

Modellek és számítások a paksi atomerőmű környezetébe kerülő esetleges üzemzavari radionuklid kibocsátás meghatározására

Doktori értekezés tézisei

Nagy Attila

tanácsos

matematika-fizika-számítástechnika tanár



Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar
Környezettudományi Doktori Iskola

Iskolavezető:

Galács András egyetemi tanár

Környezetfizika program

Programvezető:

Ungár Tamás

készült a **Magyar Tudományos Akadémia
Energiatudományi Kutatóközpontban**



Témavezető:

Hózer Zoltán

tudományos főmunkatárs

Sugárvédelmi konzulens:

Deme Sándor

tudományos főmunkatárs

Budapest, 2013

BEVEZETÉS

Az atomerőművekben működésük során szükségszerűen radioaktív anyagok keletkeznek, amelyek potenciális veszélyt jelenthetnek a környezetre. Az erőmű több védelmi gáttal is rendelkezik a környezeti kibocsátás megakadályozására, illetve csökkentésére. Üzemzavari állapotokban a belső védelmi gátak megsérülhetnek, ilyenkor a hermetikus tér jelenti az utolsó gátat a környezet felé. Az erőműből kikerülő radioaktív anyagok mennyiségének és összetételének meghatározásához számítógépes kódok segítségével részletesen modellezni kell a reaktort körülvevő hermetikus térben lejátszódó folyamatokat.

CÉLKITŰZÉS

A jelen dolgozat elkészítéséhez végzett munkám alapvető célja az volt, hogy – az MTA EK-ban korábban létrehozott számítógépes programok továbbfejlesztésével – olyan fizikailag korrekt modelleket hozzak létre, amelyek segítségével a paksi atomerőmű bizonyos üzemzavari esetén a lehető legpontosabb prognózis adható a környezeti terhelésre.

A téma ilyen módon való megvalósításának a fontosságát több szempont adja:

- Az atomenergia biztonságosabbá tételéhez fontos tudnunk azt, hogy milyen eseményekre, fizikai körülményekre kell az erőmű tervezésénél, üzemeltetésénél felkészülni, és ezeknek milyen következményi lehetnek a környezetre.
- Az hogy saját magunk készített alkalmazást használunk azzal az előnnyel jár, hogy a program fejlesztése közben sokkal mélyebb tudásra tehetünk szert. A szimuláció összes folyamatát részletesen ismernünk kell. Pontosabban ismerjük a modellek korlátait, esetleges új igény felmerülése esetén bele tudunk avatkozni a programba.
- A személyes motivációt az jelentette, hogy érdekelnek a fizikai folyamatok számítógépes szimulációi. Akkor lehet ilyen programokat jól írni, ha a folyamat fizikáját jól értjük, és a programozás alapjait is elsajátítottuk. A számítástechnikai szakon készített diplomamunkám is fizikai szimuláció volt, igaz, az teljesen más jellegű, geometriai optikával foglalkozott.

A KUTATÁS FOLYAMATA

Kiindulásnak az intézetünkben írt HERMET programot használtam. Ez egy hermetikus teret modellező eszköz. Ennek a programnak a főbb fizikai modelljeit vizsgáltam meg, és ahol a fizikai modellek részletesebb leírása, vagy a jelenlegi számítástechnikai lehetőségek indokolták, az eredeti modelleket továbbfejlesztettem, vagy új modellt hoztam létre. A HERMET program a konténment faláig modellez, így ki kellett egészítenem további modellel a környezet irányába.

Az általam létrehozott, vagy javított fizikai modellek a dolgozat írásának idején a meglehetősen különböző állapotban vannak.

A reaktorcsarnok-modellt nemzetközi folyóiratban publikáltam, az új gőz-víz-levegő állapotot számoló algoritmust nemzetközileg jegyzett programmal verifikáltam, de van olyan modell – pl. a falak hővezetését számoló – amely működésnek alapötlete megvan, a modell működik, de ebben a pillanatban még a validációja idő hiányában nem történt meg.

Léteznek külön számoló terjedési modellek, de szerintem az óriási előny lenne, ha egy integrált sokszínű paraméterezhető program valósulna meg, ami képes a radioaktív anyagok útját végig követni a fűtőelemből a primerkörü vízbe történő kiszivárgásuk után a hermetikus térbe, onnan a reaktorcsarnokba, majd a kéményen keresztül a környezetbe. Egy ilyen alkalmazás használata esetén jobban lehetne vizsgálni a különböző eseteket anélkül, hogy a különböző programok input/output fájlainak rejtelvei vinnék el a programot használó kutató idejét, illetve jól alkalmazható lenne egy baleseti szimulátorban.

