

Új terjedésszámító szoftver fejlesztése és bevezetése a Paksi Atomerőműnél

Dombovári Péter^{*1}, Ranga Tibor¹, Nényei Árpád², Bujtás Tibor¹, Kovács Tibor³, Jobbágy Viktor³, Vincze Csilla⁴, Molnár Ferenc⁴

¹MVM Paksi Atomerőmű, Sugárvédelmi Osztály

²MVM Paksi Atomerőmű, Vegyészeti Főosztály

³A Radioökológiai Tisztaságért Társadalmi Szervezet, Veszprém

⁴Eötvös Loránd Tudományegyetem, Meteorológia Tanszék, Budapest

Abstract

The aim of this study is to offer a survey of development of a new atmospheric dispersion modeling software named TREX. At present we are using dispersion calculating software based on a Gaussian distribution profile. This software (named BALDOS) is out of date. Modern softwares (such as the new one) are qualified to use Lagrange type model during the calculation of the dispersion. Weather data of the calculations will provided by ALADIN/HU forecasting system. The new software also use up-to-date computer technology (programmable VGA card, dual core CPU).

Keywords: atmospheric, dispersion, modeling system, Lagrange, TREX

Kivonat

Munkánk célja az volt, hogy képet adjunk a TREX nevű új terjedésszámító program fejlesztési munkáiról. A jelenleg használt BALDOS nevű terjedésszámító szoftver a Gauss eloszlási profilt használja, de hardveres környezete elavult, használhatósága korlátozott. Az új szoftver Lagrange-típusú modellt alkalmaz a számítások során, az időjárási adatokat pedig az ALADIN előrejelző rendszerből kapja. Az új szoftver nagy előnye az, hogy az új generációs kétféle CPU mellett programozható VGA vezérlők segítségével végzi a számításokat.

Kulcsszavak: légköri terjedés, modellező szoftver, Lagrange, TREX

I. BEVEZETÉS

A nukleáris létesítmények, atomerőművek biztonságos üzemeltetése ellenére fel kell készülni veszélyhelyzetekre, balesetekre, melyek során nagy mennyiségű radioaktív anyag kerülhet a környezetbe, elsősorban a légkörbe. Ezen anyagok környezeti hatásának felbecsléséhez, a hatások lokalizálásához, mérsékléséhez ismernünk kell a kikerülő radioizotópok mozgását, az aktivitás-koncentráció változásokat a légkörben, kiülepedésüket a talajfelszínre, növényekre stb. A radioaktív kontaminációk ismeretében következtethetünk az egyéni és kollektív sugár-terhelésre és tervezhetjük a hatások mérséklése céljából esetleg szükséges beavatkozásokat. Ugyancsak fontos feladat az atomerőmű normál üzeme során a lakosságnak okozott dózistöbblet meghatározása is, különösen, mivel a kismennyiségű radioaktív kibocsátások miatt ezek közvetlen mérésére nincs lehetőség. A Paksi Atomerőmű Munkahelyi és Technológiai Sugárzásellenőrző Rendszerének (MT SER) rekonstrukciója jelenleg is folyik, ennek a munkának része az új terjedésszámító szoftver bevezetése is, mely nagy gyakorlati jelentőséggel bír mind a sugárvédelmi szakemberek, mind a lakosság tájékoztatása szempontjából. A Paksi Atomerőmű Sugárvédelmi Osztálya, az Eötvös Loránd Tudományegyetem és a Radioökológiai Tisztaságért Társadalmi Szervezet által közösen továbbfejlesztett TREX (Transport–Exchange) szoftver [9,11,17] feladata a (normál és) baleseti szituációkban a környezetbe kibocsátott radioaktív anyagok hatásának számítása és lakossági dózisek meghatározása.

