

OPPONENSI VÉLEMÉNY

Házi Gábor : “ Nukleáris reaktorok termohidraulikai problémáinak
numerikus modellezése különböző mérettartományokban”
című doktori munkájáról

A dolgozatban a Jelölt a nukleáris reaktorok egy- és kétfázisú hűtőközeg áramlási tranzienseinek modellezésében kíván újat nyújtani .

A mű két részre bontható . Az első részben (2.fejezet) a paksi erőmű primerkörében fellépő tranziens áramlási folyamatok,ezen belül különösen a kétfázisú állapotok pontosabb és valós idejű szimulációja kerül kidolgozásra. Itt a fő feladat a gyors, valós idejű szimuláció biztosítása.

A második részben (3.fejezet) az egy és kétfázisú áramlások belső szerkezetének finomabb elemzéséhez az ismert rács Boltzmann módszert választja és kutatja e módszer alkalmazásával esetlegesen elérhető új eredményeket.

A választott téma időszerű és valós érdeklődésre tarthat számot .

A mű formailag szép kidolgozású, inkább prózai leírású. Sajnos a téma tudományos prezentálása nem megfelelő és az eredmények bizonyítása minden esetben hiányzik. 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.

Az értekezés egyes részleteivel kapcsolatban a következők állapithatók 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 egyszerűsitené a feladatot. Hiányolom, hogy ezek közti választásra semilyen elemzés nem került közlésre. Az egyenleteket még ki kell egészíteni az állapotegyenletekkel is.

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.

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.

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.

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. 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.

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.

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 módú. Aztán a 22. oldalon megjelennek a különböző szimulált tranziensek, de itt megint nem szerepelnek épp a felhasznált neutron kinetikai modellek.

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 hasonlíttja 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.

Ad/ 3.Fejezet

Ez a fejezet eltér az eddigi primerkörü rendszermodell kérdésektől. A jelölt az egy es 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.

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 folytonosaknak kell lenni. A véges elem módszernél ezek le vannak írva. 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 es dimenzió jegyzék. 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.

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

Problémás a változók kezdeti értékeinek bevitele is. Egy matematikai szempontból való kedvező bevételnek semmi köze a valóságban kialakulóhoz. Megfelelő fizikai háttér nélkül, csak matematikai bűveszkedéssel 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?

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.)

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

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 meglehetősen a megállapítása az 51 oldalon ami azt sejteti, hogy mindössze egy hibás 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.

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 - ϵ s 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 ábrákban nincsenek dimenziók. Számításainál 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 subcsatornáknál, 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.

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?

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.

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 nedvesíthetőséget és buborékdinamikai vizsgálatokat végez a reaktor zóna csökötegeiben. A falak nedvesítését csak mérésével lehet meghatározni, ilyen mérései nincsenek, pedig a kontaktszögek ezek határozzák meg, ezeket vakon nem lehet felvenni, hiszen a felületi feszültségeket meg kellett volna mérni, amik a kontaktszögek 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 specifikálva a további kiindulási feltételek se, így a hőbevitel, (a hőátadási tényező és a ΔT , a fal-folyadék hőmérséklet

különbség), 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 semilyen 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 ,hogya kell értelmezni,mi a dimenziója? A kindulási 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 ábrák 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 ábrák az áramlási kép (sebességprofil, gomolygások) változására nincs vizsgálat arra nézve, hogy minek a függvényében, hogy gomolyog. Egy ilyen kapcsolat 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 jelenségre nem jött rá, amit bizonyított volna.

Csak ad hoc jellegű numerikus vizsgálataik vannak ,melyek nem definiáltak és így nem reprodukálhatók, mérései sincsenek.

A buborékok leválási frekvenciáját is elemzi, csak kijelentései vannak.

i./ A 3.5 pontban ismertetett módszerét szuperkritikus nyomású közegekre is kiterjeszti. Aztán már az úrsiklóra 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.

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.

1. Tézis

Primérköri rendszer modell már rengeteg van . A technológia ismert. Az egyenletek megoldására felhasznált matematikai szabályok ismertek.

Ezek felhasználása nem új fizikai eredmény .

Az eredmények helyességének bizonyítására semilyen erőművi mérést, vagy program számított eredményét nem mutatja be. Ez az egyetlen munkája ami felhasználásra került műszaki alkalmazás során. További kifogások a vonatkozó pontban kerültek részletes ismertetésre.

Tézisként nem fogadom el .

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.

Míg a NS fizikai tartalma ismert, itt a B módszert a 2.a-ban leírt problémák csak aláássák a NS módszerrel szemben . A 2.b-ben értelmetlen kijelentések vannak . Melyik és milyen mértékben, mihez képest? , nincs összehasonlítás. 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.

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 amúgy is ingatag B módszeréhez. 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.

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 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?

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. 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.

Az eredményeit nem fogadom el tézisként.

4. Tézis

Az általa létrehozott pseudopotenciál kiterjesztésén alapuló modell exact leírása megint hiányzik. Nem állapítható meg az [55] irodalomban leírtakon túl, mi az ő munkája. Eredményeit mérési eredményekkel nem bizonyítja, nem reprodukálhatók. Turbulencia modelljei nem kerültek reprodukálhatóan ismertetésre, és az sem, hogy milyen új fizikai összefüggést hozott létre, mérésekkel bizonyítva.

Eredményeit nem fogadom el tézisként.

5.Tézis

A modelljeinek leírása hiányzik, így a numerikus vizsgálatainak eredménye nem követhető és ellenőrizhető. Kinyilatkoztatások vannak.
Eredményeit nem fogadom el tézisként .

6.Tézis

Fizikai modellje itt se kerül közlésre, csak vélekedések és megfigyelések vannak, amelyek nem tézisek. Eredményeit mérésekkel nem bizonyítja .
Eredményeit nem fogadom el tézisként .

A fentiekre való tekintettel, a disszertáció , - mivel nem tartalmazza a saját munkájának (modelljeinek) szabatos és követhető leírását, számításait az ismert Navier Stokes (NS) módszerrel nem hasonlítja össze, továbbá nem tartalmaz változók függvényében, szisztematikus mérésekkel bizonyított új fizikai törvényszerűségeket, - nem felel meg a követelményeknek.

Különösen szembetűnő, hogy matematikai modelljeinek fizikai megalapozása alapvetően hiányzik . Már pedig az áramlástan fizikai alapon nyugszik. Ezért a disszertációt egészében sem fogadom el. A nyilvános vita kitűzését nem javaslom.

Itt is igaz, a kevesebb több lett volna.

Benedek Sándor
a műszaki tudomány doktora

2014. január 8.