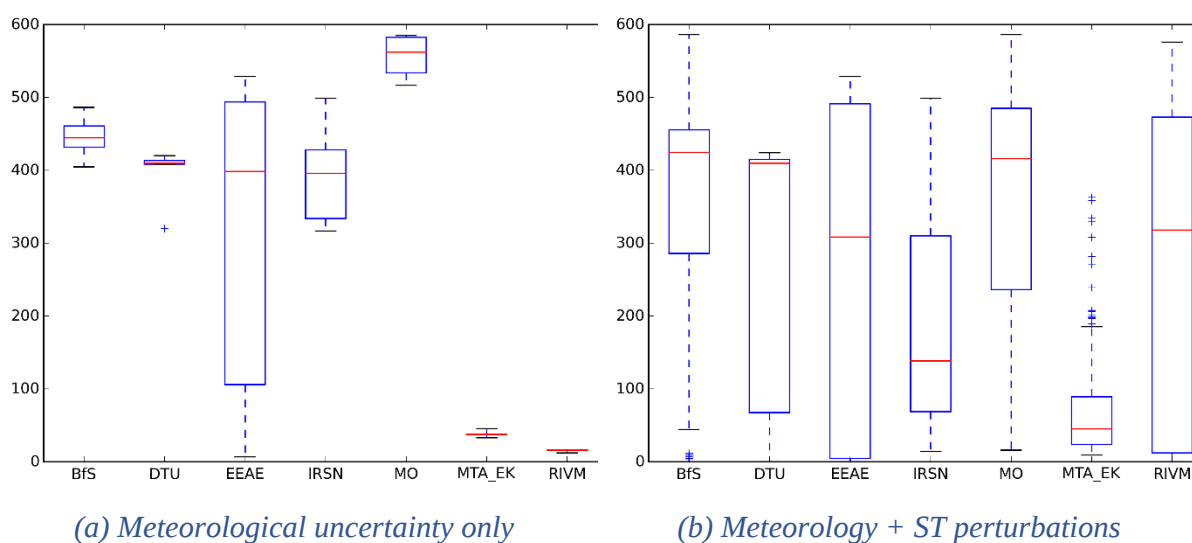
² Päsler-Sauer, J., 2003. Description of the atmospheric dispersion model ATSTEP. Version RODOS PV 5.0. Technical Report RODOS(RA2)-TN(03)-01, Forschungszentrum Karlsruhe GMBH.

³ Thykier-Nielsen, S., Deme, S., Mikkelsen, T., 1999. Description of the atmospheric dispersion module RIMPUFF. Technical Report RODOS(WG2)-TN(98)-02, Forschungszentrum Karlsruhe GMBH, 1999.

Table 2. The average maximum distance of threshold exceedance for the meteorological and source term perturbations at 24 h (my results indicated with bold font) Error: Reference source not found

Participant	Average of maximum distance of threshold exceedance					
	Cs-137 Deposition		Inhalation thyroid		Effective dose	
	10 kBq/m ²	37 kBq/m ²	10 mSv	50 mSv	10mSv	50 mSv
IRSN	409 km	180 km	228 km	90km	35 km	7 km
Met	483 km	361 km	130 km	55 km	28 km	5 km
BfS	505 km	415 km	160 km	36 km	15 km	4 km
RIVM	482 km	222 km	37 km	18 km	7 km	1 km
CER	184 km	46 km	85 km	28 km	12 km	0 km
DTU	417 km	403 km	97 km	37 km	11 km	0 km
EEAE	469 km	237 km	45 km	18 km	6 km	0 km

Ezek az értékek az ensemble tagok átlagai, a pontosabb értékeléshez érdemes az eredmények eloszlását is figyelembe venni. Ehhez beillesztettem a CONFIDENCE project egyik jelentésében⁴ megtalálható alábbi ábrát, amely megmutatja a 37 kBq/m² Cs-137 talaj-aktivitáskoncentráció értéket meghaladó maximális távolság eloszlását (piros vonal jelöli az átlagot, kék téglalap a 25-75 percentiliseket, szaggatott vonal a tartományt, kereszt pedig a kiszóró értékeket) az (a) meteorológiai bizonytalanságok és a (b) meteorológiai és forrástag bizonytalanságok figyelembevételével.