* - dombovari@npp.hu

I. RADIOAKTÍV SZENNYEZŐANYAG-TERJEDÉSI MODELLEK KÜLFÖLDÖN ÉS MAGYARORSZÁGON – IRODALMI HÁTTÉR

A matematikai diszperziós modellek a valóságos helyzet bizonyos fokú leegyszerűsítését jelentik, ennek mértékét a feladat jellege és a rendelkezésre álló lehetőségek alakítják ki. Egy probléma gyakran többféle, sokszor egymástól nagyon eltérő modellekkel is leírható, az egyszerűbb félempirikus, több elhanyagolással élő módszerektől a bonyolult, sok paramétert, input adatot és összetett számítást igénylő, de várhatóan széleskörűen alkalmazható és pontosabb eredményt adó eljárásokig. Az utóbbiak hátránya, hogy a nagyobb számolási teljesítményen túl jóval több és jóval pontosabb bemenő adatokat igényelnek, ami nem mindig teljesíthető. Ezért a radionuklidok atmoszférabeli mozgásának számítására a hazai gyakorlatban leginkább a Gauss profil használata terjedt el annak ellenére, hogy jobb és pontosabb eredmények számítására alkalmas modellek már régóta ismertek.

A légköri szennyezőanyag terjedés matematikai leírására kétféle alapvető szemléletmód létezik (Lagrange- és Euler-típusú), melyek a vonatkoztatási rendszer megválasztásában különböznek egymástól. Ezek a modellek igen változatos típusúak és felbontásúak, így például 2001-ben egy tanulmányban [7] 22 ilyen modellt soroltak fel.

A Lagrange-típusú modellek között megemlíthetjük a DERMA modellt [15], amely vízszintes irányban Gauss profilt számít, valamint teljes keveredést tételez fel a keveredési rétegen belül és Gauss profilt felette. A brit Meteorológiai Szolgálat (MET Office) NAME modellje [5] és a norvég SNAP modell [14] olyan Lagrange-típusú modellt használ, amelyben nagyszámú részecske kibocsátását modellezzik. Az Euler-modellek rácsalapú módszereket használnak, és nagy előnyük, hogy a trajektóriák helyett a háromdimenziós meteorológiai mezőket vehetik figyelembe [10, 18]. Még pontosabb a modellezés, ha a kibocsátás közelében Lagrange-típusú, távolabb Euler-modellt használunk a terjedés leírására. Erre példa a Brandt és munkatársai (1996) által kifejlesztett DREAM model [4]. A svéd MATCH Lagrange-típusú részecskemodellt használ a kibocsátás első 10 órájában a függőleges transzportra, míg Euler-féle közelítéssel írja le a vízszintes transzportot [10]. Az integrált modellek, mint például a RODOS, összekapcsolják az előrejelzési modellt a döntéshozó és tanácsadó szoftverekkel, és ezek kulcsfontosságú adatokat szolgáltatnak vészhelyzet esetén a megfelelő védelmi stratégia kidolgozásához [2,7,19].

A már említett RODOS (Realtime Online Decision Support) rendszert [6,12] Magyarországra is adaptálták. A RODOS a szennyezőanyag terjedést RIMPUFF modellel írja le. A RIMPUFF (Risø Mesoscale PUFF model) egy Lagrange-típusú mezoskálájú légköri diszperziós PUFF modell, mely jól kezeli a nemstacionárius és inhomogén meteorológiai mezőket és kisebb skálájú turbulens mozgások hatásai is figyelembe vehetők a fáklya mozgásának, szétterülésének előrejelzésekor.

Az Országos Meteorológiai Szolgálatnál másik szennyezőanyag terjedési modellt is használnak, ez a FLEXPART. Ez is egy adaptált, Lagrange-típusú modell, mely a szennyezőanyagok nagytávolságú transzportját, diffúzióját, száraz és nedves ülepedését számítja (www.met.hu/omsz.php). A modell input meteorológiai mezőit az ALADIN/HU numerikus előrejelző modell illetve az ECMWF mezői szolgáltatják. Az AERMOD diszperziós modell egy második generációs diszperziós modell, mellyel főleg ipari források (pont, terület, térfogat) szabályozás orientált modellezését végzik. A modell előnye, hogy a legújabb elméleteket használja a planetáris határréteg meghatározása során, valamint figyelembe veszi a domborzat áramlásmódosító hatását is.

A baleseti kibocsátási modelleket nem lehet a szokásos értelemben verifikálni, mivel ahhoz egy balesetnek kellene bekövetkezni. Erre a problémára nyújtottak megoldást az ETEX

(European Tracer Experiment) elnevezésű európai előrejelző kísérletek [16]. Az ETEX egy nemzetközi akció volt (<http://rem.jrc.cec.eu.int/etex/>), mely során két alkalommal (1994. október 23-án és november 14-én) egy kémiaiilag inaktív anyagot bocsátottak ki a franciaországi Monterfilből. A kibocsátott anyag koncentrációját Európa 168 meteorológiai állomásán folyamatosan mérték. A mérések alapján már verifikálni lehetett a különböző nukleáris terjedési modellek adott időszakra készített előrejelzéseit.