A doktori munkámban azt a megközelítést használtam, hogy a HERMET program egyes fizikai modelljeit vizsgálom és ezeknek a működését hasonlítom egy elfogadott programhoz (vagy más módon ismert eredményhez, pl. gőztáblázatokhoz), lehetőleg úgy hogy az éppen aktuálisan vizsgált modell magában működjön.

A gőz-víz-levegő állapotot számoló függvényt vizsgáltam részletesen, a gőztáblázatokhoz hasonlítva. A felmerült problémák miatt új algoritmust dolgoztam ki, melyet egy nódusos rendszeren a nemzetközileg elismert és a konténmentben lejátszódó folyamatok szimulációjára széleskörűen használt CONTAIN kód eredményeihez hasonlítok.

Ezen vizsgálatok közben derült ki, hogy a HERMET nem számolja a térfogati munkát, ennek számítására is eljárást készítettem, amit ugyancsak a CONTAIN futásokhoz hasonlítottam.

A következő vizsgált modell a falak hővezetésének számítása. Az akkori számítástechnikai körülmények miatt használt analitikus megoldást és bonyolult fal-nodalizációt megváltoztattam. Az új falmodell egyszerűbb, mint a régi, és az új numerikus megoldás pontosabban modellezi a falakat érő energiahatásokat és képes két fázissal működni.

A reaktorcsarnok modell kiegészítése a HERMET programnak, itt a hermetikus térből történő szivárgásokat vizsgáltam, a következő jelenségek figyelembe vételével:

- a hermetikus téren kívüli erőművi helyiségek puffer hatása,
- az ezekben történő radioaktív bomlás,
- a szellőzés, a légcseré hatása,
- az aeroszol szűrés.

A reaktorcsarnok modell felhasználásával megvizsgáltam, hogy az üzemanyag sérülés bekövetkezésének kezdő ideje milyen hatással van a kibocsátásra. Ennek jelentőségét az adja, hogy a hermetikus térben nem feltétlenül akkor sok az üzemanyagból kikerülő hasadási termék, amikor a környezet felé való szivárgás feltételei adottak.

EREDMÉNYEK

A HERMET programban található fizikai modelleket megvizsgáltam és továbbfejlesztettem:

- A HERMET gőz-víz-levegő állapot számoló program algoritmusát átdolgoztam, az algoritmust a CONTAIN kód segítségével ellenőriztem.
- A HERMET kódhoz térfogati munkát számító részt készítettem, ezt a CONTAIN kódhoz hasonlítottam sikeresen.
- A HERMET programban található fal modell helyett újat dolgoztam ki, az új modell egyszerűbb működésű, de több szempontból – két fázis, hőszugárzás számítás - többet tud, mint a régi.

A környezet felé a hermetikus térből lehetséges szivárgás az erőmű egyéb helyiségein keresztül. Ennek a szivárgásnak a modellezéséhez reaktorcsarnok modellt hoztam létre. Ezt a modellt több üzemzavarra alkalmaztam, három kiválasztott, sugárvédelmi szempontból jelentős izotópra

Az új reaktorcsarnok modell segítségével vizsgáltam az üzemanyag sérülés kezdeti időpontjának hatását a kibocsátásra. Ezt több késleltetési időtartamra vizsgáltam 0 és 60 s

között, az eredményeket mind grafikusán, mind táblázatos formában feldolgoztam, valamint elemeztem a korábbi számításoktól való eltérésük okát.

TÉZISEK

1. Megállapítottam, hogy a HERMET kód milyen feltételek teljesülése mellett, és milyen mértékben alkalmazható kielégítő pontossággal a különböző méretű csövek (73 mm-492 mm) esetleges törése esetén történő hűtőközegvesztéses üzemzavarok számítására. Megállapítottam, hogy a nódusok állapotát leíró paraméterek és a falmodell pontosságának növelésére van szükség.
2. Algoritmust dolgoztam ki a levegő-gőz-víz rendszert számító állapotfüggvény megfelelő pontosságú számítására.
3. A nódusokra jellemző integrális adatok számítását kibővítettem az egyes nódusokban bekövetkező térfogati munka meghatározásával.
4. Új fal hővezetés modellt hoztam létre, amely részletesebben modellezi a falban lejátszódó termodinamikusan folyamatokat, amely számításba tudja venni, hogy különböző halmazállapotú közegek lehetnek a fallal hőkapcsolatban, valamint a fal felületén történő termodinamikai folyamatokat is tekintetbe veszi. Igazoltam, hogy az átalakított modell alkalmas a hosszan tartó – és így környezeti hatásaikban nem elhanyagolható – LOCA folyamatok számítására.
5. Új modellt hoztam létre a reaktorcsarnok hígító-, szűrő- és visszatartó képességének szimulációjára, mely a hermetikus térből történő üzemzavari szivárgás útját követi egészen a környezetig, az erőmű valós geometriai elrendezésének és technológiai megoldásainak megfelelően.
6. Az új reaktorcsarnok modell segítségével meghatároztam a törés méretének és a fűtőelemsérülés kezdeti időpontjának hatását a kéményen keresztül történő környezeti kibocsátásra.

