

Válasz Dr. Benedek Sándor opponensi véleményére

Mindenekelőtt szeretném megköszönni Dr. Benedek Sándornak, hogy elvállalta dolgozatom bírálatát.

Véleménye szerint dolgozatom „*prózai leírású*”, és „*Sajnos a téma tudományos prezentálása nem megfelelő és az eredmények bizonyítása minden esetben hiányzik.*”.

Úgy gondolom, hogy az előírások szerinti 100 oldal maximális terjedelem semmiképpen sem tette lehetővé, hogy „prózai” mű szülessen. Sőt, a bírálat alapján kitűnik, hogy sok-sok magyarázat elkelt volna még a dolgozatomban. Igyekszem ezeket itt pótolni, bízva abban, hogy az eredményeimmel kapcsolatos opponensi véleményt valamelyest sikerül megváltoztatni.

A teljesség kedvéért az opponens észrevételeit nem szó szerint, hanem betű szerint fogom a továbbiakban is ideemelni, és úgy adok választ azokra, sorszámozva.

Opponens:

1. „*A levezetések és a fizikai gondolatmenet sok esetben hiányos, követhetetlen. Legnagyobb hiányosság az ,hogy (3.fejezet) eredményeinek mérésekkel (vagy más analitikus eredményekkel) való igazolása hiányzik, de a (2.fejezet) eredményeinek igazolására is, mindössze kijelentések vannak. Úgy gondolom, hogy ez a műszaki tudomány területén nem elegendő.*”

Válasz:

A 2. fejezettel kapcsolatban: a 2.7 fejezetben fel vannak sorolva azok a numerikus, szeparálteffektus- és összetett tesztek, amelyek eredményeimet igazolták, a következő hivatkozásokkal:

[1] Házi G., Mayer G., Farkas I., Makovi P., El-Kafas A. A., Simulation of a Small Loss of Coolant Accident by Using RETINA V1.0D Code, **Annals of Nuclear Energy**, 28, 1583-1594 (2001)

[2] Farkas I., Házi G., Mayer G., Keresztúri A., Hegyi Gy., Panka I., First experience with a six-loop nodalization of a VVER-440 using a new coupled neutronic-thermohydraulics system KIKO3D-RETINA V1.1D, **Annals of Nuclear Energy**, 29, 2235-2242, (2002)

[14] Házi G., Farkas I., Mayer G., RETINA - Numerikus és szeparált effektus tesztek, OMFB zárójelentés, ALK-00093/98, (2000)

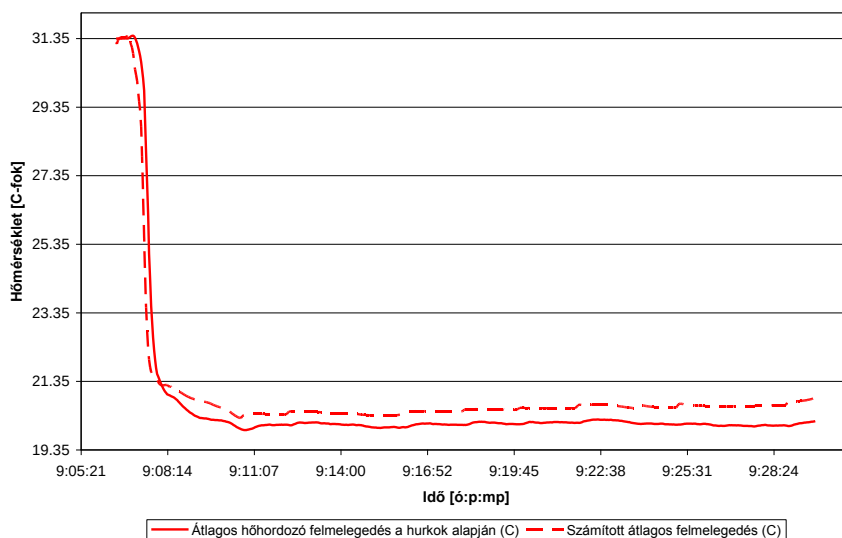
[17] Nagy Gy., Czékmeister S., Házi G., Jánosy J.S., Páles J., Szimulátor elfogadási tesztek, PA Zrt., (2009)

Ahogy dolgozatom 96. oldalán is írom, a rendszert évek óta két műszakban használják a Paksi Atomerőműben. A dolgozatom beadása és a bírálat megérkezése óta meglehetősen hosszú idő telt el, azóta a rendszert beépítettük a Paksi Atomerőmű VERONA zónamonиторozó rendszerének szakértői változatába, kialakítva így a VERETINA rendszert (RETINA csatolva a VERONA neutronfizikai modelljével). Így, tudomásom szerint, a világon egyedülálló módon lehetőség van arra, hogy a blokkokon történő mérések és a szimulátorban alkalmazott RETINA kód számításait közvetlenül összehasonlítsuk. Az eddig elvégzett ilyen jellegű összehasonlítások kiváló egyezést mutattak, ahogy arra néhány példát mutatok itt is (további

részletek: A VERETINA algoritmusok V&V vizsgálatainak összefoglalása, EK-RMSZL-2012-705-00/01, 2012. jún. című jelentésben).

1. Példa – Főkeringtető szivattyú (FKSZ) kiesése

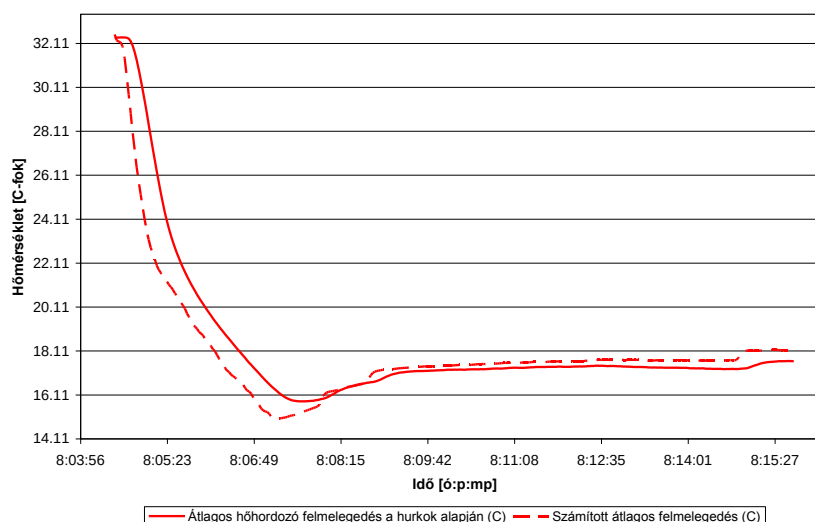
A vizsgált tranziens a 2. blokk 27. kampányának 196. effektív napján bekövetkezett FKSZ kiesés volt. A folyamat a 3. FKSZ kiesésével kezdődik, aminek hatására a reaktorvédelem leterheli a reaktort legalább 75%-ra. A leterheléssel egyidőben a 3. hurokban megfordul a hőhordozó forgalom, és a 3. hurok belépő csomóján visszafelé áramlik, majd kissé felmelegedve a melegági csomkon jut a felső keverőtérbe. Itt a relatíve hidegebb víz összekeveredik a zónából kilépő hőhordozóval.



1.ábra Átlagos hűtőközeg-felmelegedés a zónában.

2. Példa – ÜV3 turbinakiesés miatt

A vizsgált tranziens a 3. blokk 25. kampányának 115. effektív napján bekövetkezett turbinakiesés volt. A tranziens a turbinakieséssel kezdődik, aminek hatására a reaktorvédelem leterheli a reaktort 50%-ra. A leterhelés során a kiesett turbinához tartozó három gőzfejlesztőben a nyomás megemelkedik, és ennek következtében ezeken a hurkokon a zóna belépő hőmérséklete is magasabb lesz.



2.ábra Átlagos hűtőközeg-felmelegedés a zónában.