II. CÉLKITŰZÉSEK, A BEVEZETÉS SORÁN MEGOLDANDÓ PROBLÉMÁK

Az Erőműben jelenleg használt BALDOS nevű terjedésszámító szoftver funkcióit és kezelését tekintve is cserére szorul. Az új szoftverrel kapcsolatban számos olyan igény is felmerült, amely a BALDOS-sal végzett több éves munka tapasztalatainak eredménye, és az atomerőművi terjedésszámítás igényeit tükrözi. Az Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Rendszer műszaki megújításával kapcsolatban 2008 áprilisában született tanulmány is felhívja a figyelmet a régi rendszer több olyan hiányosságára, melyek pótlása elősegíti az országos katasztrófavédelmi szervekkel és az Országos Atomenergia hivatallal történő együttműködést.

Az évek során összegyűlt szakmai tapasztalatok egyértelművé tették, hogy a régi szoftver használatának korlátait kell áttörni a fejlesztés során, a megoldandó problémák az alábbi témák köré csoportosíthatók:

- a BALDOS hosszas fejlesztés után sem képes maradéktalanul kinyerni és felhasználni a rendelkezésre álló forrásadatokat a PAE informatikai rendszeréből
- a szoftver futtatás előkészítéséhez, a kézi adatbevitelhez, valamint az eredmények kézi kigyűjtéséhez szükséges idő leköti az operátorokat, ami baleseti helyzetben vagy hosszabb leterheltség esetén komoly hátrány
- a Gauss profil a forráshoz közel (néhány száz méteren belül) nem használható, így az üzemi területre nem szolgáltat használható adatokat
- 10 km-es távolságon túl pontossága nagymértékben lecsökken, ami a 30 km-es Sürgős Óvintézkedések Zónájára vonatkozó számításoknál meghatározó
- a régi szoftver ebben a formában nem tudja kihasználni a modern hardveres megoldások által kínált lehetőségeket
- a szoftver felhasználói felülete nem felel meg az igényeknek, és a számítások térbeli felbontása elmarad a döntéshozók megfelelő támogatásához elvárt szinttől
- biztonsági elemzések és gyakorlatok előkészítésére, hipotetikus balesetek kezelésére csak korlátozottan alkalmas

Ennek megfelelően az alábbi területeken tűztünk ki célokat a fejlesztés elején:

- fejlett hardver és szoftver környezet (operációs rendszer, processzor kihasználása)
- korszerű informatikai megoldások (pl.: CUDA (Computer Unified Device Architecture) programozható VGA vezérlő) a számítási teljesítmény megsokszorozására
- kompatibilitás a PAE informatikai rendszerével (automatikus adatgyűjtés)
- meteorológiai adatok az OMSZ előrejelzési adatbázisára támaszkodva
- az aktuális értékek mellett valós előrejelzések készítése,
- használható grafikus környezet (3D, bebarangolható)
- naprakész adatbázisok (2006-os UNSCEAR) használata

