XI. FIATAL MŰSZAKIAI TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAK

Kolozsvár, 2006. március 24-25

A PMK-2 KÍSÉRLETI BERENDEZÉS MODELLEZÉSE AZ ASTEC KÓDDAL

Tarczal Lajos

The PMK-2 facility - a scaled-down model of the Paks Nuclear Power Plant equipped with VVER440/213-type reactors - originally was designed for investigating loss of coolant accidents (LOCA) and to supply experimental data for computer code validations. It is a full pressure model of the plant with a volume and power scaling of 1:2070, located in the KFKI Atomic Energy Research Institute. In my work I built the thermal-hydraulic model of the PMK-2 facility in ASTEC code. The applied code ASTEC v1.1 has been developed by GRS(Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit) and IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) for deterministic investigation of severe accidents in nuclear power plants. The elementary aim of the investigations was to validate CESAR, the thermal-hydraulic modul of ATSEC with comparing to the experimental data (published and can be accessed in the databases of IAEA) and the results of APROS PMK-2 model. The selected case was 7,4% cold leg small break loss of coolant accident.

A PMK-2 (**Primerkőri Modell Kísérlet**) berendezés a paksi VVER-440/213 típusú atomerőművi blokk primer körének 1:2070 térfogat- és teljesítményleptékű integrális modellje, mely a KFKI-Atomenergia-kutató Intézetben található. Munkám során megépítettem a PMK-2 kísérleti berendezés termohidraulikai modelljét az ASTEC (Accident Source Term Evaluation Code) kód segítségével. Az alkalmazott ASTEC v1.1 program a GRS (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit) és az IRSN (Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire) intézetek által atomerőművi súlyos balesetek determinisztikus elemzésére kifejlesztett rendszerelemző eszköz. A modellel végzett vizsgálatok elsődleges célja az ASTEC kód termohidraulikai moduljának - a CESAR-nak - a validációja a PMK-2 kísérleti berendezésen végzett, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) adatbázisában hozzáférhető kísérletekkel (SPE, **S**tandard **P**roblem **E**xercise) ill. az eredmények összevetése az APROS (**A**dvanced **P**rocess **S**imulator) kóddal felépített PMK-2 modell eredményeivel. A validációs számításokat 7,4%-os (kis méretű) hidegági hűtőközegvesztéses üzemzavar (SBLOCA) esetére végeztem el.

AZ ASTEC KÓD

Az ASTEC: **A**ccident **S**ource **T**erm **E**valuation **C**ode az IRSN és a GRS kutatóintézetek együttműködésében nyomottvizes és forralóvizes blokkokra 1996 óta fejlesztés alatt álló súlyos baleseti forrástag meghatározó, integrált kód. Az erősen moduláris szerkezetnek köszönhetően lehetőség van ún. „stand-alone” futtatásra, elsősorban ha validációs számításokat végzünk egy adott modellen. Ennél gyakoribb eset, amikor egyszerre több modullal ún. „coupled” futtatást végzünk. Ekkor ezek egyidejűleg futnak és folyamatosan kapcsolatban vannak az adatbázissal. Munkám során a CESAR modullal dolgoztam, mely a primer kör termohidraulikai folyamatainak számításáért felelős. Ebből

kifolyólag megtalálható benne az összes rendszerelem, ami egy atomerőművi hűtőkör modellezéséhez szükséges.

A PMK-2 KÍSÉRLETI BERENDEZÉS

A PMK-2 berendezés a Paksi Atomerőmű VVER-440/213-típusú reaktorának 1:2070 térfogat- és teljesítményleptékű integrális rendszer-termohidraulikai modellje. (5.-6. ábra) A berendezés munkaközege víz, erőművi nyomáson és hőmérsékleten, tehát a vizsgált tranziensek névleges működési állapotból indíthatók. A magasságok 1:1 arányban lettek modellezve, az alsó keverőtér és a térfogatkompenzátor kivételével. Egy erőművi blokk hat primer körű hurkát egyetlen aktív hurok reprezentálja. A zónamodell 19 elektromosan fűtött rúdból áll, melyeknek axiális és radiális teljesítmény-eloszlása egyenletes. A PMK-2 főkeringtető szivattyúja biztosítja a névlegesnek megfelelő forgalmat, azonban nem működtethető kétfázisú áramlás esetén, ezért egy megkerülő vezetékben helyezkedik el. A szivattyúkifutást egy szabályozó szelep zárásával modellezzük. A zóna-üzemzavari hűtőrendszerek (ZÜHR) közül az erőművi négy hidroakkumulátort két tartály szimulálja, amelyek az erőműhöz hasonlóan a gyűrűscsatornába és a felső keverőtérbe fecskendeznek.

