FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2002. március 22-23.

NYOMÁS ALATTI HŐÜTÉS 3D VÉGESELEMES MODELLEZÉSE

Tatár Levente

Fekete Tamás

PTS (Pressurised Thermal Shock) phenomenon is being analysed using 3D finite element calculations. Main factors which could cause catastrophic failure are being identified and discussed.

Atomerőművekben a villamos energia termeléséhez szükséges hőenergiát az úgynevezett aktív zóna termeli. Az energiatermelő aktív zónát egy speciálisan erre a célra kialakított tartályban, a reaktortartályban helyezik el. A reaktortartály vázlatos rajza az 1. ábrán látható. A vázlaton nem

tüntették fel az üzemzavari beömlőcsonkokat, a tartály feltámasztási rendszerét és a tartály fedelét. Az aktív zóna hűtését, egyszersmint a keletkezett hő elszállítását az ipari gyakorlatban nagy nyomású ($p \approx 12.0 \div 16.0$ MPa) és magas hőmérsékletű ($T \approx 270 \div 350$ °C) víz végzi zárt rendszerben, az ún. primerkörben. A primerkör a gőzfejlesztőkben adja át a hőt a szekunder körnek, itt jön létre az elektromos energia termelésére felhasznált gőz. Különálló primerkör létezését az indokolja, hogy az aktív zónából kilépő anyagok sugárveszélyesek, amelyek nem juthatnak a szabadba. Abban az esetben, ha a primerkör valamilyen módon megsérül, és a nyomás hirtelen lecsökken, fennáll a veszélye annak, hogy a fűtőelemeket körülvevő víz elgőzölög, a fűtőelemek szárazon maradnak, és zónaolvadás következik be. A zónaolvadás elkerülésére ilyenkor nagy mennyiségű hideg üzemzavari hűtővizet pumpálnak a reaktortartályba. A fenti forgatókönyv jelentős veszélyt jelent a tartály épségére, ugyanis az üzemzavari hűtőközeg sokkal hidegebb a tartályban normál üzemi körülmények között keringő víznél. A tartály fala a nagy

1. ábra: Reaktortartály vázlata

méretek és a jelentős belső nyomás miatt igen vastag ($s \approx 150 \div 250$ mm), ezért az intenzív hűtés hatására nagy hőmérsékletkülönbségek alakulnak ki benne, ami jelentős tranziens hőfeszültségekhez vezet az esemény során.

A tartály falában ébredő viszonyokat végeselemes módszerrel vizsgáljuk, mert a hőmérséklet- és nyomásváltozás hatására benne kialakuló hőfeszültségek eloszlása bonyolultabb annál, mint amit analitikus módszerekkel kellő pontossággal kezelni lehet.

Tekintettel a tartály geometriájára, a számításokat kétféle modellen végezzük el:

- Egyszerűsített axiálszimmetrikus modell (2D modell)
- Teljes 3 dimenziós modell (3D modell)

A valós helyzetet igen pontosan közelítő eredményeket adnak a valódi 3 dimenziós számítások, viszont nagyságrendi becslésekre, valamint a csonkzónától távol eső vizsgálatokra az axiálszimmetrikus modellek is jól használhatók.

Végeselemes modellezés szempontjából a 2D és a 3D számítás idő- és helyigénye között nagyságrendbeli különbség van. Ez azt jelenti, hogy a 3D számítások jelenleg csak viszonylag kis elemszámmal végezhetőek el, a reaktor részletekbe menő 3D modellezése számítástechnikai korlátok miatt igen nagy nehézségekbe ütközik.

A modellezés során bizonyos elhanyagolásokkal élünk, melyeknek jogosságát számításokkal igazolni kell.

2. ábra: Modellezésnél használt anyagok az üzemszabari víz beömlőcsonkjánál

A vizsgálatok során a következő problémákkal kerülünk szembe:

- A reaktortartály több darabból készített hegesztett szerkezet. Az üzemszabari beömlőcsonk környezetének anyagai a 2. ábrán láthatók. Az alapanyag nagyszilárdságú ferritikus, erősen ötvöztött acél.
- A tartály belső felülete a korrózió elkerülése érdekében hegesztéssel felvitt rozsdamentes plattírozással van bevonva.
- Az anyagok különböző hőtani (hővezetési tényező, hőkapacitás), mechanikai és törésmechanikai tulajdonságokkal és különböző hőtágulási együtthatóval rendelkeznek.
- A hegesztések során létrejön egy ún. hőhatási övezet, amelynek tulajdonságai különböznek az alapanyagétól.
- A hűtés során fellép az ún. hideg nyelv effektus is,

ami azt jelenti, hogy a hideg beömlő víz nem oszlik el rögtön egyenletesen a teljes térben, hanem a reaktortartály fala mentén nyelvhez hasonló alakban folyik le. [2]

A reaktortartályok legveszélyesebb övezetei:

- A hideg hűtővíz betáplálására szolgáló csonkok zónái, mivel geometriai kialakításukból következően bennük jelentős feszültségkoncentráció lép fel, ugyanakkor a beömlő víz itt a leghidegebb.
- Az aktív zóna körül elhelyezkedő hegesztési varratok, ugyanis a varratanyagok mechanikai tulajdonságai kedvezőtlenebbek a tartály építésére egyébként használt anyagok tulajdonságainál, és a neutronsugárzás hatására bekövetkező ridegedés is itt a legintenzívebb.