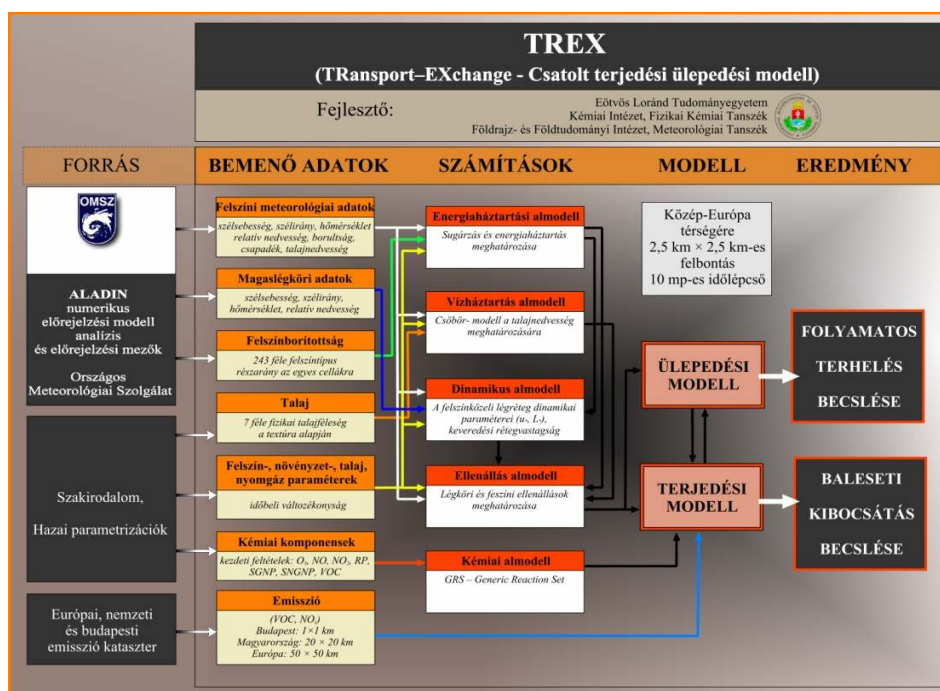
III. A KIFEJLESZTETT MODELL, EREDMÉNYEK

A baleseti kibocsátások modellezéséhez kifejlesztettünk egy háromdimenziós Lagrange-típusú terjedési–ülepedési modellt, amely ugyan nagyobb számolási kapacitást igényel, mint a Gauss profil, de az eredményei (már a forrástól kis távolságra) is jóval pontosabbak. A modell a kibocsátás során a légkörbe került szennyezőanyagokat külön kezeli a következő hatásokat figyelembe véve: emisszió, advekción, függőleges és vízszintes diffúzió, ülepedés és radioaktív bomlás – matematikailag, mint elsőrendű kémiai reakció. A Lagrange-típusú box-modell megadja, hogy a légáramlásokkal együtt mozgó, térben homogén összetételűnek feltételezett elemi légrések – box-ok – termodinamikai állapota és helyzete hogyan változik az időben.

A program minden időlépésben kiszámítja a légkörben lévő részecskék aktuális koordinátáit, és az adott helyen érvényes meteorológiai és talajborítottsági viszonyoknak megfelelően kezeli, továbbá megvizsgálja, hogy adott időlépés alatt kiülepedik-e, esetleg elbomlik-e a vizsgált részecske. A modell egy 60×60 km kiterjedésű területen végzi a számításokat, melynek közepén helyezkedik el a Paksi Atomerőmű. A vonatkoztatási rendszerünk a vizsgált terület középpontjában, azaz az erőmű két tornya közötti pontban érvényes lokális keleti (x) irány, északi (y) irány és függőleges (z) irány. Egy futtatás során radionuklidok terjedésének 6 óráját szimuláljuk, a számítás időlépése 10 másodperc (a TREX működése az 1. ábrán tekinthető át). Ahogy az látható a program a megfelelő forrásból vett bemenő adatokból számítással állítja elő az almodelleket. Az almodellekből áll össze a terjedési és ülepedési modell, melyek eredményeként becsülni tudjuk a folyamatos és baleseti terheléseket. A kifejlesztett modell háromdimenziós, ezért az individuális részecske elmozdulását a három térkoordináta szerinti elmozdulás összegeként, azok szuperpozíciójaként határozzuk meg. A terjedés leírásához horizontális irányban az advekción determinisztikus értéke mellett a szélirány fluktuáción és a turbulens diffúzió sztochasztikus hatását is figyelembe vesszük. A rendszer időbeli változását egy közönséges differenciálegyenlet-rendszer megoldása szolgáltatja megfelelő kezdeti feltételekkel. Azonban egy futtatás során csupán egyetlen légcella útját lehet leírni, ezért a légcellák sztochasztikus szétválásából származó effektusok (a légszennyező csóva térbeli szerkezete) figyelembevételéhez több szimuláción szükséges. A megnövekedett szimulációs szám erős hardveres támogatást igényel, ezért a fejlesztés során a számolási teljesítmény kiemelt szerepet kapott.

