

**Faitli József „Kontinuitási elmélet és ipari alkalmazásai durva diszperz rendszerek viselkedésének a jellemzésére” című MTA doktori értekezésének bírálata**

**Hivatalos bíráló: Vad János**

*Vastag dőlt betűvel szedem azokat az összefoglaló kritikai megállapításokat, amelyeket a nyilvános védésen be kívánok mutatni, véleményem rövid és lényegre törő ismertetése érdekében.*

*Kérem a Pályázót, a vastagon dőlt betűvel szedett kérdéseimre, kéréseimre feltétlenül adjon írásbeli választ.*

*Ha egy adott kritikai kommentemben nem szerepel vastagon dőlt betűvel szedett felvetés, arra a kommentemre a Pályázónak tételesen nem szükséges válaszolnia. Ha külön nem válaszol, azt úgy tekintem, hogy a szóban forgó kritikai kommentet elfogadta.*

*Ha valamelyik kritikai kommentemmel nem ért egyet a Pályázó, természetesen módjában áll annak cáfolata az írásbeli válaszban és a nyilvános védésen egyaránt.*

## **BEVEZETÉS**

Az értekezés Faitli József – a továbbiakban: Pályázó – tudományos eredményeit foglalja össze. *A doktori munka újdonságtartalmát, a bemutatott tudományos eredményeket elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez, az alábbi szempontok szerint:*

- *Az értekezés egy összetett témakör – szilárd részek és fluidum által alkotott rendszer – egyes sajátosságait tárgyalja hiánypótlóan, tudományos újdonság-elemek felvonultatásával, elméleti igényességgel, ipari alkalmazásokba beépíthető módon.*
- *Hiánypótlók a Pályázó által bemutatott empirikus, mérésekből származó adatok és megállapítások, melyek felértékelődnek az által, hogy egy igen összetett témakört ural szisztematikus, célzott mérések révén a Pályázó; első kézből kapunk tőle méréseken alapuló információt.*
- *A kutatás módszerére – ezen belül az elméleti okfejtés, kísérleti tevékenység, numerikus modellezés szinergiájára – vonatkozóan a Pályázó újdonság-elemeket is tartalmazó megoldásokat, eljárásokat mutatott be.*

Az értekezésben bemutatott eredmények egyik fő érdemét azok ipari beágyazottságában, gyakorlati hasznosulásában látom. Méltatandó a Pályázó mérés-technikai felkészültsége, gyakorlati érzéke és széles látóköre, melyek révén az elméleti eredményeket kísérletekkel, empiriával támasztotta alá. Az elméleti eredmények hasznát a Pályázó konkrét terepi esettanulmányokon demonstrálta, ezzel fokozva az értekezésben leírtak meggyőző erejét. Intellektuális élmény volt azt megélni az értekezés olvasása során, hogy a nyersanyagelőkészítés és az áramlástechnika „szálai összeérnek”. Dicséretes, hogy a kutatási programokat, azok eredményeit a Pályázó hatékonyan beépíti az oktatásba, a tehetséggondozásba. Az eredmények gyakorlati fontosságának szemléltetésére három ipari alkalmazási területet tárgyal a Pályázó: hidromechanizáció; települési szilárd hulladék (TSZH) lerakók hógazdálkodása; őrlés keverőmalmokban.

A Pályázó által elvégzett munka szerteágazó, nagy volumenű. A Pályázó által bemutatott sokrétű munka terjedelméhez igazodik e bírálat terjedelme is.

A továbbiakban, túlmutatva az értekezésnek és a Pályázó munkájának fenti méltatásán, kritikai megjegyzéseimet közlöm.

## FORMAI MEGJEGYZÉSEK

**F.1)** Az értekezés 1. oldalán szereplő címében szereplő „kontinuitási elmélet” kifejezés első olvasatra számomra – tévesen – azt sugallta, hogy az értekezés egyik súlyponti témája a kontinuitási egyenlet, ami az áramlástanban a tömegmegmaradást, anyagmegmaradást fejezi ki, a külföldi szaknyelvben is: pl. „continuity equation”, „Kontinuitätsgleichung”. E szempontból célszerűbb lett volna pl. a „kontinuum-megfontolás” kifejezést használni. Az 5. oldalán rögzíti az értekezés, hogy a tudományos munka célja elsőként a modellalkotás volt: itt zárójelben szerepel a „kontinuitási elmélet” kifejezés. Ez által kezdett csak számomra körvonalazódni, hogy itt nem azt jelenti a kontinuitás, amire én számítottam, hiszen a kontinuitás, anyagmegmaradás elve szerinti leíró egyenletek régóta jól ismertek. Maga a Pályázó is hivatkozik a kontinuitási egyenletre, a 21. oldalán.