1. ábra: A PMK-2 axonometrikus ábrája[2]

The PMK-facility

AZ SPE-2 KÍSÉRLET

A primer hűtőközeg-vesztéssel járó üzemzavar (Loss of Coolant Accident, LOCA) nyomottvízes atomreaktorok esetén a primer kör mechanikai sérülésének (pl.:csőtörés) következtében alakulhat ki. A kísérlet peremfeltételei:

- 3 mm-es (7,4%-os) hidegági csőtörés a gyűrűscsatorna felső szakaszán
- A kísérlet indítása névleges, 100%-os teljesítményről
- Hidroakkumulátor befecskendezés rendelkezésre áll (2 db hidroakkumulátor)
- A nagynyomású zóna üzemzavari hűtőrendszer (ZÜHR) rendelkezésre áll
- A tranziens kezdete után a szekunder kör izolálásra kerül a megfelelő szelepek zárásával

A PMK-2 BERENDEZÉS ASTEC MODELLJE

2. ábra A PMK-2 berendezés nodalizációs sémája az ASTEC-ban

A dolgozat keretében elkészítettem a PMK berendezés ASTEC modelljét a kód CESAR moduljában lévő elemek felhasználásával. A berendezés nodalizációjának megalkotását az APROS kóddal épített PMK modellt alapul véve kezdtem el. A séma tartalmazza a berendezés primer hűtőkörét, a térfogatkompenzátort, a két hidroakkumulátort és a gőzfejlesztőt. A szekunder oldali illetve az üzemzavari rendszerek hatásait peremfeltételként vettem figyelembe. A modellépítés során törekedtem arra, hogy létrejöjjön egy kompromisszum a számítási idő és a pontosság tekintetében. A modell paramétereit úgy állítottam be, hogy a stacionárius állapotban számított jellemzők a primer illetve a szekunder oldali mérési adatokkal mutassanak egyezést.[3]

A VIZSGÁLT TRANZIENS ASTEC SZIMULÁCIÓJÁNAK EREDMÉNYE

Az üzemzavar kezdetén a primer körí nyomás (3.ábra) gyorsan a szekunder oldali nyomás közelébe csökken. A primer körí hűtőközeg telített állapotba kerül, így a zóna hőtermelése, valamint a további nyomáscsökkenés miatt megjelenik a gőzfázis, amely a reaktor felső részén, a kupolában gyűlik össze. A kupolában lévő gőz nyomása a melegági csomópont szintjére szorítja le a reaktor vízszintjét, aminek következtében kétfázisú áramlás alakul ki a melegágban. Ezt követően a melegági vízzár leürül. A gőzfejlesztő hidegágában is csökken a vízszint, majd a hidegági vízzár megszűnése után a törésen már gőz áramlik ki, ami jelentős nyomáscsökkenéshez vezet. A nyomáscsökkenés hatására a hidroakkumulátorok betáplálása intenzívebbé válik, így a zóna ismét feltelik vízzel. A tranziens elején a zóna felső részének kiszáradása rövid ideig bekövetkezhet, azonban a burkolathőmérsékletek a megengedett érték (1200°C) alatt maradnak. A folyamat elején a gőzfejlesztő szekunder oldali nyomás (4.ábra) nő. Ez azzal magyarázható, hogy a törést követően a gőzfejlesztőt 4 másodperc alatt kizakaszoljuk a megfelelő szelepek zárásával, viszont a magasabb hőmérsékletű primer víz továbbra is fenntartja a gőzfejlődést a szekunder oldalon. A keletkezett gőz, mivel csak a biztonsági szelepen képes távozni, növeli a szekunder oldal nyomását. A nyomásnövekedésnek a gőzfejlesztő biztonsági szelepeinek nyitása szab határt, amely a tranziens alatt mindössze egyszer nyit ki. Összehasonlítva az ASTEC, APROS és a kísérleti eredményeket meglehetősen jó egyezést tapasztalhatunk figyelembe véve, hogy az ASTEC fő profilja a zónadegradáció, a konténment-termohidraulika, a hasadási termék transzport ill. a zónaolvadék-beton köcsönhatás vizsgálata.

3. ábra: Primerköri nyomás alakulása [3]

4. ábra: Szekunderköri nyomás alakulása [3]

ÖSSZEFOGLALÁS

A dolgozat keretében elkészítettem a PMK berendezés ASTEC modelljét a kód CESAR moduljában lévő elemek felhasználásával. Ezt követően a CESAR modul validációs számításait végeztem a PMK-2 berendezésen lefolytatott SPE-2 kísérletsorozat eredményeivel. A bemutatott kódvalidációs munka hozzájárul a nemzetközi együttműködésben (Severe Accident Research Network, SARNET) zajló ASTEC kódfejlesztéshez. A következő hónapokban diplomaterv keretében az ASTEC kód segítségével a már meglévő VVER-440/213-as rendszermodellel kapcsolatos számításokkal illetve a modell továbbfejlesztésével fogok foglalkozni.

Felhasznált irodalom:

- [1] L. Szabados.: PMK-2 HANDBOOK, Technical Specification of the Hungarian Integral Test Facility for VVER-440/213 Safety Analysis. KFKI Atomic Energy Research Institute. Budapest, 1996. TIERSDI/4NT/2459/41.
- [2] Simulation of a Loss of Coolant Accident with Hydroaccumulator Injection. Results of the Second Standard Problem Exercise on the Simulation of a LOCA. IAEA-TECDOC-477, Vienna, 1988.
- [3] Csige A., Tarczal L., Légrádi G., Dr. Aszódi A.: Analysis of a PMK-2 test using ASTEC v1.0 module CESAR, Progress Report, Budapest 2005

Tarczal Lajos hallgató

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem; 1111 Budapest Műegyetem rkp. 3.

Telefon: +36-70/228-1538; E-mail: tarczal@reak.bme.hu