Az új szoftver két, illetve többmagos processzorral szerelt, nagy teljesítményű számítógépen fut, Windows XP operációs rendszer alatt. A másik legfontosabb innováción a CUDA technológiával készített VGA vezérlő alkalmazása, mely a hagyományos videokártyákkal ellentétben nem „egyszerű” vertex és pixel shader processzorokkal számol, hanem olyan univerzális célprocesszor egységekkel, melyek az új modell speciális számolási feladataira szabványos C nyelven programozhatók. A jelenlegi 3D VGA kártyán 128 darab célprocesszor van, de a későbbi kártyák megjelenésével, ill. olcsóbbá válásával nyitott az út az egyszerű további fejlesztés felé (csak a VGA kártya cseréje szükséges). A légkör 3 dimenziós modellezése épp megfelel e kártyák (egyébként számítógépes játékokhoz kialakított) profiljának, de a jelentős számolási teljesítményt mi a Lagrange-típusú modellek gyors futtatásához használjuk.

1. ábra A TREX input, output adatai, valamint moduljai



Egy korszerű CPU és az általunk is alkalmazott CUDA grafikus kártya teljesítményének összehasonlításakor a következő számítási és sebességbeli különbségeket tapasztalhatjuk (1. táblázat).

1. táblázat: *: A FLOPS a másodpercenként elvégezhető lebegőpontos műveletek számának mértékegysége (Floating point Operations Per Second, GFLOPS = 109 FLOPS).

Processzor	Számítás (GFLOPS)*	Memória sávszélesség (GB/s)
Intel Core 2 Duo 3 GHz	48	21
NVIDIA 8800 GTX	330	55,2

A CUDA technológiával készült Nvidia VGA vezérlők egymással összekapcsolhatók, így a költséghatékony szuperszámítógépek egyik korszerű alternatíváját kínálják.

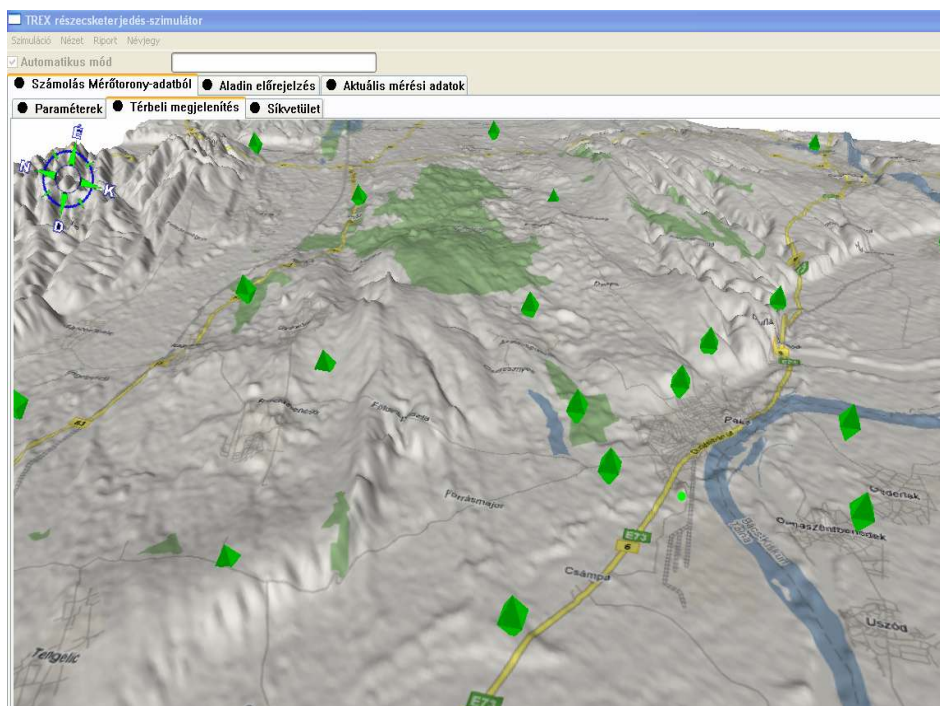
A TREX másik fontos tulajdonsága az, hogy az időjárási adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálatnál futtatott ALADIN (Aire Limitée Adaptation dynamique Développement InterNational) előrejelző rendszerből veszi. Az előrejelzés mellett természetesen lehetőség van a lokálisan pontosabb adatot szolgáltató meteorológiai torony adatainak használatára is.

