

Bírálat

Hózer Zoltán „Atomerőművi fűtőelemek integritása üzemzavarok és balesetek során” c.

MTA doktori értekezéséről

Az MTA Atomenergiakutató Intézetben (a jelenlegi Energiatudományi Kutatóközpontban) a 90-es években hozták létre a Fűtőelem és Reaktoranyagok Laboratóriumot elsősorban azzal a céllal, hogy megteremtsék a hazai kutatóbázist a nukleáris anyagok, köztük a fűtőelemek tulajdonságainak kísérleti vizsgálatához. A laboratóriumban több magas hőmérsékletű berendezés létesült, melyekkel a fűtőelemek viselkedését normál üzemi, üzemzavari és baleseti körülmények között is szimulálni lehet. A laboratóriumban meghonosított módszerekkel vizsgálták a paksi atomerőműben használt fűtőelem-burkolatokat, az E110 és az E110G, valamint a nyugati erőművekben használt Zircaloy-4 cirkónium ötvözeteket. A mérési eredmények segítségével a fűtőelem-gyártók által szolgáltatott információk kísérletileg ellenőrizhetők és egymással összehasonlíthatók, az eredmények felhasználhatók a fűtőelemek viselkedését leíró kódokban és a paksi atomerőmű biztonsági elemzéseiben.

Hózer Zoltán ennek a laboratóriumnak kezdetektől fogva a vezetője, a kutatási irány meghatározója és a fűtőelem-vizsgálatok nemzetközileg elismert szakértője. A doktori dolgozat tárgyának jelentősége nem kérdőjelezhető meg, aktualitását sajnálatos módon a 2003-as paksi súlyos üzemzavar is alátámasztotta.

Hózer Zoltán doktori értekezésében hat kutatási területet mutat be hat különálló fejezetben szisztematikusan, a célkitűzés megfogalmazásával, a kísérleti berendezés, az eredmények leírásával és a következtetések levonásával. A fejezetekhez egy-egy tézispont tartozik, mely az új tudományos eredményeket összegzi. A téziszűzetben külön fejezet foglalja össze a hat fejezetben bemutatott eredmények hasznosulását. Mindegyik kísérlet-sorozat ismertetése tömör, szakszerű, mégis a laikus olvasó számára is jól követhető.

Az **1. kutatási téma** tárgya a cirkónium fűtőelem-burkolatok magas hőmérsékleten bekövetkező felfűvódását és felhasadását befolyásoló körülmények vizsgálata, a burkolatok összehasonlítása. Hat kísérlet-sorozatban összesen 152 cirkónium mintadarab felhasadását vizsgáltak különböző körülmények (hőmérséklet, nyomás, oxid réteg vastagság, hőmérséklet- és nyomásnövelési sebesség stb.) között. Az 1. tézispontban megfogalmazott eredményeket új és fontos eredményeknek tartom, melyek kísérleti adatokat szolgáltatnak az orosz fűtőelem burkolatok magas hőmérsékleten lejátszódó felhasadásáról baleseti körülmények között. Fontosnak tartom továbbá, hogy ezeket a kísérleti adatokat a VVER specifikus fűtőelem viselkedési kódok használják.

Kérdés az 1. kutatási témával kapcsolatban: A felhasadási nyomás – hőmérséklet görbék alapján felállítható-e egy egyértelmű minőségi sorrend az orosz E110 és E110G, valamint a nyugati Zircaloy-4 burkolatok között a felhasadás tekintetében vagy a vizsgálati körülmények különbözősége, az eredmények nagy szórása ezt nem teszi egyértelművé?

A **2. kutatási téma** tárgya a cirkónium burkolat képlékeny-rideg átmenetének tanulmányozása gyűrűtöréses kísérletekkel és ez alapján a rideg törés elkerülésére vonatkozó biztonsági kritériumok értelmezése. Nyolc kísérlet-sorozatban összesen 161 cirkónium tartalmú (E110, E110G és Zircaloy-4) mintadarabot vizsgáltak különböző körülmények között (oxidációs hőmérséklet, hidrogéndús illetve hidrogénmentes vízgőzös oxidáció). A 2. tézispontban megfogalmazott eredményeket új és fontos eredményeknek tartom, melyek segítségével a cirkónium burkolatok rideg-képlékeny átmenetét a hőmérséklet és a hőkezelés idejének a függvényében sikerült megadni. Különösen fontos, hogy a jelenleg Pakson használt E110G burkolat esetében a fűtőelem gyártója által meghatározott rideg törési kritériumot a gyűrűtöréses kísérletek is alátámasztják.

Kérdés a 2. kutatási témával kapcsolatban: Az E110G ötvözet esetében a gyűrűroppantásos kísérletek alapján meghatározott rideg-képlékeny átmeneti függvény jól egyezik a fűtőelem-gyártó által megadott 17%-os ECR kritériummal. A korábban használt E110 esetében azonban eltérés van. Mekkora ECR kritériumot lehet meghatározni az E110 burkolatra a gyűrűroppantásos kísérletekből? Mi lehet az eltérés oka?

