

## Válaszok

Katona Tamás János „Atomerőművi fűtőelemek integritása üzemzavarok és balesetek során” című MTA doktori értékezésemre adott opponensi véleményére

Szeretném megköszönni Dr. Katona Tamás János egyetemi tanárnak, az MTA doktorának, hogy a dolgozatot gondosan átolvasta és részletes értékelést adott róla. Köszönöm a munkásságommal és dolgozatban leírt eredményekkel kapcsolatos elismerő szavait.

Az opponensi véleményben megfogalmazott **észrevételekre** az alábbi válaszokat szeretném adni. (A megjegyzések eredeti szövegét dőlt betűvel jelöltem).

A *kisebb szóhasználati pontatlanságokra* vonatkozó megjegyzését köszönöm, igyekszem az említett kifejezéseket pontosabban használni a jövőben, az újabb magyar nyelvű kutatási jelentésekben, publikációkban.

A bíráló az 1. tézispont értékelésénél megemlíti, hogy *terjedelemi korlátok miatt nem adhatott a szerző tételes és részletes leírást minden kísérletről.*

- A dolgozat összeállításánál törekedtem arra, hogy több egymástól viszonylag távol álló témakörrel áttekintést adjak, ezért az egyes tézispontokhoz tartozó kísérletek bemutatására korlátozott terjedelemben kerülhetett csak sor. A bírálatban említett felfűvódásos kísérletek részletes, tételes bemutatása megtalálható a hivatkozott publikációkban, valamint az OECD Nuclear Energy Agency adatbázisában is.

A 3. fejezetnél: *a 19. ábrán változik az anyag és anyagmintánként az oxidáció mértéke is, miáltal alig látható mi és mitől változott.*

- Az említett ábrán szereplő négy mintadarab között valóban sok különbség van. Az E110 és a Zircaloy-4 mintákat mutató baloldali ábrán és az E110 és E110G mintákat összehasonlító jobboldali grafikonokon különböző ideig, különböző hőmérsékleteken oxidált minták láthatóak. Az összehasonlítással az eredeti célom az volt, hogy bemutassam a mintapárok közötti különbségeket, ezek a különbségek pedig a bemutatott hőmérsékleteken, oxidációs időknél voltak igazán szignifikánsak.

Katona Tamás János megjegyezte, hogy *a vizsgálat tárgyát képező fűtőelemek, fűtőelem-kötegek, kazetták jó érthető, de rövid leírása hiányzik, s nem kevésbé egy szemléltető ábra.*

- A dolgozat eredeti terjedelméből több ábrát is kivettem, mert úgy gondoltam, hogy egy 100 oldalas dolgozathoz bőven elég, talán sok is a 69 ábra. Így kimaradtak a kazettákat bemutató ábrák. Ezek bemutatását egyébként én is fontosnak tartom. Így az egyik általam írt tankönyvfejezetben ábrákkal is illusztráltam a főbb reaktortípusok fűtőelemeinek és kazettáinak jellemzőit<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Trampus Péter, Hózer Zoltán, Vajda Nóra, Beliczai Botond, Zsolnay Éva, Csom Gyula: Atomerőművek üzemtana II/4 : Az energetikai atomreaktorok üzemtana (2012)

A bíráló felhívta a figyelmemet arra, hogy a szerző különbséget tesz – helytelenül – a konténment és a jelenlegi paksi blokkok hermetikus terei között és idézi a NAÜ definícióját.

- Köszönöm ezt a megjegyzést, pontosítást, amivel természetesen egyetérték.

A 26., 28. és 43. ábrák függőleges tengelyének felirata hiányos.

- A 43. ábrán több paramétert (forgalmak, teljesítmény, hőmérséklet) próbáltam együtt bemutatni, azért nem került felirat a függőleges tengelyre.

Az opponensi vélemény végén feltett **két kérdésre** az alábbi válaszokat adom.

*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!*

Az említett mondatok a burkolat rideg sérülésével foglalkozó 3. fejezet bevezetéséhez tartoznak. Ebben a fejezetben azért nem írtam a képlékeny sérülés körülményeiről, mert az előző fejezetben (2. A burkolat felhasadása) ezt a témát megpróbáltam lezárni. Természetesen nincs szó arról, hogy a képlékeny sérülés csak az anyag olvadáspontján lenne lehetséges.