A TREX úgy működik együtt a PAE informatikai rendszerével, hogy onnan a forrásadatokat az időjárási fájlokhoz hasonlóan automatikusan hívja meg, operátori beavatkozás nem szükséges. Szintén automatikus funkció a jelentésformátumok kitöltése (gyakorlatokon, normálüzemi és esetleges baleseti helyzetben is), melyek így külön beavatkozás nélkül küldhetők a hatóságoknak és az érintetteknek.

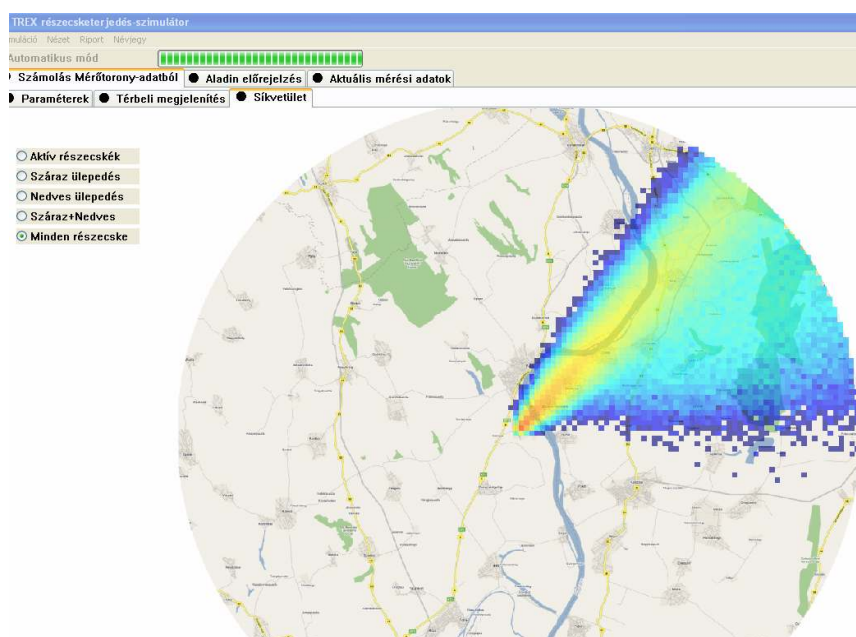
A szoftver adatbázisait az új UNSCEAR 2006 riport alapján töltjük fel. Az UNSCEAR honlapja (www.unscear.org) szerint ennek várható megjelenési ideje 2008 első fele.

A grafikus megjelenítés szintén igazodik az igényekhez: sematikus ábrázolás helyett a csóva megjelenítésére háromdimenziós bebarangolható térképet használhatunk (2.-3. ábra), amelynek számítási részletessége szintén jóval nagyobb, mint a hazai baleset-elhárítási gyakorlatban elterjed rendszereké.

2. ábra A TREX program barangolható domborzati térképe



3. ábra A TREX síkvetülete a szinkódos radioaktív csóvával



Az új szoftver bevezetése folyamatosan, lépésenként történik. Jelenleg egy offline, de működőképes verzió van birtokunkban, melyen a programozás és a használhatóság tesztelhető. A BALDOS ezért még üzemel, a gyakorlatokon és összeméréseken ezt használjuk. Teljes kiváltása az új szoftverrel remélhetőleg még 2008-ban megvalósul. Ezután legalább egy balesetelhárítási gyakorlaton szeretnénk együtt működtetni a két szoftvert, hogy képet kapjunk arról, milyen eltérést mutatnak a végeredményekben.

IV. ÖSSZEFOGLALÁS

Az ismertetett fejlesztési munka során egy olyan terjedésszámító rendszer készül amely nagyobb pontosságú, térben és időben részletesebb eredményeket képes szolgáltatni, mint a hazai gyakorlatban használt rendszerek bármelyike. Ezt az alkalmazott fejlett elméleti háttérén túl elsősorban a szoftveres kialakítása és a speciális 3D-s hardver megoldás biztosítja. A kiskereskedelemben elérhető grafikus vezérlők használatával értük el azt, hogy a fejlesztés és beruházás költségei is messze alatta maradnak az erőmű előző on-line terjedésszámító rendszerének árától.