3. Példa – Főgőzvezeték-törés – AER-DYN-006 benchmark probléma

A VVER típusú reaktorok biztonsági számításait végző kódok validációjára több specifikus ún. AER benchmark problémát is létrehoztak szakemberek, majd ezeket a problémákat az analízishez használt kódokkal elemezték, a különféle intézetek és kódok által szolgáltatott eredményeket összehasonlították. A RETINA-val is több ilyen AER benchmark probléma lett végigszámolva. Itt példaként a 6. Benchmark problémát mutatom be röviden (további benchmark problémák és részletek találhatók a

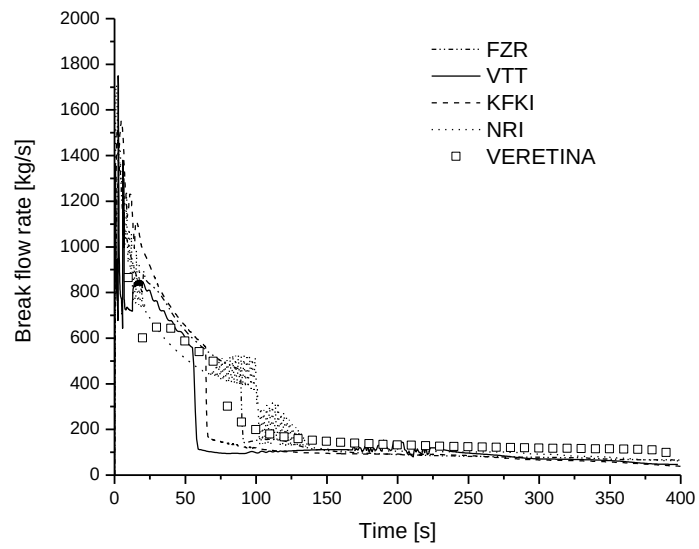
Páles J. Házi G., Horváth Cs., Végh J., Pócs I., Kálya Z., Validation of VERETINA, a new nuclear reactor analyzer system for VVER-440, Proc. of 22th Symposium of AER, Pruhonice, Czech Rep., 1-5 Oct. , 2012

cikkben).

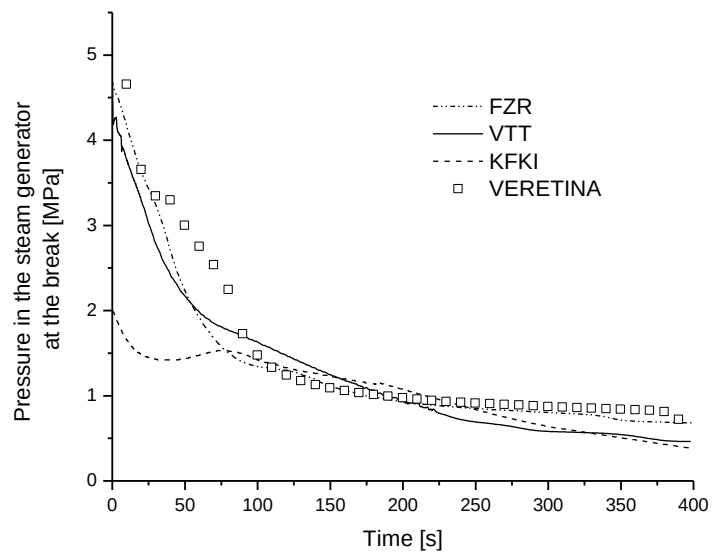
A 6. AER benchmark feladat az egyik főgőzvezeték (1. hurok) kétvégű (double-ended) törése, a reaktor névleges teljesítményén. Mivel a törés csak az egyik gőzvezeték érinti, ezért a probléma alapvetően aszimmetrikus. Tovább bonyolítja a problémát, hogy az aláhűlő szektorban található szabályozó rudak közül a két legértékesebből feltételezzük, hogy beszorul, így az ÜV1 jel érkezésekor nem esik le.

Az összehasonlításhoz az FZR Roosendorf (DYN3D/ATHLET neutronfizikai/termohidraulikai kódokkal), a VTT Energy Espoo (HEXTRAN/SMABRE), az AEKI Budapest (KIKO3D/ATHLET), továbbá az NRI Rez (DYN3D/ATHLET) intézetek által végzett számításokat használtam fel.

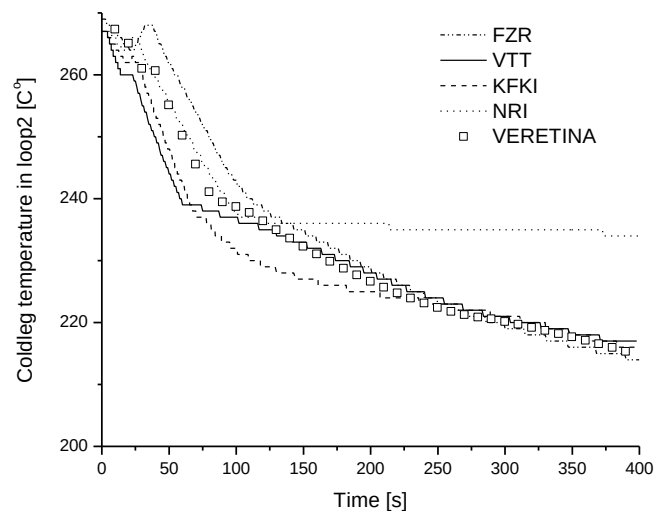
A 3-5. ábrán látható néhány jellemző fizikai változó alakulása a tranziens során. A görbék az egyes intézetek által végzett számítási eredményt, a négyzetszimbólum pedig a VERETINA kód számítási eredményét reprezentálja.



3.ábra Törésforgalom



4. ábra Nyomás a gőzfejlesztőben



5. ábra Hidegági hőmérséklet a 2. hurokban

Úgy gondolom, hogy ezek a példák is mutatják, hogy a dolgozatom többet takar, mint egyszerű kijelentéseket. Sajnos a terjedelmi korlátok nem tették lehetővé, hogy az értekezésben ezekre a részletekre is kitérjek, mivel legalább ilyen fontosnak tartottam a további eredményeim bemutatását.

A 3. fejezettel kapcsolatban: a 3.2.4 fejezetben az általam alkalmazott módszer pontosságát analizálom többféle kontextusban (többek között analitikus eredményeket felhasználva). A 3.3, 3.4.5, 3.5 fejezetekben, többek között, más számítások eredményeire és mérésekre hivatkozva ismertetem eredményeimet. A teljesség kedvéért felsorolom, hogy a hivatkozott művekben milyen formában történt az eredmények igazolása:

- a. A 3.2.4 fejezetben analitikus számításokkal vettem össze a rács-Boltzmann módszert, sőt azt demonstráltam, hogy a rács-Boltzmann módszer képes számábrázolási pontossáig visszaadni a sík falak közötti parabolikus sebességprofilt (Poiseuille áramlás), amennyiben a rács orientációja a határoló falakhoz képest kedvező. Az ezzel kapcsolatos eredményeim többek között az alábbi cikkben jelentek meg:

[29] Házi G., Accuracy of the lattice Boltzmann method based on analytical solutions, **Physical Review E**, 67, 056705 (2003)

- b. A 3.3.1 fejezetben homogén, izotróp lecsengő turbulenciát modellezve elemzem az ún. kompresszibilitási hibát. Az 54. oldalon megjegyzem, hogy a [40] irodalomban a rács-Boltzmann módszerrel kapott eredményeket a Navier-Stokes egyenletek pszeudospektrális megoldásával vettem össze, kiváló egyezést kapva.

[40] Házi G., Jiménez C., Simulation of two-dimensional decaying turbulence using the "incompressible" extensions of the lattice Boltzmann method, **Computers and Fluids**, 35, 280-303, (2006)

Ehhez hasonlóan, az örvénykölcsonhatási vizsgálatok során is összehasonlítottam a rács-Boltzmann módszer eredményeit pszeudospektrális számításokkal. Az ezzel kapcsolatos eredmények megtalálhatók a cikkben:

[46] Tóth G., Házi G., Merging of shielded Gaussian vortices and formation of a tripole at low Reynolds numbers, **Physics of Fluids**, 22, 053101, (2010)

- c. A 3.3.3 fejezetben turbulens áramlás szimulációját mutatom be egy pálca mentén, ún. szubcsatornában. Ahogy a 62. oldalon írom, a számítások eredménye Trupp és Azad [54] által végzett mérésekkel lett összehasonlítva (sebességek várható értékei, Reynolds feszültségek). Az összehasonlítás a következő cikkben jelent meg:

[52] Mayer G, Páles J., Házi G, Large eddy simulation of subchannels using the lattice Boltzmann method, **Annals of Nuclear Energy** 34, 140-149, (2007)

Az opponens által igényelt vizsgálatok bemutatása tehát folyóiratcikkeimben megtörtént. Értekezésemben csak röviden ismertettem azokat, mivel nem gondoltam, hogy egy MTA doktori értekezésben azokat részletesebben le kellene írni.

