

Opponensi vélemény

Hózer Zoltán

„Atomerőművi fűtőelemek integritása üzemzavarok és balesetek során”

című MTA doktori értekezéséről

(dc_1019_15)

Az értekezés Hózer Zoltán személyes tudományos eredményeit mutatja be, ami egyúttal dokumentálja az atomerőművi üzemanyag viselkedésének megismerésére irányuló hazai kutatások kialakulását, annak fő vizsgálati témáit és eredményeit is. Ebben a folyamatban, s az eredmények elérésében is Hózer Zoltánnak meghatározó szerepe volt és van. Ez a kutatási terület, amelyet a sok tekintetben mérföldkőnek számító AGNES Projekt inicializált, a kilencvenes évek közepétől kezdve kiegészítette a már jóval korábban megkezdett és sikeres reaktorfizikai, termohidraulikai kutatásokat, s teljessé tette a hazai tudományos kompetenciát minden, a nukleáris biztonságot meghatározó területen. Köztudott, hogy e szakmai kompetencia kialakulása jórészt Hózer Zoltán személyes tudományos pályafutásának kibontakozásával, önálló kutatói profiljának kialakulásával, személyes és szerzőtársaival, munkatársaival együttesen elért eredményeivel hozható összefüggésbe, annak köszönhető.

Az atomerőművi fűtőelem, azaz az üzemanyag tableta és a burkolat, mint az első fizikai gát, illetve a fűtőelem pálcákat köteggé, kazettává összefogó konstrukció a reaktor aktív zónájának legfontosabb alkotó eleme. A fűtőelem viselkedése, integritásának megmaradása, illetve sérülése üzemzavarok és balesetek során meghatározza az üzemzavarok, balesetek következményeit, s így az atomerőmű biztonságát. A reaktor-fejlesztések legkorábbi szakaszától a tervezők, gyártók figyelmének középpontjában állt, hogy milyen anyagjellemzőkkel kell rendelkezni a fűtőelem burkolatnak ahhoz, hogy a reaktorban zajló fizikai-kémiai folyamatok hatásaival szemben ellenálló legyen, mechanikai tulajdonságai, geometriája stabil legyen extrém körülmények között is, hogy a hűthetőség és a visszatartó funkció minél tovább megmaradjon. E kutatások a fűtőelem-gyártás konfidens jellege miatt a gyártók és dedikált intézmények privilégiuma voltak hosszú ideig, de mára az atomerőművet üzemeltető országokban, így 1995 után hazánkban is teret nyertek. Hózer Zoltán kutatási lényegében eredményei ennek a történetnek a hazai fejezetét képezik.

A dolgozat kerek száz oldalon kilenc, a témát bemutató és az eredményeket tárgyaló fejezetből áll, amelyet jelölés-jegyzék, köszönetnyilvánítás, és 95 tétel idegen és 29 tétel saját hivatkozást tartalmazó irodalomjegyzék egészít ki.

Hózer Zoltán kutatásainak középpontjában, a hazai igényeknek megfelelően, az orosz gyártmányú fűtőelemek, illetve burkolat anyagok (E110, E110G) állnak. Az ilyen kutatások követő jellegűnek, a gyártók-fejlesztők vizsgálatait duplikálásának

minősülhetnének, de Hózer Zoltán vizsgálatai csak részben szolgálják a gyártó adatainak – szükséges és hasznos – ellenőrzését, azok inkább a fejlesztő-gyártó vizsgálatainak kiegészítését képezik. A megszerzett tudás messze túlmutat azon, amit az üzemanyag szállító kereskedelmi alapon átadna. Mindamelllett, hogy ezek a vizsgálatok alapvető, új eredményekre vezettek, a biztonsági elemzések kódjainak fejlesztését is szolgálják, s nélkülözhetetlenek a hazai tudományos kompetencia megteremtése szempontjából. S hogy ez milyen fontos, megmutatkozott a 2003-ban történt üzemanyag-sérülés értékelésénél.