**F.2)** 7. oldal (2.1.2) és (2.1.3) egyenletek: Megtévesztő, hogy két eltérő jellemzőt ugyanúgy „A” szimbólummal jelöl az értekezés. Szerencsés körülmény, hogy a kétféle jelölt mennyiséghez a Szimbólumjegyzék szerint különféle dimenziók tartoznak, pl. „A” [-], és „A” [ $m^2$ ]. Ezért a vonatkozó egyenletekből, dimenzió-megfontolásokkal, az olvasó többletmunkájával visszafejthető, hogy az adott egyenletben melyik jellemzőre gondolt a Pályázó. Hozzáteszem azonban, hogy műszaki dokumentumban az objektivitásra kell törekedni, és nem célszerű az olvasó kreatív többletmunkájára hagyatkozni.

**F.3)** 8. oldal: Egy „új számítási módszer” kerül említésre. A 9. oldalán is: „új módszer”. Nem derül ki, hogy mi ez az „új”? Csak a 7. oldal alapján sejthető, hogy a Wilson és szerzőtársai (2002 → 2010) által készített [119-121] cikkekben szereplő módszerről van szó – ami annyiban „új”, hogy 12...22 évvel ezelőtt került közlésre.

**F.4)** Ábrák segítettek volna a megértést, akár Függelékbe, Mellékletbe szervezve: pl. 14. oldal, „A függőleges átáramlású körülepítőknél...” témához. / 15. oldal: „derített folyadék (I) zóna” stb. témákhoz.

**F.5)** A Szimbólumjegyzék – 114.-115. oldalak – kritikája: A jelölésbeli zavaró kettősség több alkalommal megjelenik az értekezésben: „A”, „D”, „K”, „T”. Az értelmezhetőséget nehezíti, hogy a Szimbólumjegyzékben a szimbólumok nincsenek ABC-sorrendbe szedve, pl. a „T” két helyen bukkan fel. A görög szimbólumokat külön jegyzékben, szintén alfabetikus sorrendben, lett volna célszerűbb megadni. 9. oldal: „A felfelé áramló folyadék ( $V_f$ )(...)” térfogata... a térfogat-szimbólum keveredik a „V” sebességgel.

**F.6)** Általános formai kritika: az értekezésben szerepelnek olyan megfogalmazások, formai hibák, bizonytalanságot keltő adatok, melyek megfelelő átalakítással tovább erősítették volna a tömör és szabatos műszaki szöveget.

Példák: 12. oldal: „a másik elképzelés...” – az „elképzelés” műszakilag túl enyhe megfogalmazás. / 12. oldal: Célszerű lett volna megfogalmazni a) b) c) kapcsolatát. / 13. oldal: „jelenleg még nem határozható meg” – valaha meghatározható lesz? Cél ez? / 13. oldal: „x/d” arány: hibás jelölés. / 16. oldal: Tarján és Debreczeni professzorok [110] akadémiai doktori értekezése valóban kétszerzős? / 16. oldal, 37. oldal, 67. oldal, 106. oldal: „sajnos”... tényszerű megállapításokra van szükség, érzelmi vonatkozás nélkül. / 18. oldal: „20 egyenletet közöltem” – miért lényeges itt a 20 megadása, a részletek ismerete nélkül? / 21. oldal: „véltetően csak newtoni folyadékokra érvényes anyagegyenlet” – nem érthető, hogy a „véltetően” szóval mire kívánt utalni a Pályázó. / 22. oldal: „a kinetikai energia által meghatározott örvény egy része a szemcse potenciális energiájává alakul át” – ez képzavar, hiszen az örvény: fluidum (anyag); és mint anyag, egy része nem tud potenciális energiává átalakulni. / 30. oldal, (3.1.14) egyenlet: a benne lévő számértékeket normálalakba célszerű írni, a sok nullás helyiérték elkerülésére. /