Opponens:

2. „Az értekezés egyes részleteivel kapcsolatban a következők állapíthatók meg.
Ad/ 2.Fejezet
A tárgyalási mód a jól ismert RELAP manuelekben alkalmazottakat követi.
a./ 2.1 pontban már –a kétfázisú áramlások modellezését meghaladóan- a nyomottvizes atomerőmű primerköri rendszer szimulációját is tárgyalja a szerző.
b./ 2.2 pontban felhasznált nemegyensúlyi kétfázisú alapegyenletek ismertek, szerintem a tranziensek legtöbb részére a “lassu tranziensek” szimulációjára elegendő lenne a drift flux alapegyenletek felhasználása, ami jelentősen egyszerűsítene a feladatot. Hiányolom, hogy ezek közti választásra semilyen elemzés nem került közlésre. Az egyenleteket még ki kell egészíteni az állapotegyenletekkel is.”

Válasz:

A szimulátorban nem csak lassú tranzienseket kell modellezni. A drift flux modellt egyébként sem csak lassú tranziensekhez lehet alkalmazni. Továbbá megjegyezném, hogy a RETINA drift flux modellt használ, ahogy az a 2.2 fejezetben le van írva. Itt szintén szerepel, hogy az egyenletek ki vannak egészítve állapotegyenlettel, a 2.4.5 fejezet pedig ismerteti a drift flux modellt.

Opponens:

3. „c./ 2.3 es 2.4 pontokban a kiegészítő feltételek kerültek bemutatásra.
d./ 2.5 pont a primerköri járulékos modelleket tartalmazza, most már egyre jobban haladva a primerköri rendszer modell felépítéséhez. Itt nagyon hiányzik, hogy a hőforrásként szereplő, mindig csatolt neutron kinetikai modelljéről a szerző nem tesz említést. Ugyancsak hiányolom a kapcsolt szabályozók és védelmek működését, mert ezek nélkül nincs rendszerszintű szimuláció.

A szelepek modellezésénél hiányolom pl: a BRU-A/K lefuvató hiszterézises speciális karakterisztikájának megadását és korrekt figyelembevételét, ezek nélkül szintén nincs pontos turbina kiesés, vagy teherledobás szimuláció. Erre a (2.31) összefüggés alkalmatlan.”

Válasz:

Bár a teljesléptékű szimulátor számos modelljéhez van valamilyen közöm (pl. az irányítástechnikai modell elkészítéséhez felhasznált GRASS rendszer tervezésében és fejlesztésében magam is aktívan részt vettem), ezek a modellek nem kizárólag az én szellemi termékeim, így azoknak meggyőződéseim szerint nincs helye egy MTA doktori értekezésben. Annál is inkább így van ez, mert a szimulátorban modellezett, kétfázisú termohidraulikai modellhez kapcsolódó technológiai rendszerek több ezer sémaképet tesznek ki. A modellezett szelepek közül egy-egy szelep kiemelését és részletes bemutatását értelmetlennek tartom. A neutronkinetikai modellt szintén nem én fejlesztettem, ugyanakkor hivatkozom arra a 2.7 fejezetben.

Opponens:

4. *„Meglepetésre a szerző min. 2%-os pontosságú szimulációt igazol vissza. Egyszerűen ez a numerikus eljárás pontosságot jelenti, de nem a fizikai jelenség szimulációjának pontosságát. E kettőnek egymáshoz semmi köze. Emiatt ezt nem tudom elfogadni. A szimulációs eredményeit erőművi kísérleti mérésekkel, vagy más, pl: RELAP programmal való számítási eredményekkel össze kellett volna hasonlítani grafikonokon.”*

Válasz:

A megadott 2%-os pontosság nem a numerikus módszer pontossága, ahogy azt a dolgozatban egyértelműen leírtam (22. oldal), hanem az állandósult állapotbeli megoldás pontossága 2%-on belüli (sőt sok esetben kisebb mint 1%), ahol a referenciát az erőműben folyamatosan mért jellemzők szolgáltatják. Mellesleg ez teljesléptékű szimulátorokkal szemben támasztott, ANSI szabvány szerinti elvárás, amit ennek megfelelően a paksi kollégák természetesen a RETINA esetén is megköveteltek.

Opponens:

5. *„A 2.5.4 pontban a kritikus kétfázisú kiáramlásokra komoly mérések készültek, pl: Moody összefüggések, ezek használatát hiányolom. Nem tartom kielégítőnek a kifolyási egyenletek csak számításokkal való korrigálását.”*

Válasz:

A RETINA-ban alkalmazott modell egy széles kísérleti bázison alapuló összefüggés. Az eredeti Moody korrelációval a RETINA fejlesztésének kezdeti fázisában számtalan problémám akadt, ezért is tértem át egy egyszerűbb, ugyanakkor szélesebb kísérleti bázison ellenőrzött modellre. A modell pontosságára jó példa a 3. ábra, ahol látható, hogy a törésforgalom a főgőzvezeték-törésnél hasonló lefutású, mint más, biztonsági elemzésekre használt kódokban.

Opponens:

6. „e./ A 2.6 pont az egyenletek numerikus megoldását tartalmazza. Tulajdonképp a megoldásban használt módszerek Jacobi mátrix, ritka mátrixok, hypermátrixok, stb használata már mind ismertek. Szabadjon utalnom pl: Csáki Frigyes: Fejezetek a szabályozástechnikából, Állapotegyenletek, MK, 1973 kiváló alpművére, mely a Jacobi mátrixokkal való megoldásokkal részletesen foglalkozik. Vagy pl: Lovass-Nagy Viktor : Mátrixszámítás, Tankönyvkiadó, 1972 kiváló könyvére, amely a felhasznált hypermátrixokkal való műveleteket részletesen tartalmazza. Hiányolom, hogy a felhasznált Jacobi mátrix elemeit nem közli, hogy ellenőrizhető legyen, ezért az eredményeit nem tudom elfogadni.”

Válasz:

A Newton-Raphson módszer alkalmazása során egy szimuláció adott időpillanatában, minden egyes iterációban egy új Jacobi mátrix áll elő (ld. 18. oldal). Egy-egy ilyen mátrix több mint 10 000 elemet tartalmaz. Ezek megadása egy MTA doktori értekezésben, úgy gondolom, hogy értelmetlen lenne.

Opponens:

7. „Hiányolom, továbbá, annak vizsgálatát, hogy az inverz számításnál egyik mátrix sem szinguláris, azaz a $\det [] = 0$. Az általa átrendezett mátrixokkal a számítás gyorsabbá válik feltételezhetően, de ez nincs bizonyítva. Bár ennek gyakorlati jelentősége van, de a tudomány számára nem jelent különösen új eredményt.”

Válasz:

A mátrix szingularitásának ellenőrzése triviális feladat, ezért nem említettem. Ha a mátrix szinguláris lenne, nem tudnám invertálni, vagyis nem tudnám az adott jelenségeket szimulálni. A particionált inverz formula használata tette lehetővé, hogy a rendszert valós időben tudjam alkalmazni, ennek hiányában a megoldás nem volt valósidejű. Így használatának előnyei bizonyítottak, ahogy azt a dolgozatban is leírom (18. oldal).

Opponens:

8. „Hiányolom azt is, hogy pontosan mit ért a Jacobi mátrixok automatikus kiszámításán. Automatikusan kiszámolja már a deriváltakat a Fletcher, R , Powell, M. : A rapidly convergent descent method for minimization. Computer Journal, 1963, July publikáció is. Megjegyzem, hogy több mint 25 éve vannak használatban szimbolikus nyelv alapú Jacobi mátrix elemeit is meghatározó softwarek, amelyekkel elegánsan megoldható a feladat. Fontos információ lenne az is, hogy milyen gyakran kell frissíteni a Jacobi mátrix elemeit. Ugyancsak hiányolom a számítási hibát ábrázolni a számítási lépésköz függvényében, vagy akár a nodalizáció változtatásával kapcsolatos eredményeit. Ezek lennének a jelölt saját új fontos eredményei, ezekről azonban legfeljebb kinyilatkoztatások olvashatók.”