Ensemble mean of the maximum distance (in km) for the threshold exceedance of 37 kBq/m² of ¹³⁷Cs deposition for the seven participants, 24 hours after the beginning of the release, and associated standard deviations.⁴

Ezen látható, hogy a különböző résztvevők eredményei eltérő tartományokon mozogtak, és ezek alapján nem csak az általam kapott értékek kiugróak.

⁴ D 9.5.1 – Ensemble calculations for the atmospheric dispersion of radionuclides. Hypothetical accident scenarios in Europe: the REM case studies: https://www.concert-h2020.eu/sites/concert_h2020/files/uploads/Deliverables/D9/Confidence/D9.1-9.20/ Lists Deliverables Attachments 170 D9.5 Guidelines-for-the-use-of-ensemble-calculations_approved28112019.pdf

A Cs-137 kiülepedésre az általam számolt (az ábrákon még MTA_EK-val jelölt) távolságok azért vannak az alacsonyabb tartományban, mert a Cs-137 kiülepedési értékeim magasabbak a kibocsátási ponthoz közel, amit a kiülepedési modellben alkalmazott nedves kimosódási együttható értéke magyaráz. A nedves kiülepedést jellemző együtthatóra a különböző résztvevők ugyanazt a formulát használták, melyben a kimosódási arány (λ_w) az esőintenzitástól (p) és két konstans paramétertől függ:

$$\lambda_w = \alpha p^\beta$$

Az egyes résztvevők különböző értékeket használtak az α és β paraméterekre, melyeket az alábbi táblázatban foglaltam össze.

Résztvevők	Kimosódási együtthatók aeroszolonra	
	α	β
CER	1×10^{-4}	0.8
IRSN	5×10^{-5}	1
RIVM	7.0×10^{-5}	For $p < 1$ mm/h, $\beta = 1$, else $\beta = 0.8$
BfS	8.4×10^{-5}	0.79
MetOffice/PHE	Below cloud: 8.4×10^{-5} In cloud: 3.36×10^{-4}	0.79
EEAE	8.4×10^{-5}	0.79
DTU	Depends on the isotope family	

A kibocsátási ponthoz közel a meteorológiai állapotra a felhő alatti kimosódás (below cloud) jellemző, így ezen a tartományon az α paraméternél az általam használt érték a legnagyobb, ami magyarázza a nagyobb Cs-137 kiülepedési értékeket is és ezáltal a közelebbi maximális távolságot. A kibocsátási ponttól távolabb (ahol a felhőben való kimosódás is megjelenik) a Met Office által használt érték a legnagyobb ($\alpha = 3,36 \times 10^{-4}$) de ez a kibocsátási ponttól távolabb eredményez nagyobb talajaktivitáskoncentrációt, és ezzel nagyobb távolság értékeket is.

A paksi biztonsági elemzéseket más számítási módszerrel végezzük és modellezési feltételeket is eltérőek. Míg a CONFIDENCE projektben 10 darab azonos időszakra (néhány napra) vonatkozó térben változó meteorológiai adatszekvenciákat vettünk figyelembe és a Gauss féle pöff modellt használtam, a biztonsági elemzéseknél csóva-moddellel számolunk és egy pontra vonatkozó térben állandónak tekintett 5-10 éves meteorológiai mérési adatsorokat használunk (a meteorológiai jellemzők minél szélesebb tartományát figyelembe véve), majd az adatsor összes elemére meghatározott értékek közül konzervatív módon a 95. percentilist tekintjük végeredménynek.

Budapest, 2024. január 6.

Rudas Csilla