A dolgozat témája egyértelműen az energetika szakterülethez, jelesen a nukleáris energetikai területéhez tartozik, kutatási módszere tekintetében lényegében multidiszciplináris, hiszen a reaktorok aktív zónájában üzemzavarok, balesetek során lejátszódó hő- és áramlási folyamatok képezik a környezeti körülményeket, hatásokat, amelyek megváltoztatják a fűtőelem szerkezeti anyagai tulajdonságát, amelyet anyagvizsgálati módszerekkel kell vizsgálni, figyelembe véve, hogy e tulajdonságokat még a fűtőelem-burkolat és a hűtőközeg közötti fizikai-kémiai folyamatok is befolyásolják. Így a folyamatok megértése és vizsgálata reaktorfizikai, termohidraulikai, anyagtani és anyagvizsgálati, valamint kémiai ismereteket egyaránt igényelnek. Megállapítható, hogy Hózer Zoltán a kutatásaihoz szükséges szerteágazó ismeretanyagot igen céltudatosan alkalmazta, koncentrálna az atomerőművek üzemeltetése és biztonsága szempontjából alapvető fontosságú problémákra. A szövegben legfeljebb csak kisebb szóhasználati pontatlanságok jelzik e multidiszciplináris sokoldalúság hátulütőit (lásd a szilárdság, képlékenység, rideg-törés, tönkremenetel, alakítási sebesség, stb. fogalmak használatát).

Hózer Zoltán kutatásainak célja a fűtőelemekre vonatkozó biztonsági kritériumok kísérleti meghatározása, és a fűtőelemek sérüléséhez vezető folyamatok kísérleti megismerése, a numerikus szimulációjára szolgáló, általában nyugati fejlesztésű kódok, alkalmassá tétele a paksi reaktorokra, különös tekintettel a súlyos balesetekre.

Hózer Zoltán hat, nagyon konkrét célkitűzést fogalmaz meg a dolgozat 10. oldalán. Az egyes kutatási célkitűzések szerinti vizsgálatokat és azok eredményét a 2-7. fejezetek mutatják be. A 2. fejezet a burkolat képlékeny sérülésével, felfűvódásával, míg a 3. fejezet a rideg sérülés, s a képlékeny rideg átmenet vizsgálatával foglalkozik. A 4. és 5. fejezetben a légbetöréses, illetve súlyos baleseti integrális kísérletek bemutatása található. Meg kell jegyezni, hogy a 2-5. fejezetben bemutatott vizsgálatok egymáshoz kapcsolódó, átfogó programot alkotnak. Remélhetőleg alkalmi, de rendkívül hasznos és fontos kitérő a 2003. évi üzemzavarhoz kapcsolódó vizsgálat-sorozat volt, amellyel a 6. és 7. fejezetek foglalkoznak. A folyamat megismeréséről a 6. fejezet, a sérült üzemanyag átmeneti tárolásáról pedig a 7. fejezet szól. A 2-7. fejezetek mindegyikéhez egy-egy tézis kapcsolódik (8. fejezet), s a 9. fejezet megadja mindegyik tézis gyakorlati hasznosulását.

A kutatásokat leíró fejezetek felépítése logikus: a probléma kutatási előzményeinek rövid ismertetése után a kísérletek paraméterei, a kísérleti körülményeket előállító berendezés bemutatása következik, majd pedig az eredmények részletes bemutatása.

A fűtőelem burkolat felfűvódásával, felhasadásával foglalkozó 2. fejezet 1995-től 2011-ig bezárólag, hat kísérletsorozat eredményeit összegezi, a kutatási téma önfejlődését is bemutatva. Beláthatóan a terjedelmi korlátok miatt nem adhatott a szerző tételes és részletes leírást minden kísérletről, ami megnehezíti a kísérletek körülményeinek megértését. Ez némileg az eredmények bemutatására is rányomja bélyegét, de a szerzőnek sikerül a fűtőelem burkolat anyagok felfűvódásának nem csak alapvető összefüggéseit, hanem egyes finom sajátosságokat is megfogni, mint a tönkremeneteli határ és a terhelési sebesség közötti összefüggést, s összehasonlítani a két orosz anyag és a Zircaloy-4 viselkedését, valamint megállapításokat tenni a fűtőelem-köteg hűthetőségére.

Ezek az eredmények megalapozzák az első tézispontot. A tézispontot elfogadom.