Válasz:

A 2.6.4 fejezetben ismertettem a Jacobi mátrix meghatározásának automatizált menetét, vagyis minden műveletnél automatikusan meghatározom a kiszámolt mennyiségek folyamatváltozók szerinti deriváltját, így áll elő végül a Jacobi mátrix. Nyilvánvaló, hogy egy ilyen komplexitású rendszernél szimbolikus nyelv alapú módszer (pl. Maple) nem használható, mivel a Jacobi mátrix egyes elemeinek a kiszámítása a rendszer pillanatnyi fizikai állapotától függ (a számítás feltételek sokaságán vezet a végső megoldáshoz).

A módszer konvergenciájával, hibájával kapcsolatos vizsgálatok a rendszer fejlesztésének kezdeti fázisaiban történtek:

[14] Házi G., Farkas I., Mayer G., RETINA - Numerikus és szeparált effektus tesztek, OMFB zárójelentés, ALK-00093/98, (2000)

Opponens:

9. „f./ A 2.7 pontban ,meglepetésszerűen–az eddig hiányolt- neutron kinetikai model(KIKO.) is megjelenik. De csak bizonyos tranzienseknél . Elöttem nem világos, hogy a kapcsolat on-line, vagy csak off-line modú. Aztán a 22. oldalon megjelennek a különböző szimulált tranziensek,de itt megint nem szerepelnek épp a felhasznált neutron kinetikai modellek.”

Válasz:

A 3. pont kapcsán már megjegyeztem, hogy azokról a modellekről nem értekeztem, amelyek nem a saját eredményeim, így a szimulátorban használt neutronfizikai modellről sem. Ugyanakkor teljesléptékű valósidejű szimulátorokban és így ebben az esetben is csak „on-line” kapcsolat képzelhető el a modellek között. A csatolásról bővebb információk találhatók a

[2] Farkas I., Házi G., Mayer G., Keresztúri A., Hegyi Gy., Panka I., First experience with a six-loop nodalization of a VVER-440 using a new coupled neutronic-thermohydraulics system KIKO3D-RETINA V1.1D, **Annals of Nuclear Energy**, 29, 2235-2242, (2002)

cikkemben.

Opponens:

10. „g./ A 2.8 pontban végül a szerző három tranziens példát ismertet a rendszerrel kapott eredményekre (2.3 ,2.4 es 2.5 ábrák). Ezekből semmi nem állapítható meg a szimulációjának pontosságára. Hiányolom, hogy eredményeit nem hasonlítja össze az erőművi kísérleti eredményekkel, és/vagy más szimulációs softwarekkel kapott eredményekkel. Ezt mindenki így csinálja már 30 éve. Modelljének alkalmasságát a fentiek miatt nem tudom elfogadni.”

Válasz:

Ahogy a dolgozat 2.8 pontjának elején írom, a tranziensek bemutatásával azt szerettem volna érzékeltetni, hogy milyen komplexitású problémák vizsgálhatók a rendszerrel. A 4. pontban már választ adtam az opponensnek a pontossággal kapcsolatban megfogalmazott véleményére.

Opponens:

11. Ad/ 3.Fejezet

„Ez a fejezet eltér az eddigi primerkörü rendszermodell kérdésektől. A jelölt az egy és kétfázisú áramlások finomabb u.n mezoszkopikus modellezésére az ismert rács-Boltzmann módszert választotta.

a./ A 3.2 pontban leírja, hogy a rács-Boltzmann (B) módszer lényegesen eltér az eddigiekben alkalmazott Navier-Stokes (NS) egyenletet felhasználó módszertől. Mi a hiányossága a NS egyenletnek ? Kérdésem, mivel tud többet a B módszer, mint a NS módszer? Mit hoz be fizikailag , amivel ő többet tud majd? Kellene egy határréteget, és a surlódást is definiálni és vizsgálni.”

Válasz:

Itt több kérdés is felmerül, egyenként fogok választ adni.

A rács-Boltzmann módszer, mint sok más módszer is, alkalmas a Navier-Stokes egyenletek numerikus megoldására (34. oldal). Bár sehol nem állítom, hogy valamilyen hiányossága lenne a Navier-Stokes egyenletnek, az azonban tény, hogy pl. kétfázisú áramlások esetén ezeket az egyenleteket ki kell egészíteni további egyenletekkel, akármilyen numerikus módszert is használunk fel a probléma megoldására.

Nem ismerem a NS módszert, itt az opponens feltételezésem szerint arra kíváncsi, hogy a Navier-Stokes egyenletek megoldására alkalmas különféle numerikus módszerek közül miért preferáltam a rács-Boltzmann módszert. A választ, és azt, hogy miben tud ez többet, mint a többi numerikus módszer, a 30. oldalon részletesen leírtam. Ha csak egy fontos előnyt kellene kiemelnem, akkor az az lenne, hogy a módszer részecske-természete miatt nagyon mély fizikai alapokra támaszkodik. Ennek köszönhető, hogy kiterjesztése pl. kétfázisú áramlásokra könnyebben megtehető, mint bármely más numerikus módszer esetén. Ennek az elmélkedésnek egy részletesebb kifejtése megjelent az alábbi cikkemben is:

Házi G., A rács-Boltzmann módszer, **Fizikai Szemle**, 7-8 szám, 244. oldal, (2009)

Az utolsó mondatra a védésen szívesen válaszolok, ha az opponens kifejti, hogy itt mire gondol, mert én ebben a formában ezt a felvetést nem értem.

Opponens:

12. *„A 3.1. ábrán , mik mozognak az adott sebességgel molekula v.csoportok vagy elemi térfogatok és ezek a térfogatok mekkora méretűek. És a surlódó erők hogy vannak figyelembe véve. Miért egy pontból mennek a vektorok 18 pontba ,mit kell érteni ezeken fizikailag, sebesség még lehetne, de nyomásra nem lehetne ilyen. Aztán az elemi cellák, hogy kapcsolódnak egymáshoz, a vektoroknak folytonosoknak kell lenni. A vége-selem módszernél ezek le vannak írva”.*

Válasz:

Az itt szereplő kérdésekre a 32-36. oldalon részletes választ találhat az opponens, de azért itt is igyekszem röviden válaszolni a felvetésekre.

A rács egyes vektoraihoz részecskeeloszlás-függvényeket rendelünk, ezek mozognak, folyadék-részecskéket reprezentálva. Egy rácpontnál azért van 18 irány, mert így pl. garantálható makroszkopikus szemszögből az, hogy a Navier-Stokes egyenletben is szereplő

feszültségtenzor izotróp lesz (vagyis mindegy lesz, hogyan fedem majd le az áramlási tartományt a rácsommal, a kettő egymáshoz képesti viszonya nem fogja a megoldás pontosságát egy adott mértéknél jobban befolyásolni).

A sűrűlódás itt, mint a valós életben is, a részecskék ütközésének és impulzusaik szétosztásának a következménye, ahogy az a 32. oldalon le van írva.

Opponens:

13. „Nem világos, hogy az elemi cellában megjelenő második fázisú közeget, ezzel az anyag- energia- és momentum cserét miképp modellezi. A jobb érthetőségért nagyon hiányzik egy jelölés és dimenzió jegyzék.”

Válasz:

Elismerem, hogy a jelölésjegyzék tényleg segíthette volna az opponens munkáját, bár igyekeztem a dolgozatban használt valamennyi változót nevén nevezni. A 3.4 fejezetben részletes hivatkozásokkal ismertettem, hogyan lehet a módszert kiterjeszteni kétfázisú áramlások modellezésére. Valójában a második fázis modellezésére több lehetőség közül választhatunk, ahogy azt az alábbi cikkben is kifejtem:

[19] Házi G., Imre A., Mayer G., Farkas I., Lattice-Boltzmann Methods for Two-Phase Flow Modeling, **Annals of Nuclear Energy**, 29, 1421-1453, (2002)

Opponens:

14. „Nem világos, hogy a főáramlási sebességhez , hogyan kapcsolja a stochasztikus 3D turbulens pulzációs sebességeket, s azokat, hogy határozza meg.Turbulens pulzációt nem lehet számolni,csak mérni. Az energia áram is hiányzik.”