31. oldal: „felvettük”, 34. oldal: „építettünk” – többes szám. Több kutató együttműködése? / 38. oldal (3.1.21) egyenlet: Az itt szereplő  $y$ ,  $x$  jellemzők nyilvánvalóan nem a Szimbólumjegyzékben szereplő  $y$  és  $x$  koordináták – hanem? / pl. 44. oldal: „stacionér”. A „stacionárius”, esetleg – de kevésbé – a „stacioner” megnevezés az elterjedt (ahogyan az 57. oldalon használja is a Pályázó). / 50. oldal: A pernyék és salakok felsorolása megegyezik a 74. oldali felsorolással; helytakarékosság érdekében elég lett volna csak itt megadni, és amott visszahivatkozni. / 51. oldal: „az  $r$  helyvektor éppen a semmibe mutat” – miért; definíció szerint hová kell, hogy mutasson a Pályázó szerint ez a helyvektor? / 54. oldal: „Megállapítottam... Wilson módszer...” – Az ilyen összefoglaló, kvázi tézispont-jellegű megállapításhoz szükséges lenne az előfeltevések, közelítések, vonatkozó irodalmi hivatkozások kigyűjtése: pl. „Wilson módszer” – a [118-121] hivatkozások közül melyikre gondol a Pályázó? / 67. oldal: „ezért erre a kérdésre nem lehet itt válaszolni” – melyik kérdésre?

**F.7)** Helyenként elütések, nyelvtani hibák. Pl. 11. old. „lerakodásának”. / „un” sok helyen. / 11. oldal: „megválasztani (,) a” / 22. oldal: „megközelítésű (,) ezért” / 23. oldal: „szükséges (,) a lamináris” / 29. oldal: „az óta” / 38. oldal: „kísérleti” / 44. oldal: „stacinér” / 51. oldal: „kontinuum” / 76. oldal: „fehérvárcsúrgói”

**F.8)** 52. oldal: Itt kerül elő, több mondatba elosztva, az a „kontinuitási elmélet” – az 1.1) korábbi kommentem szerint némileg félrevezető elnevezéssel –, amelyet a Pályázó az 1. tézispont-hoz kapcsolódóan megfogalmazott. Célszerű lett volna itt kiemelni, összefoglaló mondatokban, hogy amikor a Pályázó a „kontinuitási elméletre” hivatkozik, az alatt a saját definíciója szerint mit ért. Ez az 1. tézispontban végül megfogalmazásra került.

## **TARTALMI MEGJEGYZÉSEK**

**T.1)** Az 5. oldalon kerül elő a TSZH lerakók hógazdálkodása, mint az eredmények hasznosulásának egy gyakorlati területe. Említés szintjén kerül elő csak a 6. oldalon, hogy hő bevezetése és elvétele egyaránt előfordulhat. Itt lett volna szükséges vázlatosan kifejteni az olvasó segítésére, hogy mi a célja a TSZH lerakók hógazdálkodásnak? Erre választ csak a 19.-20. oldalon kap az olvasó: hőbevezetés – a TSZH bomlásának előmozdítására; hőelvonás – hőhasznosítás érdekében. Az értekezés logikailag helyes felépítése szempontjából célszerűbb lett volna ezt előbbre hozni.

**T.2)** Az 5. oldalon szó esik hőcserélő csővezetékekről – itt felmerül a kérdés, hogy az értekezés fő motívumát képező durva diszperz rendszerek e csővezetékek szempontjából hogyan kapcsolódnak az áramláshoz? Hiszen, feltehetően, nem az áramlásoknak teret adó hőcserélő csövekben vannak jelen durva diszperz rendszerek. A 21. oldal kapcsán ismét felmerül a kérdés, hogy a hőkút, annak hatókörzete, a hőelvonás, a depóniagáz termelése szempontjából hol kapcsolódnak össze az értekezés címében szereplő, alábbi központi motívumok? a) Kontinuitási elmélet, amely a lamináris alaprteleg fogalmához – azaz fluidum áramlásához – kötődik; b) Durva diszperz rendszer. E ponton megfogalmazódott a kérdés: a TSZH lerakók hógazdálkodásának témakörében hol szerepelnek fluidum áramlásának kitett durva diszperz rendszerek? A konkrét félüzemi technológia tárgyalásánál, a 48.-49. oldalakon sem derül ki, hogy a TSZH lerakó hógazdálkodásának témaköre együttesen tárgyalná a „kontinuitási elmélet” + „durva diszperz rendszerek” motívumokat. A 91. oldalon nyilvánvalóvá válik, hogy bár a kommunális szilárdhulladék valójában háromfázisú rendszer, a fluidum áramlása itt nem merül fel.