A 3. fejezet a burkolat rideg, gyűrűtöréses sérülésének – 2000-2011 közötti nyolc mérésből álló – kísérleti vizsgálatát és eredményeit mutatja be. A fejezet gyengesége és erőssége szinte azonos a 2. fejezetnél említettekkel. Itt meg kell említeni, hogy az orosz burkolat anyagokat Hózer Zoltán megvizsgálta olyan módszerekkel is, amelyek az USA (a szövegben, köznyelvi formában „amerikai”) kritériumok meghatározásához alkalmaztak. Ez is példája annak, hogy a hazai kutatások nem a gyártómű vizsgálatainak duplikálását jelentik. Ezek a kísérletek a rideg viselkedés fajlagos törési munka formájában meghatározott kritériumának, valamint a ridegedés és a burkolat előlelete (oxidációja) közötti összefüggés megismerését is szolgálták. A 3.5. alfejezet igen fontos része a 3. fejezetnek, mivel itt a szerző a kísérletek alapján az egyes anyagokra összefüggéseket állít fel a képlékeny-rideg átmenethez tartozó oxidációs idő hőmérséklettől való függésére. A 29. ábrán feltüntetett vonal alatt csak képlékeny adatok vannak, de az ábrán az is látszik, hogy az $1000/T$ változó meghatározott értéke felett ez a szeparáció egyértelmű. Például az E110 anyag esetében az $T \leq 1000$ K esetén csak képlékeny esetek vannak, ami egy másik határértékként szolgálhatna.

Kritikaként megjegyezhető, hogy az egyes hatások szemléltetése az ábrákon néha nem szerencsés. A jó ábrázolásra példaként szolgál 18. ábra, ahol egy anyag egy kísérleti paraméter változásával járó erő-elmozdulás diagramok szemléltetik, minden egyéb körülményt változatlanul hagyva. Ezzel szemben a 19. ábrán változik az anyag, és anyagmintánként az oxidáció mértéke is, miáltal aligha látható, mi és mitől változott.

A 3. fejezetben dokumentált eredmények megalapozzák a második tézispontot. A tézispontot elfogadom.

A 4. fejezetben a fűtőelem – légbetöréses súlyos balesetek körülményei közötti – integrális viselkedésének kísérleti vizsgálatát dokumentálja, amely egy európai kutatási projekt részeként, elsőként a magyar CODEX berendezésben Zircaloy burkolatú fűtőelem kötegen, majd VVER illetve a szerző javaslatára a német QUENCH berendezésben VVER anyagokkal történt. Itt „csak” két kísérletről van szó a CEDEX-AIT-1 és a CODEX AIT-2-ről, amelyeket a szerző kellő mértékben ismertetett, így itt nem volt jellemző a korábbi két fejezetnél kifogásolt prezentációs probléma. A vizsgálatok fontos információt, s egy átfogó képet adnak a légbetöréses folyamatokban az üzemanyag viselkedéséről.

A 4. fejezetben dokumentált eredmények megalapozzák a harmadik tézispontot. A tézispontot elfogadom.

Az 5. fejezetben a VVER fűtőelemek súlyos baleseti körülmények közötti integrális viselkedésének CODEX-B4C berendezésen történő kísérleti vizsgálatát dokumentálja. A disszertációban bemutatott mérések a VVER-1000 fűtőelem köteg hét rúdból álló modelljén történtek, amelyben a középső pozíción egy szabályzó elem modell volt. A vizsgálatok fontos információt, s egy átfogó képet adnak a VVER-1000 üzemanyag viselkedéséről.

Az 5. fejezetben dokumentált eredmények megalapozzák a negyedik tézispontot. A tézispontot elfogadom.

A 6. fejezetben a 2003. évi súlyos üzemzavar vizsgálatával foglalkozik, s megadja – a CODEX-CT kísérletekre alapozva – a fűtőelemek viselkedésének, sérülésének hiteles és részletes (25 oldallal a leghosszabb fejezet) elemzését. Ennek a fejezetnek különös értéke van két okból: egy sajnálatos reaktoron kívüli üzemanyag-sérüléssel járó üzemzavar diagnózisát adja, s egyben igazolja azt, hogy az 1995-ben elkezdett fűtőelem-vizsgálatok során szerzett tudás, a kísérleti bázis és rutin messzemenően alkalmazható a gyakorlati problémák megoldására.