Válasz:

Turbulens áramlások modellezésére direkt numerikus szimulációt és nagyörvény-szimulációt végeztem, ahogy az az 54-64. oldalakon le van írva. Mindkét esetben időfüggő szimulációt végzünk a fluktuáló sebességkomponenst teljesen vagy részlegesen felbontva. Az opponens állítása, miszerint turbulens pulzációt nem lehet számolni, csak mérni, tévedés. Itt csak két klasszikus művet sorolnék fel a témával kapcsolatban:

Moin P., Direct Numerical Simulation: A Tool in Turbulence Research, Annual Review of Fluid Mechanics, 30, 539-578, (1998)

Piomelli U., Large Eddy Simulation: achievements and challenges, Progress in Aerospace Sciences, 35, 335-362, (1999)

Az energiamegmaradás kérdéskörével a 3.4.3 fejezetben foglalkoztam.

Opponens:

15. *Alapvetően hiányzik a fizikai megfeleltetés. Ugyancsak nagyon hiányzik egy a cellákra vonatkozó teljes és egységes egyenletrendszer megadása a kapcsolódási egyenletekkel.*

Válasz:

Az első felvetéssel kapcsolatban az a véleményem, hogy a fizikai megfeleltetés sok szempontból, jóval mélyebb, mint bármely más, folyadékdinamikában használatos numerikus módszer esetén (leszámítva a molekuláris dinamika szimulációkat). Az egyenletrendszert megadtam a dolgozat 33. oldalán (3.2 és 3.3 egyenletek egyfázisú közeg esetén, és ezeket egészítik ki még a 3.141 és 3.146 egyenletek kétfázisú áramlások esetén).

Opponens:

16. *Problémás a változók kezdeti értékeinek bevitele is. Egy matematikai szempontból való kedvező bevitelnek semmi köze a valóságban kialakulóhoz. Megfelelő fizikai háttér nélkül, csak matematikai büveszkedéssel nem lehet új eredményt elérni. A 34. oldalon (3.7) írja, hogy az egyensúlyi eloszlásfüggvényeket "matematikailag helyesen" kell megválasztani, mi van ha a lehetséges fizikai változók (sebesség, nyomás stb) eleve más eloszlással rendelkeznek? Mutassa meg, hogyan kell kiszámolni a matematikailag kedvező eloszlást az adott valóságos peremfeltételek mellett, mert egyébként csak találgatásról van szó. A csatornába való belépésnél, ha egy pontban ismerjük az átlagolt változókat (nyomás,sebesség,stb.),hogyan lehet ezekből térbeli eloszlást kreálni a modelljéhez?*

Válasz:

Elismerem, hogy a „matekatikailag helyes” kifejezés nem szerencsés megfogalmazás. Itt csak arra szerettem volna utalni, hogy az eloszlásfüggvényeknek természetesen összhangban kell lenni a makroszkopikus mennyiségekkel. Vagyis a kezdeti feltételek megadása nem problémás, mindösszesen csak kicsit nehezebbnek tűnhet, mint mondjuk a véges térfogat módszerek esetén. Itt ugyanis a kezdeti makroszkopikus mennyiségeket felhasználva, a (3.3) egyenlet alapján lehet kiszámítani az eloszlásfüggvények kezdeti értékeit. Ha ismert a kezdeti nyomás, akkor abból meghatározhatjuk a sűrűséget. Ezt a sűrűséget és a sebességeket behelyettesítve a (3.3) egyenletbe, az eloszlásfüggvények kezdeti feltétele adott.

Opponens:

17. *„Az is érdekelne, hogy a mindössze matematikailag helyes eloszlásból,hogy lehet egy kísérlet valódi eredményeit előre kiszámolni? Mi a helyzet összenyomható és össze nem nyomható közeg esetén?
A kiindulás már fizikailag sincs rendben. Csak jól megalapozott fizikai modellel lehet új összefüggést és új eredményeket elérni.
Bármilyen vizsgálatai előtt, a számítási modelljének stabilitását is bizonyítani kellett volna,dirac -delta és egység ugrás perturbációknál.
b./ hiányolok egy eset vizsgálatát,amely mindkét B és NS módszerrel kapott eredményeket ténylegesen összehasonlítja, irodalmi kísérletileg kapott eredményekkel. Egy ilyen jól definiálható eset lehet pl: a gömb, vagy henger körüli folyadék áramlás alakjának és az áramlás leválási pontjainak meghatározása
(Eckert: Heat and Mass Transfer, McGraw Hill,1959,161 o.)”*

Válasz:

A dolgozatban bemutatott módszer alapvetően összenyomhatatlan közegek vizsgálatára alkalmas, bár kisebb módosításokkal kiterjeszthető összenyomható közegek vizsgálatára is. Egy kísérlet eredményeit úgy lehet előállítani, ahogy pl. a 61. oldalon és az ott hivatkozott, kapcsolódó cikkben

[52] Mayer G, Páles J., Házi G, Large eddy simulation of subchannels using the lattice Boltzmann method, **Annals of Nuclear Energy** 34, 140-149, (2007)

ismertetve lett. A módszer stabilitási tulajdonságaival foglalkoztak sokan mások. Ugyanezt tudom elmondani a henger körüli áramlással kapcsolatban (számos BSc., MSc. dolgozatot találhat az opponens akár az interneten is ilyen jellegű vizsgálatokkal kapcsolatban). Mellesleg amikor a témával elkezdtem foglalkozni, én is és a vezetésemre bízott PhD hallgató (Mayer G.) is végzett hasonló vizsgálatokat, de ezeket nem tartottam érdemesnek megemlíteni egy MTA doktori értekezésben. Ilyen jellegű információk megtalálhatók pl.

Mayer G., A rács-Boltzmann módszer alkalmazása egy- és kétfázisú áramlási problémák modellezésére, PhD, BME NTI, (2009) Témavezető: Házi G.

Opponens:

18. *c./ Tovább haladva a 33-40 oldalakon semilyen irodalmi hivatkozás nincs. Esetleges feltételek jelennek meg. A 3.2.3 pontban szereplő levezetések számomra követhetetlenek, így a Chapman-Enskog sorfejtés is, ezekre semilyen irodalmi hivatkozás sincs. A jobb érthetőségért itt is nagyon hiányzik egy jelölés jegyzék dimenziókkal, mivel így az egyenletek egyes jelöléseinek jelentése nem állapítható meg.*

Válasz:

Úgy gondoltam, hogy az itt szereplő levezetés önmagáért beszél, de elismerem, hogy ennek befogadása nem egyszerű, ezért néhány hivatkozás segíthetett volna. Ahogy már korábban is említettem, az egyes mennyiségeket, első megjelenésüknél definiáltam.

Opponens:

19. *A 41-57 oldalak között különböző szerzők eredményei és sajátjai kavarognak, sok esetben csak kinyilatkoztatások vannak. Ezért általam nem állapítható meg a szerző saját hozzájárulása az eredményekhez. d./ Nagyon meghökkentő a megállapítása az 51 oldalon ami azt sejteti, hogy mindössze egy hibatag különbség lenne a B és a NS módszerek megoldásai között, ha jól értem? De akkor minek az egész? Tulajdonképp a NS módszernél is, amit végeselemmel old meg, olyan kicsire választhatja meg a térfogatot, amilyenre akarja.*

Válasz:

A 41-57. oldal között szereplő eredmények mind a sajátjaim, ahogy az a hivatkozott cikkekből is megállapítható. Ezeken az oldalon másokra csak az előzmények vagy az eredményeim más szempontból történő bemutatása miatt hivatkoztam. A Navier-Stokes egyenleteket megoldó jól ismert numerikus módszerekhez képest itt valóban megjelenik egy hibatag, ami azonban

alacsony Mach számú áramlásoknál (összenyomhatatlan közegeknél) gyakorlatilag elhanyagolható. A hibatagért cserébe viszont nem kell megoldani a nyomás Poisson egyenletet, amely igen komoly előnyt jelent más módszerekhez viszonyítva.

Azért érdemes a módszert használni, mert:

1. finomskálás kétfázisú áramlások modellezésének kiterjesztésére nem ismerek jobbat,
2. a módszer sokkal hatékonyabb, mint sok más módszer, mivel csak lokális műveletekre épít.