A modell építése során úgynevezett moduláris technikát alkalmazunk. [2] Ez azt jelenti, hogy a modell részeit egységenként (modulonként) fejlesztjük ki, az egységeket önállóan teszteljük, majd a

teljes modellt megfelelő szabályok alapján a részegységekből építjük fel. A részegységek tervezésekor természetesen figyelembe vesszük a megfelelő illeszkedési körülményeket. A modell fejlesztésénél újdonságként felhasználtuk a MARC végeselemes rendszer azon szolgáltatását, amely lehetővé teszi, hogy a modulok illesztéseinél inkompatibilis hálózást alkalmazzunk. [1] A kompatibilis és inkompatibilis hálózás közötti lényeges különbség az, hogy kompatibilis hálózás esetén az egyes elemek kizárólag csomópontban találkozhatnak, míg inkompatibilis hálózás esetén ez a feltétel nem szükséges. (3. ábra)

4. ábra: Hőmérsékleteloszlás a tartályfal övezőnjában a csóvahatás figyelembevétele nélkül

3. ábra: kompatibilis és inkompatibilis hálózás

Az inkompatibilis hálózás lehetőséget teremt arra, hogy a modell kritikus részein a hálózást a számítás előírta követelményeknek megfelelően finomítsuk, anélkül, hogy más modulokban azt csupán a kompatibilitás megőrzésének érdekében, de a számítás szempontjából feleslegesen finomítani kellene. Ezt a lehetőséget a gépi erőforrások hatékonyabb kihasználása érdekében alkalmazzuk a modellezés során. Ez a technika teszi lehetővé azt

is, hogy a modellbe a próbaszámítások tapasztalatai alapján utólag vigyünk be repedésmodellt, anélkül, hogy ez a modell többi részén kialakított hálózás átalakítását igényelné.

Mivel a teljes rendszer egységes egészként való számítása a jelenleg rendelkezésünkre álló számítógépparkkal nem oldható meg, az egyes részegységek közötti kölcsönhatást megfelelő peremfeltételek alkalmazásával vesszük figyelembe.

A szimuláció során a megfelelő anyagtulajdonságok és helyes peremfeltételek megadása nagyon fontos. Az anyagtulajdonságok az üzem közben fellépő igen erős neutronsugárzás hatására romlanak, az anyag ridegedik. A ridegedés mértékének meghatározására a KFKI-ban méréseket végeztünk, melyek eredményeit a számítások során felhasználtuk.

Jelenleg elkészült modulok: A kis és nagy beömlőcsonkok (üzemi és üzemzavari víz beömlőcsonkjai), valamint az övzóna a fenékrésszel együtt. A részmodellek tesztelés alatt állnak. A próbaszámítások eredményei a 4. 5. és 6. ábrákon láthatók. A modulokból álló modellezést megnehezíti az a tény, hogy

5. ábra: Hőmérsékleteloszlás a tranziens 100. [s]-ban a nagybeömlőcsonkon

6. ábra: Hőmérsékleteloszlás a nagybeömlőcsonknál a csővahatás figyelembevételével

a peremfeltételeket általában megadott csomópont- ill. elemszámokhoz kell kötni, éppen ezért fejlesztés alatt áll egy olyan program, mellyel a peremfeltételeket a végeleemes háló számozási sémájától függetlenül, pusztán az elem globális geometriai tulajdonságainak segítségével lehet megadni.

Irodalom:

1. MSC MARC Volume A: Theory and user information. Version 2001. pp. 4-34.
2. Fekete Tamás, Tatár Levente: MARC végeleemes modellek kifejlesztése a DBA elemzések számára. Jelentés. KFKI-AEKI Budapest, 2001. december

Tatár Levente

KFKI Atomenergia Kutatóintézet
Konkoly Thege M. út. 29-33.
Tel: +36 1 395 2222 / 3403
e-mail: tatar@sunserv.kfki.hu

Fekete Tamás

KFKI Atomenergia Kutatóintézet
Konkoly Thege M. út. 29-33
Tel: +36 1 395 2222 / 3403
e-mail: feketek@sunserv.kfki.hu