A 6. fejezetben dokumentált eredmények megalapozzák az ötödik tézispontot. A tézispontot elfogadom.

A 7. fejezet a 2003. évi üzemzavar során megsérült fűtőelemek átmeneti tárolását vizsgálja, azt alapozza meg. Jellegét és értékét tekintve hasonlít a 6. fejezethez.

A 7. fejezetben dokumentált eredmények megalapozzák a hatodik tézispontot. A tézispontot elfogadom.

Fontos megjegyezni, hogy a 6. és 7. fejezetek eredményeit és a hozzájuk tartozó tézispontokat azért lehet újdonságként minősíteni, mert – bár a megelőző 2-5. fejezetekben felhalmozott tudás és eszközrendszer alkalmazását jelentették – maga a vizsgált eset precedens nélküli volt, amely a 2-5. fejezet tükrében ismert problémák különleges körülmények közötti vizsgálatán túl, speciális kérdések (felütközés) vizsgálatát is megkövetelték.

Az értekezés egységes, eléggé olvasmányos stílusban megírt mű, de az érthetőség néha csorbát szenved, mert a szerző közismertként kezel bizonyos fogalmakat: eutektikumképződés, α -réteg, β -fázis. Leginkább azt lehet hiányolni, hogy épp a vizsgálat tárgyát képező fűtőelemek, fűtőelem-kötegek, kazetták jól érthető, de rövid leírása hiányzik, s nem kevésbé erről egy szemléltető ábra. Az 5. oldalon a szerző különbséget tesz – helytelenül – a konténment és a jelenlegi paksi blokkok hermetikus terei között, jöllehet, ahogy azt az IAEA Safety Glossary¹ definiálja „Methods or physical structures designed to prevent or control the release and the dispersion of radioactive substances.” S mint ilyen, a paksi VVER-440/V213 „hermetikus tere” is konténment.

A sajtóhibák száma minimális (vizsgálat-vizsgálat, elmoszdulás-elmozdulás típusúak). Konvenciótól eltérően a táblázatok címe a táblázat alatt van. A 26., 28. és 43. ábrák függőleges tengelyének felirata hiányos.

¹ IAEA safety glossary: terminology used in nuclear safety and radiation protection: 2007 edition. — Vienna, International Atomic Energy, Agency, 2007. ISBN 92–0–100707–8

Összességében megállapítható:

Hózer Zoltán értekezése hiteles és eredeti eredményeket tartalmaz, ezek jelentősen gazdagították a fűtőelemek, s különösen a VVER reaktorok fűtőelemei üzemzavari, baleseti viselkedésére vonatkozó hazai és nemzetközi tudásbázist. Az értekezésben bemutatott és a tézisként megfogalmazott eredményeket Hózer Zoltán szép számú, s igen tekintélyes helyeken megjelent közleményekben hozta a szakmai közösség tudomására. Ez igen jelentős visszhangot, idézettséget eredményezett. Ennek és a nemzetközi kutatási projekteknél való aktivitásának köszönhetően Hózer Zoltán jelentős nemzetközi szakmai tekintélynek örvend.

Hózer Zoltán téziseit új tudományos eredményként elfogadom. Az eredmények bemutatott hasznosulása vitathatatlan.

Fentiek alapján javaslom a nyilvános vita kitűzését és a legmelegebben ajánlom a mű elfogadását.

2016. január 2.



Katona Tamás János
egyetemi tanár, az MTA doktora

Kérdések a jelölthöz:

1. A 25. oldalon, a burkolat rideg viselkedéséről szóló bevezető szövegében van egy kijelentés, miszerint a rideg sérülési mód az anyag olvadáspontja alatt következik be. A szövegből úgy tűnik, mintha a képlékeny sérülés az anyag olvadáspontján lenne csak lehetséges. Kérem, tisztázza ezeket a kijelentéseket!
2. Mivel a dolgozatban erre nincs magyarázat, világítsa meg, mennyiben minősíti a gyúrótorépes kísérlet – különös tekintettel a minta geometriájára és a terhelés módjára – a reaktorban lezajló baleseti folyamatok hatásai által kiváltott tönkremenetelt?