Opponens:

20. „e./ A 3.3.1 és a 3.3.2 pontban a szerző turbulens áramlások modellezésére használja módszerét. Mit állapított meg amiről a világ nem tudott? Turbulenciát vizsgál ,miközben turbulencia modellje nem található meg. Hogy történik a stochasztikus pulzációs sebességek modellezése és meghatározása. Miért nem jó az eddigi k-eps modell? Mi a vele való számítási összehasonlítás eredménye. Zavaró, hogy keveri a nagyméretű örvények és a turbulencia fogalmát. “Enstropia” fogalmat használ, erre a Google.com angol nyelvű találatot egyet sem talál (néhány spanyol hely van). Az 58 oldalon az ábrákon nincsenek dimenziók. Számításainak pont a felhasznált egyenletek ,kezdeti értékei hiányoznak,nem reprodukálhatók. Senki se tudna ez alapján egy számítást elvégezni. Műszaki alkalmazhatósága kérdéses. f./ A 3.3.3 pontban ismét turbulens áramlást vizsgál subcsatornában, s itt említi meg először,hogy a kereskedelmi CFD kódokban, a turbulenciát figyelembe vevő tag is van ,azaz k-eps empirikus turbulencia modell is. Saját turbulencia modelljének leírását itt se találom.”

Válasz:

Az opponens ismét több kérdést és észrevételt tesz, amelyekre egyenként válaszolok.

A turbulencia kutatásának egyik kiváló eszköze a direkt numerikus szimuláció, amelynek többek között az az ismérve, hogy a turbulenciát nem kell modellezni, hanem az áramlást a legkisebb skáláig (Kolmogorov skála) fel kell bontani.

A k-epsilon modell kapcsán elmondható, hogy van olyan probléma, ahol jól működik, van ahol nem. Az [53]-as cikkemben részletesen elmagyarázom, hogy pl. csökötegek áramlásának modellezésére nem alkalmas, mert nem képes anizotróp Reynolds feszültségeket kezelni:

[19] Házi G., On the turbulence models for rod bundle flow computations, **ANNALS OF NUCLEAR ENERGY**, 32, 755, (2005)

Az opponens azt írja, hogy keverem a nagyméretű örvények és a turbulencia fogalmát. Nem keverem. A nagyörvény-szimuláció szintén egy széles körben ismert eszköz turbulens áramlások modellezésére.

Én is rákerestem a google-n az enstropiára (igaz én úgy, hogy: enstrophy). A találatok száma kb. 75 ezer volt. Sajnos a turbulenciával kevesen foglalkoznak hazánkban, így néhány fogalom még magyarázatra szorul. A magyar nyelvű irodalomban tudomásom szerint nincs az enstrophy-nak megfelelő fogalom, ezért vettem a bátorságot enstropiának nevezni.

Nem alkottam új turbulenciamodellt, ezt nem is állítottam sehol.

Opponens:

21. „Később a szerző is kiterjeszti a B módszerét a 3.3.3 pontban a nagyörvény szimulációkhoz is azáltal, hogy a turbulencia modellezésére örvényviszkózitás-modellt alkalmaz. Erre ismertet egy Smagorinsky féle turbulencia modellt, mely a 3.110 - 3.112 egyenleteket használja fel. Mi a fizikai alapja ennek a modellnek? ! Nem világos megint, hogy a Smagorinsky modellt használta a disszertáció további pontjaiban is, vagy ott nem ismertetett másokat? Említi, hogy k -eps , vagy a Smagorinsky modellt kell használni, de mikor melyiket? Ez mitől függ ? Visszatérve a jelen esetre, ezzel milyen fizikai jelenséget akar kiszámolni, amit eddig nem tudtunk meghatározni ? Az ismert, átvett turbulencia modelljeivel végzett számítások azért se fogadhatók el újnak, mivel azokkal semilyen olyan fizikai jelenséget nem határozott meg és nem bizonyított, amelyeket a korábbi módszerekkel nem lehetett volna meghatározni. Kérdéses, hogy az elemi cella modelljében hol helyezkednek el a turbulencia modelljei ?”

Válasz:

A Smagorinsky modell egy jól ismert modell a turbulenciamodellezés témakörén belül, ott használtam, ahol le is írtam, a 3.3.3 fejezetben. Az ezt megelőző számítások, mint ahogy ott le is vannak írva, direkt numerikus szimulációk. Nem írok olyat, hogy a k -epsilon v. Smagorinsky modellt kell használni, tehát a választásra vonatkozó kérdésre ebben a kontextusban nem tudok válaszolni.

A fizikai jelenség, amelyet először sikerült demonstrálni: a másodlagos áramlási cellák megjelenése csökötegek szubcsatornáiban. Ezek létezésére korábban csak mérési eredmények alapján lehetett következtetni a Reynolds feszültségek anizotrópiájából. A

[52] Mayer G, Páles J., Házi G, Large eddy simulation of subchannels using the lattice Boltzmann method, **Annals of Nuclear Energy** 34, 140-149, (2007)

cikkben sikerült először időfüggő szimulációval, explicit módon kimutatni ezek létezését.

A 3.110-3.112 egyenletek definiálják, hogy a turbulenciát hogyan lehet modellezni a rács-Boltzmann módszeren belül. A Smagorinsky modell, mint minden örvényviszkózitás-modell, az ún. alrácsfeszültségek nagy örvényekre gyakorolt hatását egy disszipációs folyamatként modellezi, amelynek hátterében az ún. energiakaskád áll (nagy örvények átadják energiájukat a kisebbeknek, míg végül az energia eldisszipál a legkisebb, Kolmogorov skálákon).

Opponens:

22. Ezután a 3.4 pontban a kétfázisú áramlásokra is kiterjeszti módszerét. Nem világos, hogy a kiterjesztés mennyiben az ő eredménye, vagy az [55] irodalom átvétele. A 3.4.2 pontban szereplő levezetés számomra követhetetlen, mivel jelölési jegyzék, és dimenzió jegyzék sincs. Ezért sem lehet rekonstruálni az egyes egyenleteket.

Válasz:

Bár a kiterjesztés alapgondolata nem az én eredményem, azonban az alkalmazott potenciál saját eredmény. Szintén fontosnak tartom megemlíteni, hogy az e modell hiányosságait bemutató cikkemre:

[19] Házi G., Imre A., Mayer G., Farkas I., Lattice-Boltzmann Methods for Two-Phase Flow Modeling, **Annals of Nuclear Energy**, 29, 1421-1453, (2002)

hivatkozó kutatóknak több általam felvetett problémát sikerült megoldaniuk. Továbbá, az eredeti módszer termodinamikai inkonzisztenciájával kapcsolatos problémára megoldást nyújt az általam származtatott kölcsönhatási potenciál. Ezért úgy gondolom, hogy a módszer fejlődéséhez magam is hozzájárultam. Ezt igazolja az a tény is, hogy a módszert eredetileg kidolgozó Shan többször hivatkozott cikkeimre.

Az eredmények természetesen rekonstruálhatók, és bár nincs jelölési jegyzék, az egyenletek után vagy már korábban a szövegben mindig definiáltam, hogy mi mit jelöl.

Opponens:

23. g./ Előzőekben ismertetett és most felhasznált pszeudopotencial módszer alkalmazásai követhetetlenek, ad hoc jellegűek és nem reprodukálhatók az olvasó számára.

h./ Ezután ezen ismeretek felhasználásával a falak nedvesíthetősége és buborékdinamikai vizsgálatokat végez a reaktor zóna csökötegeiben. A falak nedvesítését csak mérésrel lehet meghatározni, ilyen mérései nincsenek, pedig a kontaktszöget ezek határozzák meg, ezeket vakon nem lehet felvenni, hiszen a felületi feszültségeket meg kellett volna mérni, amik a kontaktszöget meghatározzák, helyette, egy paraméter G_w használata nem elegendő. Erre alapozva a falon ülő buborék alakokat ad meg a különböző felvett kontakt szögek esetén. Ezzel szemben a kontakt szögeket három tér (buborék-fal, buborék-folyadék és folyadék-fal) közti felületi erők szabják meg együttesen. (l. Eckert könyv, 12.8 ábra, 343 o.), s amelyekről nem beszél. Megint nincsenek specikálva a további kiindulási feltételek se, így a hőbevitel, (a hőátadási tényező és a Δt , a fal-folyadék hőmérsékletkülönbség), és az áramlási forma, valamint a határréteg, mivel a buborék mérete beleesik a határréteg vastagságába. A buborék növekedés és leválás alapvetően függ a Δt -től, erre semmilyen megállapítást nem tesz. Számolja a buborék felfelé mozgását is, amit nem hasonlít össze alapvető kísérleti eredményekkel, pedig vannak ilyenek. (Ellion, M.E. (1953): A study of the mechanism of boiling heat transfer, Dissertation (Ph.D.), Caltech) Kérdésem, miben tudunk többet eredményeivel, mint amit Ellion 1953-ban tudott?