- A 2. fejezetben bemutatott eredményekből jól látszik, hogy a fűtőelemek cirkónium burkolata akár 700 °C környékén is felfűvódhat, felhasadhat, ami jóval az 1800 °C-os olvadáspont alatt van.
- A burkolat képlékeny mechanikai sérülését szobahőmérsékleten is elő lehet idézni. Ez történik például a gyűrűroppantásos méréseknél is, amikor a kevésbé oxidál minták képlékeny alakváltozást szenvednek.

A szóban forgó mondatok félreérthető megfogalmazásáért elnézést kérek.

*2. Mivel a dolgozatban erre nincs magyarázat, világítsa meg, mennyiben minősíti a gyűrűtöréses kísérlet – különös tekintettel a minta geometriájára és a terhelés módjára – a reaktorban lezajló baleseti folyamatok hatásai által kiváltott tönkremenetelt?*

A gyűrűtöréses kísérletek során alkalmazott terhelés sem a geometriai elrendezés sem a terhelés módja alapján nem tekinthető reprezentatívnak a reaktorban lezajló baleseti folyamatok hatásainak szimulációjára. A cirkónium burkolatokkal végzett gyűrűtöréses mérések alapvető célja annak meghatározása, hogy az adott ötvözet a megfelelő előkezelés (oxidáció) után képlékeny vagy rideg állapotban van. Ha képlékeny marad a minta, akkor tetszőleges terhelés esetén sem kell azzal számolni, hogy olyan törmelék keletkezik a zónában, ami nem hűthető.

Katona Tamás János e kérdésében rávilágított a LOCA kritériumok meghatározásának egyik fontos metodikai problémájára. Számos országban (pl. Japán, Oroszország) nem a képlékeny-rideg átmenet alapján alapozzák meg az oxidációs kritériumot, hanem

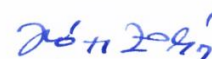
integrális méréseket végeznek, és megpróbálják modellezni azokat a terheléseket, amelyek a LOCA üzemzavar során fellépnek. A kísérlet végén épek, vagy sérültnak minősítik a mintadarabokat és erre támaszkodva határozzák meg a megengedhető oxidáció mértékét. Ez az eljárás kevésbé konzervatív mint a gyűrűroppantás, hiszen a rideg minták is épek maradhatnak, ha nem kapnak akkora terhelést, ami a tönkremenetelhez szükséges.

A LOCA során oxidált Zr burkolatra a vészhűtő rendszeri betáplálásokból származó hideg vizes elárasztás nagyon komoly mechanikai terhet jelent. A másodpercek alatt beáramló több tonna víz önmagában is komoly sérüléseket okozhat a fűtőelemekben. Szakemberek ennél is fontosabbnak tartják, hogy a kazetta szerkezeti elemeinek lehülése axiális feszültségeket hozhat létre a fűtőelemekben. Ennek a nagysága erősen függ attól, hogy hogyan vannak rögzítve a fűtőelemek a kazettában és milyen anyagból készülnek, hogyan kapcsolódnak egymáshoz a kazetta egyéb szerkezeti elemei (pl. a szabályozórudak megvezető csövei, távtartórácsok, kazettafal).

Az integrális tesztekben megpróbálják figyelembe venni az axiális terhelést is, de ennek nagyságában nincs egyetértés a különböző laboratóriumok között. Francia szakemberek – PWR kazetták végelesemes modellezésének eredményei alapján – 535 N axiális terhelést javasolnak alkalmazni a LOCA kritériumokat megalapozó mérésekben<sup>2</sup>. Japán mérésekben 390 N és 2400 N közötti terheléseket alkalmaztak, de az 1000 N fölötti terheléseket irreálisnak tekintették<sup>3</sup>.

Mindez jelzi, hogy az fűtőelemek LOCA utáni elárasztással járó mechanikai terhelésének becslése további kutatásokat igényel.

Budapest, 2016. február 23.



Hózer Zoltán

---

<sup>2</sup> A. Cabrera, N. Waeckel: A Strength Based Approach to Define LOCA Limits, TOPFUEL 2015, Zürich, Paper A0116.

<sup>3</sup> Fumihisa Nagase and Toyoshi Fuketa: Behavior of Pre-hydrated Zircaloy-4 Cladding under Simulated LOCA Conditions, JNST, Vol. 42, No. 2 (2005) 209-218