Az új terjedésszámító szoftver fejlesztése és bevezetése az ütemterv szerint halad. A szoftver offline változata már működik, tesztelés alatt áll. Az atomerőműben használatban lévő régi és új terjedésszámítási módszerek összevethetőségéhez egy jövőbeni átfogó vizsgálatot tervezünk, mely feltárja a két rendszer egymáshoz viszonyított eltérését, az adatok birtokában pedig meghatározható az új szoftver önálló alkalmazásának minden körülménye.

Összegzésképpen megállapíthatjuk, hogy a terjedésszámító rendszer átalakítása ezzel az új szoftverrel megnyitja a lehetőséget a hazai balesetelhárítás számára az olyan korszerű számítási, modellezési módszerek alkalmazása előtt, melyek megfelelnek a jelenkor legszigorúbb szakmai követelményeinek is.

IRODALOM

- [1] Ács, F., 2004: A talaj-növény-légkör rendszer modellezése a meteorológiában: A növényi párolgás és a talaj kapcsolata, ISBN 963 463 719 1, Budapest, 117 o.
- [2] Baklanov, A., Mahura A, Jaffé D., 2002: J. Env. Rad., 60 (1-2), 23–48.
- [3] Brandt, J., 1998: Modelling transport, dispersion and deposition of passive tracers from accidental releases, PhD. értekezés, Ministry of Environment and Energy National Environmental Research institute and Ministry of research and Information Technology Risø National Laboratory, Denmark, Roskilde
- [4] Brandt, J., Mikkelsen, T., Thykier-Nielsen, S., Zlatev Z., 1996: Mathl Comput. Modelling, 23, 99–115.
- [5] Bryall, D. B., Maryon, R. H., 1998: Atmospheric Environment, 32(24), 4265–4276.
- [6] Ehrhardt, J., Brown, J., French, S., Kelly, G. N., Mikkelsen, T., Müller, H., 1997: Kerntechnik, 62, 122–128.
- [7] Galmarini, S., Bianconi, R., Bellasio, R., Graziani, G., 2001: J. Env. Radioactivity, 57, 203–219.
- [8] Hágel, E., Ács, F., 2003: Légkör, 47 (1), 35–37.
- [9] Lagzi, I., Mészáros, R., Ács, F., Tomlin, A.S., Haszpra, L. and Turányi, T.: Időjárás (benyújtva)
- [10] Langner, J., Robertson, L., Persson, C., Ullerstig, A., 1998: Atm. Env., 32, 4325–4333.
- [11] Mészáros, R., Lagzi, I., Juhász, Á., Szinyei, D., Vincze, Cs., Horányi, A., Kullmann, L., Tomlin, A.S, 2006: Időjárás, 110 (3-4), 365–377.
- [12] Mikkelsen, T., Thykier-Nielsen, S., Astrup, P., Santabarbara, J. M., Sørensen, J.H., Rasmussen, A., Robertson, L., Ullerstig, A., Deme, S., Martens, R., Bartzis, J. G., Pasler-Sauer, J., 1997: Radiation Protection Dosimetry, 73, 45–56.
- [13] Práger, T., Baranka, Gy., Ács, F., Mészáros, R., Weidinger, T., 2000: A légszennyező anyagok transzmissziós szabványainak korszerűsítése I., II. Készült a Környezetvédelmi Minisztérium és az Országos Meteorológiai Szolgálat megállapodása alapján. Budapest
- [14] Saltbones, J., Foss, A., Bartnicki, J., 1998: Atmospheric Environment, 32(24), 4277–4283.
- [15] Sørensen, J. H., 1998: Atmospheric Environment, 32(24), 4195–4206.
- [16] Van Dop, H., Addis, R., Fraser, G., Giradi, F., Graziani, G., Inoue, Y., Kelly, N., Klug, W., Kulmala, A., Nodop, K., Pretel, J., 1998: Atm. Env., 32, 4089–4094.
- [17] Vincze, Cs., 2006: Baleseti kibocsátási modell fejlesztése és operatív alkalmazása, diplomamunka, ELTE Meteorológia Tanszék
- [18] Wendum, D., 1998: Atm. Env., 32, 4297–4305.
- [19] Whicker, F. W., Shaw, G., Voigt, G., Holm, E., 1999: Environmental Pollution, 100, 133–149.
- [20] Kanyár Béla, Marc de Cort, Nényei Árpád: Nukleárisbaleset-elhárítás telephelyen kívül, Egyetemi jegyzet, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2004.