További problémák, pl: a Re számokban éppen milyen átmérő szerepel. Vizsgálatokat végzett különböző gravitációk mellett, így $g=10^{-4}$ esetén? ezt, hogy kell értelmezni, mi a dimenziója? A kiindulási adatok azonossága nélkül nem lehet összehasonlításokat végezni. (74-78 o.) Ugyanezek érvényesek pl: a 79 o. a heterogén forrás modellezésére is. E modellezések feltételei itt is hiányoznak. A 75, 76, 83, 84, 86, 89, 91 oldalakon levő ábrákon sok dimenzió hiányzik.

Megállapítható, hogy modelljével nem végzett szisztematikus számításokat, ami alapján új fizikai törvényszerűséget lehetne megállapítani és kísérletei sincsenek, amivel a számítási módszer általános helyességet tudná bizonyítani. Így pl: a 3.14, vagy a 3.23 ábrákon az áramlási kép (sebességprofil, gomolygások) változására nincs vizsgálat arra nézve, hogy minek a függvényében, hogy gomolyog. Egy ilyen kapcsolatot lehetne egy új fizikai összefüggés.

*Megjegyzem, hogy a reaktorokban (nagy hőfluxosoknál) a hűtőközegben a hőt alapvetően a turbulens pulzáció okozta keveredés szállítja. A fő- áramlásra merőlegesen a pulzáció kever, ami a hőmérsékletek gyors kiegyenlítődését okozza. Erre vonatkozóan semmi konkrét megállapítást nem tett. Új fizikai jelenségekre nem jött rá, amit bizonyított volna.
Csak ad hoc jellegű numerikus vizsgálatai vannak ,melyek nem definiáltak és így nem reprodukálhatók, mérései nincsenek.
A buborékok leválási frekvenciáját is elemzi, csak kijelentései vannak.*

Válasz:

Ismét több kérdés és állítás keveredik. Ennek ellenére megpróbálok átfogóan válaszolni az itt felsoroltakra. A 3.4.4 fejezetben megadom, hogy a Gw paraméter milyen módon képes a fal nedvesíthetőségét kontrollálni. Az opponens makroszkopikus szemszögből látja a kontaktszög-modellezés problémáját, a rács-Boltzmann módszer nagy előnye ezzel szemben, hogy a falak és a folyadék között kialakuló kölcsönhatásokat molekuláris szinten szabályozhatjuk. Ugyanez a helyzet a felületi feszültséggel vagy viszkozitással kapcsolatban, amelyek szintén részecskék kölcsönhatásainak következményei.

A buborékleválással kapcsolatban csak néhány kísérleti és elméleti eredményre hivatkoztam a dolgozatban, de az e munka kapcsán készített cikkben minden egyes jelenség vizsgálatánál kísérleti és elméleti eredményekkel vettem össze szimulációs eredményeimet. Vagyis a cikkekben megtalálhatja ezeket az opponens, az MTA értekezés nem tartalmaz minden részletet. E összehasonlítás eredményeként alakulhatott ki pl. a konklúzió: a numerikus szimulációk jól összhangban vannak pl. Zuber korrelációjával (erre is történik hivatkozás a dolgozatban).

Az opponens azt kérdezi, hogy miben tudunk többet, mint egy 1953-ben elkészített PhD szerzője? Az említett PhD valóban a forrás jelenségével foglalkozik. Idézek belőle:

„The first problem to be encountered in understanding the boiling mechanism is the process by which a bubble is generated. Since, this problem is beyond the scope of the present study, the commonly assumed conditions are assumed to the effect that the bubbles may form only at nuclei of sufficient size to overcome the initial surface tension force of the liquid and that these nuclei are made up of air or vapor or combination of both.”

Nem fogom megismételni azt, amit a buborékok keletkezésével és leválásával kapcsolatban a dolgozatban és a tézisekben eredményként felsoroltam, de munkám lényegében pont erre koncentrált, míg az idézett PhD-ben ezekkel Ellion nem foglalkozott: „beyond the scope of the present study”.

De azért, hogy próbáljak egy könnyen befogadható aspektust is adni: numerikus szimulációkkal sikerült reprodukálni néhány korábbi elméleti (analitikus) eredményt. A dolgozat megírása óta eltelt hosszú időben szintén sikerült kimutatni, hogy ha csak kis mértékben is bonyolítjuk a problémát (nem egy sík falról történik a leválás), az eredmények már nincsenek összhangban az analitikusan még kezelhető probléma eredményeivel. Például egy kis résből leváló buborék leválási átmérője és frekvenciája nem egyezik meg a síkfalról leváló buborék ezen jellemzőivel. Így megmutattam, hogy hiába szeretnénk, a világ nem egyszerű. Azért vagyunk sikertelenek a forrás jelenségének pontos modellezésében, mert az egyszerű modellek (analitikusan kezelhető modellek) nem helytállóak. Az általam is alkalmazott numerikus szimulációk talán segíthetnek a továbblépésben.

Azt, hogy ezt nem csak én gondolom így, alátámasztják a következők:

Nyolc évvel ezelőtt csatlakoztam egy akkor induló európai uniós projekthez, amelynek célja a nukleáris iparban használt szimulációs eszközök továbbfejlesztése volt. Ez volt a NURESIM projekt. A projektben akkor egyedül én foglalkoztam direkt numerikus szimulációval és buborékos áramlások finomskálás modellezésével. Négy évvel később, a projekt lezárása után induló NURISP projektben már három intézetben kezdtek hasonló vizsgálatokba. Munkám hatására az új szimulációs platformhoz tervezett CFD kódba (Neptune CFD), beépítésre került a Reynolds feszültség transzport modell. A tavaly indult NURESAFE projektben a termohidraulikai kutatásokat már kettéosztották, és az egyik alprojektben kizárólag ilyen jellegű vizsgálatokat végzünk. Ezen alprojektben belül én vezetem az egyik munkacsoportot.

Opponens:

24. „i./ A 3.5 pontban ismertetett módszerét szuperkritikus nyomású közegekre is kiterjeszti. Aztán már az űrsiklóra vonatkozó megfigyelések értékelésére is alkalmassá teszi modelljét. Mint eddig, ezek leírása is teljesen hiányzik. Numerikus kísérleteket végez, ezek adatai hiányosak, a számításai nem reprodukálhatók. Vélekedései vannak. Következtetéseit azok bizonyítása hiányában nem tudom elfogadni.”

Válasz:

Itt kérdés nem szerepel, csak vélemény, aminek kapcsán csak ismételni tudom magam. Az értekezés csupán kivonatossan ismerteti az eredményeket, a részletek a kapcsolódó cikkekben megtalálhatók:

Házi G., Márkus A., Modeling heat transfer in supercritical fluid using the lattice Boltzmann method, PHYSICAL REVIEW E, 77, 026305 (2008)

Házi G., Farkas I., On the Pressure Dependency of Physical Parameters in Case of Heat Transfer Problems of Supercritical Water, JOURNAL OF ENGINEERING FOR GAS TURBINES AND POWER, 131, 012904 (2009)

Itt két dolgot tartok fontosnak megjegyezni:

1. Nem hiszem, hogy van olyan szakember, aki úgy véli, hogy a Physical Review-ban pusztá vélekedést megjelentetnek.
2. A második cikk eredetileg egy konferencián tartott előadásom után, a konferenciakiadványban jelent meg. A folyóirat szerkesztőinek kérésére jelent meg ezután a folyóiratban is. Itt sem gondolom, hogy pusztá vélekedést érdemesnek tartottak volna meghívni publikálásra.

Opponens:

25. Összefoglalva a mű tudományos prezentálása nem megfelelő . A fizikai kiindulás mindenütt hiányzik, ami megalapozná a matematikai tárgyalást. A kezdeti eloszlást jól kell megválasztani, mit jelent? Nincsenek saját kísérletei, amivel bármilyen állítását bizonyítani tudná. Néhány hivatkozott idegen mérés bemenő adatai és feltételei ismeretlenek, így nem lehet összehasonlítani. A tárgyalási módja követhetetlen, saját levezetések hiányában inkább csak kijelentések vannak. Az eredményei nem reprodukálhatók. Irodalmi hivatkozások sok esetben hiányoznak, nincs jelölés jegyzéke, dimenziók hiányoznak, stb. Az előzőek végig vonulnak az egész műben, ezek alapján egy feladatot se lehet megoldani.

