

Bírálat
Szabados László
„EREDMÉNYEK A NUKLEÁRIS BIZTONSÁG TERMOHIDRAULIKAI
HÁTTÉRÉHEZ VVER TÍPUSÚ ATOMERŐMŰVEKBEN” című
MTA doktori értekezéséről

Készítette: Dr. Aszódi Attila, igazgató, BME NTI
Budapest, 2013. március 15.

Szabados László, a műszaki tudomány kandidátusa „Eredmények a nukleáris biztonság termohidraulikai háttéréhez VVER típusú atomerőművekben” című MTA doktori értekezése izgalmas, hazai és nemzetközi vonatkozásban is nagy jelentőségű témát dolgoz fel.

A 118 oldal terjedelmű dolgozat tíz fejezetet és három függelékkel tartalmaz. A 2 oldalas bevezetést követően rövid, 4 oldalas fejezetben ad irodalmi áttekintést. A zóna-termohidraulikai kutatások eredményeit 13 oldalban, a termohidraulikai rendszerkódok validációjához kapcsolódó kísérleti berendezéseket és kísérleteket 22 oldalban, a PMK-2 kísérletek eredményeit 16 oldalban, míg a kiválasztott rendszerkódok PMK-2 kísérletekre alapozott validációját 24 oldalban foglalja össze. Az érdemi fejezeteket 7 oldalas összefoglalás, 2 oldalas rövidítésjegyzék, 4 oldalas, 79 tételes irodalomjegyzék, valamint 19 oldalas függelék követi. A dolgozatban tárgyalt témát kellő mennyiségű ábra, diagram és táblázat támasztja alá.

A dolgozat szerzője kezdetektől irányítója és aktív közreműködője volt a PMK-NVH és PMK-2 kísérleti berendezés tervezésének és felépítésének, a kísérletek megtervezésének, lebonyolításának, az eredmények publikálásának, és a kísérleti eredmények termohidraulikai kódok validációján keresztüli hasznosításának. A dolgozatban leírt tudományos program hazai és nemzetközi vonatkozásban is kiemelkedő, komoly tudományos és nemzetgazdasági jelentőséggel bír, tudományos, műszaki és gazdasági impaktja elvitathatatlan. A PMK kísérleti program és a hozzá kapcsolódó kódvalidáció irányításával a szerző aktívan és meghatározóan közreműködött a háromszögrácsba rendezett üzemanyag-pálcákkal működő VVER reaktorok termohidraulikai kutatásaiban, megalapozta biztonsági elemzéseiket, ezen keresztül pedig hatósági engedélyezhetőségüket, valamint biztonságos üzemüket. A fent vázolt program igazolta, hogy a nyugaton kifejlesztett, a tervezés és az engedélyezés során alkalmazott rendszerkódok alkalmazhatóak az orosz építésű reaktorokra is.

A szerző vezetésével épült berendezésen az irányításával készült széleskörű kísérleti adatbázis számos nemzetközi kódvalidációs projekt alapját képezte, amellyel igazolták a termohidraulikai kódok jóságát és felhasználhatóságát. A kísérleti berendezés azóta is működik, további újabb kísérleteket tett és tesz lehetővé. A dolgozat tárgyát képező több évtizedes munka jelentőségét, nemzetközi tudományos hatását – megítélésem szerint – jól jeleníti meg az összefoglaló, melyben többek között ezt írja Szabados László: „A PMK-2 kísérleti eredményeket az első IAEA kódvalidációs gyakorlathoz, az SPE-1-hez (Standard Problem Exercise) tartozó kísérlet (1986) óta a gyakorlatokban résztvevő kutatócsoportok folyamatosan használták az értekezésben tárgyalt ATHLET, CATHARE és RELAP5 egymást követő, különböző változatainak validálására. Ráadásul, az ATHLET és a RELAP5 kód fejlesztői a kódok fejlesztési fázisaiban (a nemzetközi felhasználásra történő kibocsátás előtt) is használtak PMK-2 kísérleteket validációs célokra (developmental assessment). Összesen 28 PMK-2 kísérletet használtunk (PMK-2-re alapozott) nemzetközi kódvalidációs projekteken a három kód 15 változatának validálására. A PMK-2 projekteken 29 ország mintegy 60 kutatója vett részt.” Összefoglalóan ez a dolgozatban bemutatott munka legfontosabb értéke és eredménye.

Meg kell említeni, hogy a tárgybeli kísérleti és kódvalidációs programról a dolgozatnál részletesebb leírást találunk Szabados László elsőszerzősége mellett készült, az

Akadémiai Kiadónál megjelent két kötetes könyvben, melyekre – az MTMT adatbázis szerint – eddig 4 illetve 2 független hivatkozást kapott.