A **3. kutatási téma** tárgya a légbetöréses súlyos balesetek kései szakaszának tanulmányozása a CODEX-AIT berendezésben kísérleti fűtőelem-kötegekkel különböző körülmények között. A 3. tézispontban megfogalmazott eredményeket új és fontos eredményeknek tartom, melyek kimutatták, hogy a levegőbetörés hatására a fűtőelemek degradációja felgyorsul a vízgőzös körülményekhez képest. A kísérletekkel a világon elsőként vizsgálták kísérleti berendezésben a légbetörés szerepét a súlyos balesetekben.

A **4. kutatási téma** tárgya a VVER-1000 reaktor fűtőelemei és B4C szabályozó rúdjai viselkedésének tanulmányozása súlyos baleset körülményeit modellezve a CODEX-B4C berendezésben. A kísérletben a szabályozó rúd tönkremenetelének fázisait azonosították, és kimutatták, hogy metán nem képződött. A 4. tézispontban megfogalmazott eredményeket új tudományos eredményeknek ismerem el.

Az **5. és a 6. kutatási terület** szorosan kapcsolódik a paksi atomerőműben 2003-ban bekövetkezett súlyos üzemzavarhoz. Az előbbiben a balesetet szenvedett fűtőelemek tisztítási folyamatát modellezték a CODEX-CT kísérleti berendezés segítségével, hogy a folyamatot rekonstruálják és mechanizmusát feltárják. Az utóbbiban olyan kísérleteket végeztek, amelyek alapján megtervezték a sérült fűtőelemek több éves átmeneti tárolására szolgáló tartályokat, melyekben biztosították, hogy a radiolízisben keletkező gázok a tartályból kijussanak, miközben radioaktív anyag a tartályból nem szivárog.

Az **5. tézispontban** megfogalmazott eredményeket új tudományos eredményeknek fogadom el, melyek jelentősen hozzájárultak a baleset körülményeinek tisztázásához: a burkolat melegedésének, ridegedésének, felnyílásának és gázkibocsátásának, valamint a vizes elárasztásnak és a fűtőelemek fellökődésének, majd teljes tönkremenetelének fázisait sikerült a kísérleti berendezésben rekonstruálni, és bizonyítani, hogy a légtelenítő szelep állása nem befolyásolta a folyamat lényegét.

Kérdés az 5. kutatási témával kapcsolatban az 5. táblázat alapján: Mi a magyarázata annak, hogy a CODEX-CT-1 kísérletben a cirkónium több hidrogént nyelt el (10 g), mint a CODEX-CT-2 kísérletben (7 g), holott az előbbi kísérletben a H₂ koncentrációnak kisebbnek kellett lennie, mert a H₂ a rendszerből – a nyitott szelepen át - távozni tudott, az utóbbi esetben pedig a légtelenítő szelep zárva volt?

A **6. tézispontban** megfogalmazott eredményeket új tudományos eredményeknek fogadom el, melyek a gyakorlatban is közvetlenül hasznosultak. Egyszerű és ötletes modellkísérletek alapján sikerült kialakítani a sérült fűtőelemeket tároló tokok kompenzátoros fejrészét, melyből sem cseppáthordással, sem konvekcióval nem jutott ki radioaktív anyag a tokokból a pihentető medencébe, miközben a radiolízissel keletkező gázok távoztak. Mindezt a mintegy hat éves átmeneti tárolás tapasztalatai igazolták.

A tézispontokban összegzett eredmények jelentőségének hangsúlyozásán túl, általában nagyra értékelem a CODEX kísérleti berendezésekben végrehajtott, bonyolult és nem veszélytelen kísérletek megtervezésének alaposságát, a kísérletek összehangolt kivitelezését, a mérések-kutatások sokoldalúságát.

A dolgozatot részletes, 95 tételes irodalomjegyzék egészíti ki, mely mutatja a szerző otthonosságát szakterületének minden kérdésében. Az értekezés témakörében ez idáig 29 publikáció született, melyek közül 15-nek Hózer Zoltán az első szerzője is. Az irodalomjegyzékből és a dolgozataból egyaránt kiderül, hogy a kutatások nemzetközi együttműködések keretében is folynak.

A dolgozat felépítése logikus, a fejezetek bár önállóak, az ismeretek mégis egymásra épülnek. A megfogalmazások pontosak, az ábrák kifejezőek. A dolgozat stílusa gördülékeny. Elvértve találtam elírásokat.

A doktori munka tudományos eredményeit elegendőnek tartom az MTA doktora cím megszerzéséhez, a nyilvános védés kitűzését javaslom.

Budapest, 2016. február 10.

Dr. Vajda Nóra

az MTA doktora