Válasz:

Itt már nem térek ki arra, amire korábban kitértem. A 41-54. oldalakon közölt levezetések mind sajátok, nem csupán kijelentések. Az itt szereplő levezetések megtalálhatók a hivatkozott cikkeimben, amelyekre több tucat hivatkozást kaptam, az eredményeket mások is felhasználták. Az általam hivatkozott méréseket a világban rajtam kívül sokan mások is felhasználják. Kérem, hogy opponensem adja meg, hogy melyik hivatkozott mérésnél gondolja, hogy felhasználhatatlan.

A tézisek kapcsán már nem adok további válaszokat, hanem egyszerűen felsorolom azokat a pontokat, amelyek alapján az opponens kialakíthatta a véleményét, de nem helytállóak:

1. Tézis

„Priméerköri rendszer modell már rengeteg van .” – ez, úgy gondolom, tévedés, különösen nem igaz a Paksi Atomerőmű esetén a szimulátorban használható modellekre. Ilyen célra tudomásom szerint csak egy létezik. Kérem, adja meg az opponens, ha ismer a RETINA-n kívül másik modellt, amely igazolhatóan alkalmas lenne a szimulátorban kétfázisú áramlások modellezésére.

„Az eredmények helyességének bizonyítására semilyen erőművi mérést, vagy program számított eredményét nem mutatja be. Ez az egyetlen munkája ami felhasználásra került műszaki alkalmazás során. “ – Mint említettem, a rendszert évek óta használják az erőműben, a rendszer mérésekkel, számításokkal validálva lett (ld. 4 pont).

2. Tézis

„szerint a rács- Boltzmann (B) módszere ugyanazt tudja mint a jól ismert Navier -Stokes (NS) módszer (legjobb esetben). A B módszer nincs egyértelműen fizikailag definiálva (bemeneti eloszlások találgatása, stb), nincs mérési bizonyítása, ezért nem tézis.” – Úgy gondolom ez is tévedés, ld. 21 és 23 pontokat, továbbá én nem ismerek „Navier-Stokes módszert”, Navier-Stokes egyenletek léteznek.

„Mig a NS fizikai tartalma ismert, itt a B módszert a 2.a.ban leírt problémák csak aláássák a NS módszerrel szemben .” - egy módszernek lehetnek előnyei és hátrányai is, ha az előnyök kárpótolnak a hátrányokért, akkor érdemes a módszert használni

„A 2.b-ben értelmetlen kijelentések vannak .” - Kérem az opponenst, hogy a védésen pontosan specifikálja, mire gondol.

„A 2.c. ben a turbulencia modellezésénél “analitikusan kimutattam, hogy ...milyen torzítás várható a kétpontos sebesség korrelációs függvényekben....amennyiben turbulens áramlás magasabbrendű statisztikáit vizsgáljuk.” Ez számomra érthetetlen . Analitikus vizsgálat csak lamináris áramlásnál lehetséges, másodrendű profillal . Egyébként a disszertációban erről nincs semmi, ezért ez kijelentés.” - ez is tévedés, az értekezés 41-45. oldala között található az ellenpéldák. Részleteket a hivatkozott [29] és [32] cikkeimben lehet megtalálni, továbbolvasásra pedig az e cikkekre hivatkozó több mint 20 független hivatkozás javasolható.

„Az alap probléma továbbra is az, hogy nincs egy saját definiált turbulencia modellje, amivel a turbulens pulzáció is figyelembevehető lenne, amit valamilyen módon megnyugtatóan bizonyított volna. Lásd a 3.3.3-ban leírt “turbulencia modellt “, ahol nincs pulzáció vektora

definiálva, s az sem, hogyan kapcsolódik az amugy is ingatag B módszeréhez.” – ahogy már írtam, direkt numerikus szimuláció esetén nincs szükség turbulenciamodellelre

„Ezek után meglepően felhívta figyelmet arra, hogy a CFD számításoknál a turbulencia modellt meg kell alapozni és erre a Reynolds-feszültség transzport modellt célszerű alkalmazni. Erre mi a bizonyítéka? Az eredményeit nem fogadom el tézisként.” – nem olyan meglepő, az [53]-as cikkem és az azokra kapott hivatkozások bizonyítják

3. Tézis

„Boltzmann (B) módszereken alapuló turbulens áramlások modellezésére alkalmas modelleket épített. A modellek nem kerültek elegendően leírásra, nem követhetők, a modellekkel nem végzett szisztematikus számításokat és ezeket nem bizonyította, ezért a modelleket nem lehet elfogadni.” – a modellekkel szisztematikus számítások (rácsfüggetlenség stb.) lettek végezve, az eredmények mérésekkel lettek összehasonlítva, az eredmények publikálva lettek [52], a cikkekre számos hivatkozást kaptam

„A turbulencia pulzációs sebességeket megadó modellje nincs. Ennek leírása is hiányzik. Nem ismeretes, hogy ez egyes számításoknál milyen turbulencia modellt alkalmazott a sok ismert közül, és miért?” – Mivel nincs ilyen modellem, nyilván annak leírása is hiányzik. A modellválasztással kapcsolatban ld. 62. oldal v. a részletekért az [52] cikkem és az azokra hivatkozó művek

„B módszerével kapott eredményeit nem hasonlította össze a jelenleg alkalmazott NS módszerrel (+ turbulencia modellel) kapott eredményekkel, akkor honnan tudjuk, hogy mennyivel jobb a B módszere.” – ez az állítás is tévedés, ld. 54. és 59. oldalon a hivatkozott [40]-es és [46]-os cikkeket. Mindkettőben a Navier-Stokes egyenletet pszeudospektrális módszerrel is megoldom, és a kapott eredményeket összevetem a rács-Boltzmann módszer által szolgáltatott eredményekkel (ez explicit le van írva az 54. oldalon is).

„Sajnos, a saját számításait nem ellenőrzi mérésekkel. Mivel a bonyoltabb áramlási feladatokat matematikailag messze nem tudjuk exact módon kiszámolni, ezért ezeknél a kísérleti ellenőrzés alapvetőnek tekintendő.

Csak itt kerül először szó idegen méréssel való, de kellőképpen nem definiált összehasonlításról. Numerikus eredményei nem reprodukálhatók mérésekkel nem bizonyítottak, és itt is csak kinyilatkoztatások vannak.” – történt kísérleti eredményekkel összevetés, ld. 60. oldal, részletek pedig a [46]-os cikkemben

Mivel a további téziseknél az opponensnek csak már korábban is hangoztatott kinyilatkozásait ismétli meg, néha számomra érthetetlen módon, pl. nem értem hogy kerül elő a 4. tézis kapcsán ismét a „turbulencia modelljei” kérdéskör, ezért ezen tézisekkel kapcsolatban, ha konkrétumot fogalmaz meg az opponens, akkor arra a védésen válaszolok.

Összefoglalásként szeretném megjegyezni: nem gondolom azt, hogy értekezésem hibáktól mentes. Egy jelölésjegyzék nyilvánvalóan megkönnyíthette volna az opponensek munkáját és akadnak valódi problémák is a dolgozatban (ahogy a másik két bíráló felhívta ezekre a figyelmemet). Az opponens bírálatának utolsó mondatával: „Itt is igaz, a kevesebb több lett volna.” kapcsolatban azt gondolom azonban, hogy egy MTA doktori értekezésnek nem szabad marginális kérdésekre keresni a válaszokat, főleg, ha azokat már mások megadták (gondolok itt például az opponens által javasolt henger mögötti áramlásra).

Dolgozatomban igyekeztem összefoglalva bemutatni azt, amit az elmúlt húsz évben elértem:

1. Egy műszaki és gazdasági szempontból is jelentős rendszert hoztam létre, amit Magyarország egyetlen atomerőművében napi két műszakban használnak.
2. A termohidraulika kutatása során elért eredményeimet rangos folyóiratokban publikáltam, cikkeimre több mint 150 független hivatkozást kaptam. Ezek a folyóiratok elvárják, hogy a közölt eredmények reprodukálhatók és megalapozottak legyenek.

Házi Gábor
Tudományos főmunkatárs
MTA EK