- Szabados L, Ézsöl GY, Perneczky L, Tóth I: Final report on the PMK-2 projects.: Vol. I., Results of the Experiments Performed in the PMK-2 Facility for VVER Safety Studies. Budapest; Akadémiai Kiadó, 2007. 236 p. (ISBN:978-963-05-8461-6)
- L Szabados, Gy Ézsöl, L Perneczky, I Tóth, A Guba, A Takács, I Trosztel: Final Report on the PMK-2 Projects.: Vol. II., Major Findings of PMK-2 Test Results and Validation of Thermohydraulic System Codes for VVER Safety Studies. Budapest; Akadémiai Kiadó, 2009. 303 p. (ISBN:978 963 05 8810 2)

Általános észrevételek

- A. A dolgozat kiállítása tetszetős. Az ábrák, táblázatok és a szöveg mennyisége ugyan egyensúlyban vannak, de sok esetben nem azonosítható, hogy az ábrák valójában saját eredményként álltak elő, vagy valahonnan átvette őket a szerző. Különösen zavaró ez azoknál az ábráknál, amelyekről látszik, hogy több évtizeddel ezelőtt, nem a most megszokott számítógépi technikával készültek, és nem azonosítható, hogy a szerző saját eredményeit tartalmazzák-e. (Pl. 3.1.3., 3.1.5., 3.1.6., 3.1.8-3.1.15. ábrák.) Különösen fontos a 3.1.6. ábra eredetét tisztázni, ami a Becker-Szabados korrelációval számított és mérési eredményeket vet össze, de az ábra tengelyein ábrázolt mennyiségek dimenziója hazánkban és Európában szokatlanul „Btu/ft²hr”, valamint az ábra kiállításán látszik, hogy nagyon régen készült, a dolgozatba pedig szkennelt formában kerülhetett be.
- B. Nagyban nehezíti a dolgozatban írtak megértését, hogy a képletekben nem egységes jelölésrendszert alkalmaz, és sok esetben nem adja meg tételesen és részletesen, hogy az egyes képletekben az adott jelölések valójában milyen fizikai mennyiséget és milyen dimenzióban adnak meg. Az olvasónak az a benyomása keletkezik, hogy számos képlet különböző helyekről származik, de az egységesítésük nem történt meg a dolgozat készre munkálása során. Ugyanígy szokatlan, hogy a 33. oldalon külön jelölésjegyzéket ad meg, ami csak a 32. oldali képletekre vonatkozik és nincsen egyeztetve a dolgozat más részén lévő egyenletekben alkalmazott jelölésekkel.
- C. A 8. fejezet megadja ugyan a jelölések jegyzékét, de az itt definiált jelöléseket nem alkalmazza konzisztensen. Például a „Hűtőközeg elvétel és utántöltés (Bleed and feed)” szerepel BF, B&F, BRF, BL és FD rövidítéssel is a dolgozatban.
- D. A 16. oldalon a 3.1.3. fejezetben szerepel, hogy L. S. Tong termohidraulikai alaplőműnek számító könyvében [3.40] hivatkozik Szabados László 1982-ben publikált írására [3.41], ami egy nagyon erős és fontos hivatkozás, hiszen L.S. Tong könyvében Szabados Lászlónak tulajdonítja, hogy igazolta a stacionárius forráskrisis-korrelációk alkalmazhatóságát tranziens folyamatokra háromszögrácsba rendezett üzemanyag kötegek esetén. (Más szerzők korábban négyszögrács esetén hasonló eredményre jutottak, de a háromszögrácsra való igazolás releváns és fontos eredmény.)
- E. A dolgozatban a tézisek a 7.2. fejezetben találhatóak, itt azonban hiányoznak a szerző tézisekhez kapcsolódó publikációinak hivatkozásai. A különálló téziszűzetben szerepelnek az egyes tézisekhez rendelt saját publikációk; több esetben más szerzők publikációit is megadja az egyes téziseknél hivatkozott irodalmak között.

Tételes észrevételek

- F. Furcsa szerkesztési megoldás, hogy a 3.1.3. ábrát (12. oldal) a 3.1.6. ábra (15. oldal) követi, majd a 3.1.4. és 3.1.5. ábrák a 3.1.15. ábra után a 19. és 20. oldalon találhatóak.
- G. A 6. oldal első bekezdésében említett, az 1970-es években zajló kutatások tárgyát képező VVER-1000 típus a mai terminológia szerint nem a 3., hanem a 2. generációs reaktorgenerációkhoz tartozik.