A TÉMAKÖRBE PUBLIKÁLT KÖZLEMÉNYEK, ELŐADÁSOK

Folyóirat cikkek:

Attila Nagy, Zoltán Hózer, János Sebestyén Jánosy: **Modelling of VVER-440/213 hermetic rooms in training simulator**, Annals of Nuclear Energy Volume 55, May 2013, Pages 272–278

Attila Nagy, Sándor Deme, Zoltán Hózer: **Activity emission model for VVER 440/213 reactor LOCA**, Annals of Nuclear Energy, Volume 62, December 2013, Pages 413–420

Konferencia előadás és közlemény:

Attila Madaras, Sándor Deme, Zoltán Hózer, Edit Láng, István Németh, Tamás Pázmándi and Péter Szántó: **A new simulation code for analyzing loss of coolant accidents in VVER-440/213 reactors concerning activity transport**, Proceedings of the 17th International Conference on Nuclear Engineering ICONE17 July 12-16, 2009, Brussels, Belgium, ICONE17-75306

EGYÉB KÖZLEMÉNYEK, ELŐADÁSOK

Magyar nyelvű

Nagy M., Nagy A.: Indentációs (félmikro-)módszer lágy rugalmas anyagok mechanikai tulajdonságainak jellemzésére
Magyar Kémiai folyóirat, 102 427 (1996)

Nagy A., Nagy M., Kovács P.: Tökéletesen orientált forgási ellipszoid (prolát) alakú részecskék hatása deformált poli(vinil-alkohol) membránok izotropizációjára.
Magyar Kémiai Folyóirat, 102 438 (1996)

Nagy Attila, Sági László: Útvonal monitorozás
XXI. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Keszthely, 2006. május

Nagy Attila: Elvesztett forrás keresése
XVI. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Keszthely, 2001. május

Anrasi Andor, Beleznaý Frenccné, Nagy Attila, Urbán János, Zombori Péter Radioaktív izotópok ember szervezetben történő meghatározására létesített egyszteszszámláló

mérőrendszer tovább fejlesztése, egységes mérő és kiértékelő szoftver kifejlesztése és az új mérőrendszer kalibrálása. OMFB szerződés 1994

Nagy Attila, Andrási Andor, Belsőszugárterhelés meghatározásának elvi alapjai 2000 a KFKI AEKI-ben

Angol nyelvű

Nagy A., Balásházy I., Hegedűs Cs., Vértes P., and Hofmann W. (1999) Deposition densities of radioaerosols in human and rat lungs. IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Budapest, Hungary, August 22-27. Book of Abstracts 126.

Nagy A., Balásházy I., Hofmann W., and Lőrinc M. (1999) Quantification of expiratory deposition patterns of radioaerosols in the upper human airways. IRPA Regional Congress on Radiation Protection in Central Europe, Budapest, Hungary, August 22-27. Book of Abstracts 127.

Balásházy I., Hegedűs Cs., Vértes P., Szabó P.P., Lőrinc M., Andrási A., Nagy A., Láng E. and Hofmann W. (1999) Quantification of local particle deposition patterns of inhaled aerosols in the human lung. KFKI Atomic Energy Research Institute, Progress Report on Research Activities in 1999. Budapest, March 2000, 61.

Nagy A., Hegedűs Cs., Vértes P., Láng E., Lőrinc M. and Szabó P.P (1999) Characterisation of expiratory aerosol deposition patterns in human airway bifurcations. J. Aerosol Sci. 30, S1, 725-726.

Nagy A., Lőrinc M., Láng E., Vértes P., Hegedűs Cs., and Szabó P.P (1999) Comparison of local deposition densities of inhaled aerosols in human and rat airways. J. Aerosol Sci. 30, S1, 727-728.

Nagy A., Szabó P.P., Hegedűs Cs. and Vértes P. (1999) Deposition densities of radioaerosols in human and rat lungs. IRPA Regional Congress, Radiation Protection in Neighbouring Countries of Central Europe, Budapest, 22-27 August, 1999, Proceedings 447-456.

Nagy A., Szabó P.P., Hegedűs Cs. and Lőrinc M. (1999) Quantification of expiratory deposition patterns of radioaerosols in the upper human airways. IRPA Regional Congress, Radiation Protection Neighbouring Countries of Central Europe, Budapest, 22-27 August, 1999, Proceedings. 457-466.