**T.3)** A 6. oldalon kerül először elő gömb alakú szemcsék mozgásának tárgyalása. Később, ugyanebben a bekezdésben: „(...) a nyomáseloszlásból származó erő komponens pedig főleg a szemcse alakjától függ, (...)”. Itt elbizonytalanodtam: nem gömb alakú – azaz adott alakú –

részecskékről van szó? Az „X” jellemző a Szimbólumjegyzék szerint a „szemcseméret”. Ha gömb alakú a szemcse, akkor miért nem nevezzük ezt konkrétan átmérőnek? Ha nem gömb alakú, akkor hogyan származtatjuk ezt a jellemző méretet? A 7. oldal alján továbbra is: „gömb alakú szemcse”. Az 53. oldalon ismét a gömb kerül elő, mint alakzat. Ezzel szemben nem világos, hogy a 81. oldalon kezdődő gondolatmenetben is gömb alakot feltételez a Pályázó? Egy amorf, gömbtől jelentősen eltérő alakzat esetén, az alaktól függően, teljesen másként alakulhat a 82. oldal (4.5.2) egyenlet szerinti hidrodinamikai felhajtó erő. Sőt, a részecskére nyomaték hathat, az amorf részecske foroghat, ami még inkább eltávolíthatja a faltól. A szemcse alakjának kérdése érinti a 87. oldal „finom” illetve „nagy” szemcse tárgyalását is, a faltól eltaszító erő kapcsán. Felmerül a kérdés a teljes értekezés kapcsán, hogy mely tárgyalási részletek kapcsán engedhető el a gömb feltételezés? Milyen szemcse-alakzatok jellemzik a tényleges durva diszperz rendszerek egyes fajtáit? Ez a kérdéskör érinti a 2. Tézispont gyakorlati alkalmazhatóságát is.

***Kérem a Pályázót az értekezésben szereplő fogalmazási bizonytalanságok feloldására: a) Tegye egyértelművé, hogy mely tézisek, altézisek teszik szükségessé a részecskék gömb alakjának feltételezését! b) Milyen tényleges szemcsealakok jellemzik a tárgyalt diszperz rendszereket? c) A tényleges, gömbtől eltérő szemcsealakok hogyan befolyásolják a tézisekben szereplő megállapítások érvényességét?***

**T.4)** A 7. oldalon kerül említésre a „Stokes tartomány” valamint „Newton és teljes turbulens tartomány”, valamint lamináris és turbulens áramlások. Itt nem kerül ismertetésre, hogy e tartományok mit jelentenek, és hogyan függenek pl. a Reynolds-számtól. Csak az 53. oldalon kerül elő részletes magyarázat e tartományokra. Célszerű lett volna ezt előre hozni, az olvasó segítségére.

**T.5)** Először a 8. oldalon merül fel az értékes számjegyek, értékes helyiértékek problematikája, látva a Reynolds-számra megadott, teljes turbulens tartományra vonatkozó 22361 küszöbértéket, valamint a relatív süllyedési végsebesség 8,944 értékét. Gyakorlati szempontból nincs jogosultsága ilyen „pontossággal” megadni e számértékeket – ugyanis e „pontosság” a gyakorlatban nem létezik. Véleményem szerint, ha a számokat normálalakba írjuk, akkor az értekezésben vizsgált, igen összetett, sok empirikus mérnöki megfontolást tartalmazó témakörben elegendő kerekítés után két értékes helyiértéket megadni: pl. a fenti két példában:  $2,24 \cdot 10^4$ , valamint  $8,94 \cdot 10^0$ . Ugyanis a százados értékes jegy megadása – és már az ezredes jegy elhagyása – közvetve azt jelenti, hogy a megadott számérték maximálisan  $\pm 0,005$  abszolút bizonytalansággal rendelkezik. Ez pesszimiztikus szemléletben is csupán  $\pm 0,5\%$  relatív bizonytalanságot jelent:  $0,005 / (\geq) 1,00 = (\leq) 0,005$ . Ez messzemenőig megfelel a témakörhöz kapcsolódó mérések, mérnöki számítások megvalósuló pontosságának, illetve pontossági igényének.