- H. A 8. oldalon a 2. bekezdés 9. sorában a „primerköri hűtőközeg csökkenése (FKSZ kiesés, -beszorulás, -tengelytörés)” valójában a „hűtőközeg-áram” csökkenése lenne?
- I. A 10. oldal 3. bekezdésében különböző zónamodelleket tartalmazó kódokat sorol fel, melyekre megállapítja, hogy „A kódok mindegyike homogén áramlási modellt tartalmaz.” Talán szerencsésebb lett volna itt a múlt idő használata, hiszen a hivatkozott irodalmak az 1970-es évek elejének írásai, melyeket az idő a számítógépi kapacitások bővülésével jelentősen meghaladt; a mai kétfázisú áramlást is leíró zóna termohidraulikai számítások zömében 5 és 6 egyenletes modellekkel készülnek.

Kérdések

1. A 12. oldalon szereplő (3.1.2.) képletben pontosan hogyan kell értelmezni p_i és p_j fizikai mennyiségeket? A dolgozat szerint a k_{ij} keresztirányú ellenállás tényező értéke a mérések szerint 10. Mekkora ennek a bizonytalansága? Minden típusú csatorna keresztkapcsolatra egységesen 10? A képletben szereplő fizikai mennyiségek milyen dimenzióban értelmezendők? Hogyan számítandó a w_{ij} keresztirányú tömegsebesség? A 11. oldal első mondatában ugyanis ez szerepel: „A PMK-2-ben a 19-rúdköteg zónamodellben a névleges tömegsebesség 4,5 kg/s.” A tömegsebességet kg/s dimenzióban mérve a (3.1.2) képlet nem tűnik visszafejthetőnek. Kérem, adja meg a (3.1.2) képletben szereplő mennyiségek pontos fizikai definícióját és dimenziójukat!
2. A 3.1.3. ábrával kapcsolatban tisztázandó annak eredeti forrása. Továbbá nem világos, hogy milyen osszteljesítményen, milyen pálcateljesítmény-eloszlásnál, és milyen sebességnél történtek az ábrához felhasznált mérések.
3. A 3.1.1. fejezetből nem derül ki pontosan, miért mutatta be a szerző az itt leírtakat. A mérési és számítási eredmények ebből a rövid leírásból nem visszafejthetőek, nem reprodukálhatóak. Rendelkezésre áll a szerző olyan publikációja, ahol a fejezet tartalma részletesebben ki van fejtve?
4. Milyen dimenzióban vannak mérve a 13-14. oldalon szereplő (3.1.3), (3.1.4) és (3.1.5) egyenletek tényezői, és milyen fizikai mennyiséget takarnak? A (3.1.6) egyenlet a kritikus hőfluxust milyen dimenzióban adja meg?
5. A (3.1.6) egyenletben szereplő konstansok miből következnek? A lokális tömegfluxus szorzótényezője miért pont 132? Saját mérési eredményekre történt az egyenlet illesztése? Mit jelent pontosan a „cső típusú mérőszakaszon kapott saját mérési adatok” utalás? Milyen mérés volt ez? A mondatban két hivatkozás is van ([3.34], [3.35]), de egyik irodalom szerzői között sem szerepel Szabados László.
6. Pontosán hogyan változott meg az eredeti Becker-korreláció, hogyan lett belőle Becker-Szabados korreláció?
7. A 34. oldalon a gőzfejlesztő modelljének leírása kapcsán szerepel a következő: „A hasonlóságnak a zónamodellhez hasonló teljes körű biztosítása a gőzfejlesztő modell esetében nem lehetséges sem a kényszeráramlásos, sem a természetes cirkulációs hőcsere esetében. Az eltérés azonban a kritériumok értékei között nem jelentős, így a modellhűsége csak kismértékben érinti.” Készült arra vizsgálat, hogy a modellezési hűség hibája a gőzfejlesztő modell geometriája miatt milyen mértékű? A fejezet alapján nem egyértelmű, hogy a gőzfejlesztő modelljének függőleges geometriai méretei (teljes magasság, hőátadó csövekkel fedett magasság, szekunder oldali vízszintmagasság) hogyan viszonyulnak a valós blokki gőzfejlesztő méreteihez, és ez mennyiben befolyásolja természetes cirkulációs üzemmódban a felhajtóerőt.
8. A 35. oldalon szerepel a hurokvezeték méretének megválasztása során alkalmazott mérlegelés, a Froude szám azonosságának kritériuma. Milyen üzemállapottra biztosított a Froude szám azonossága?

9. A 36. oldal 4.3. táblázatában a „Hűtőközeg tömegáramlás a törésnél” tömegáramot jelöl? A táblázatban megadott mértékegysége (MPa) hibásnak tűnik. Ugyanígy „Hűtőközeg tömegáramlás a hidegágban” kPa dimenzióval nem érthető.
10. A 38-39. oldalon a 4.2.2. fejezetben szerző a finn PACTEL, az orosz ISB és a szintén orosz PSB berendezésekről ad meg összefoglaló adatokat illetve ábrákat, de hiányoznak az ábrák és az adatok forrásainak hivatkozásai. Ugyanígy a PACTEL, ISB és PSB kísérleti programokról szerepelnek összefoglaló adatok a 4.3.2. fejezetben (41-44. oldal), de a forrásirodalmak hivatkozásai nincsenek megadva. Honnan származnak ezek az információk?
11. A dolgozat egyik legértékesebb és legkompaktabban megírt fejezete a 6. fejezet. Ugyanakkor nehezíti a 6.1.-6.8. ábrák értelmezését, hogy több esetben hiányzik az ábrázolt mennyiségek pontos definíciója. Mit jelentenek az ábrába beírt rövidítések? (Pl. 6.1. ábra „UPsz” vs. „PR21m”; az ábrafelirat szerint a primerköri nyomás mért és számított értékét mutatja az ábra az OAH-C1 kísérlet esetében, de minek a rövidítése az „UPsz”? Hasonló kérdések fogalmazhatóak meg a 6.1-6.8. ábrák mindegyikéhez.) További probléma, hogy a 6.3. ábra fekete görbéi nem megkülönböztethetők egymástól.
12. A 6.4. ábrában a kettő darab mért burkolat-hőmérséklethez miért csak egy számított burkolat-hőmérséklet van megadva? Az ábrafelirat szerint 2 különböző pálca legfelső szintjén helyezkedett el a TE17 és TE19 jelű termoelem. A számítás melyik pálca burkolat-hőmérsékletét adta meg?
13. A 6. fejezetben bemutatott, kísérletekkel összevetett RELAP számításokat ki végezte? A bírálónak nem sikerült olyan hivatkozást azonosítania, amiből a bemutatott számítások eredete egyértelműen kiderült volna.
14. A 6.7. táblázatban szereplő „AAtot” értékének számításához pontosan milyen – a tranziens jellemző – paraméter-együttes „AA” értékét vette figyelembe? Összesen hány paraméter szerepelt a számításban? Az egyes összehasonlított kódok esetében azonos számú paraméter volt figyelembe véve az „AAtot” jellemző számításánál?
15. A dolgozatot három függelék egészíti ki, melyekben azonban nem szerepel irodalmi hivatkozás. A függelékekben szereplő validációs számítások kinek a munkájaként készültek, mi a becsatolt ábrák forrása?

Nyilatkozat a tézisek elfogadásáról

- 1. tétel: A tétel végén hivatkozott irodalmak között számos olyan saját publikáció szerepel, amelyek Szabados László kandidátusi értekezésének 1977-es dátuma előttiak. Az 1. tételt csak a fenti 1.-6. kérdésekre adott válaszok ismeretében, valamint akkor tudom elfogadni új tudományos eredménynek, ha bizonyítást nyer, ha a tételbe foglalt eredmények 1977 utániak.
- 2.1. tétel: A tétel végén saját kandidátusi értekezésére, valamint más szerzők műveire hivatkozik, így a tételt nem tudom új önálló tudományos eredményként elfogadni.
- A 2.2. tételt elfogadom új tudományos eredménynek.
- A 2.3. tételt elfogadom új tudományos eredménynek.
- A 3. tételt elfogadom új tudományos eredménynek.
- A 4. tétel tekintetében – véleményem szerint – nehezen azonosítható a dolgozatban a tételben említett kísérleti módszertan, ugyanakkor a kísérleti program kialakításában és a kísérletek végrehajtásában Szabados László szerepe elvitathatatlan.
- Amíg a 4. tétel a PMK-2 kísérleti program szervezését és a kísérletek végrehajtását adja meg igénypontnak, addig az 5. tétel a PMK-2 kísérletek eredményeit nevesíti. Új

tudományos eredménynek a 4. és 5. tézist együtt, egyetlen tézisben fogadom el, hiszen ezek a kísérletek tudományosan az eredményeikben hasznosultak.

- A 6. tézist elfogadom új tudományos eredménynek.

Összefoglalóan az a véleményem, hogy a dolgozat szerkesztése nem optimális, sok szempontból kívánnivalókat hagy maga után (lásd a fenti észrevételeket és kérdéseket), de ennek ellenére javaslom a dolgozat nyilvános vitára bocsátását és a mű elfogadását, tekintettel arra, hogy a szerző a korábbi tudományos fokozat megszerzését követően jelentős eredeti tudományos eredményekkel gyarapította a tudomány szakot, és hozzájárult a tudomány fejlődéséhez.

Budapest, 2013. március 15.

Dr. Aszódi Attila
egyetemi tanár, igazgató
BME Nukleáris Technikai Intézet