A fenti példához hasonlóan nem releváns pl. a 73. oldalon az 51910 Reynolds-szám ilyen „pontosságú” megadása – főként nem úgy, hogy nincs megadva annak becsült bizonytalansága. A Reynolds-szám bizonytalanságának kérdése kicsúcsosodik a 88. oldalon, miszerint „Európában 2320 az elterjedt lamináris – turbulens átmeneti Reynolds szám newtoni folyadékokra, viszont ugyanez az USA-ban 2100”. A klasszikus szakirodalom mérési adatai sok esetben hiányosak az empirikus adatok hibabecslése kapcsán. Ha csak e két információt nézzük, azok úgy hozhatók mérnöki szempontból egységes szemléletbe – szakirodalmi hibabecslés híján –, hogy az átmenet becsült Reynolds-száma 2200,  $\pm 100$  bizonytalansággal, ami mérnökkileg még elfogadható, előtervezést jól megalapozó  $\pm 5\%$  bizonytalanságot jelent e klasszikus mérésekre.

A 102. oldalon ismét csak túlzásnak gondolom a  $z = 0 \dots 3,945$  m tartomány felső hatásának ilyen „pontosságú” megadását: ez mm „felbontást” jelent: mekkora a jellemző nagyságrendi

„szemcseméret” ehhez képest? Feltehetően nagyságrendekkel nagyobb, ezért nincs relevanciája a mm „felbontásnak”.

Adat-megadás szempontjából példaértékű a (2.1.12) egyenlet alatti lista. Hasonlóképpen példaértékű gyakorlati szempontból a 49. oldal megállapítása: „az alsó 10 m a jó hőtermelő réteg. Ebben a rétegben jó hőátadást kell biztosítani, míg a felső 6 m-es rétegben már gondoskodni kell a cső szigeteléséről.” A gyakorlat, a tervezés szempontjából releváns az ilyen egyszerű, lényeglátó, közelítő méretmegadás. Mérnöki számításokhoz jól használható formátumban ad meg számértékeket pl. a 70. oldal táblázata is.

***Kérem a Pályázót, véleményezze az értékes helyiértékekre, számjegyekre vonatkozó kritikámat – miszerint normál alakban megadva általában elegendő kerekítés után két értékes helyiértéket megadni a vizsgált témakörben –, és egyetértése esetén vizsgálja meg, érinti-e ez a tézispontokban szereplő megállapításokat!***

**T.6)** Általános tartalmi kritika: az értekezésben számos helyen szerepel olyan leírás, amelyben az információt alaposabban ki kellett volna fejteni, a megfogalmazást szabatosabbá, pontosabbá kellett volna tenni, az olvasó segítésére, és a meggyőző erő fokozására. Egy műszaki leírásban elvárható a tömörség, szabatosság, pontosság. Ehelyett számos alkalommal a bíráló „kreatív olvasására” hagyatkozik az értekezés. Az olvasó sok esetben oda-vissza kell, hogy lapozzon az értekezésben, számos információt az értekezés későbbi részleteiben elrejtve talál meg. Ez az értelmezés gördülékenysége ellen hat.

Példák: 9. oldal: „Az állandó sebességeloszlás feltételezése...” – hol feltételezzük?  $p = 1,5$  kitevő javaslata. Milyen esetre? / 9. oldal: „189 nem-newtoni közegben mozgó szemcse...” – alatta pedig: „több száz... szemcse...” – ellentmondás? – milyen jellegű nem-newtoni közegek ezek? / 11. oldal: Propellerkeverő, mint a szakaszos üzemű szuszpenziókészítés legfontosabb eszköze. „Propellerkeverő”: axiális átömlésű keverő. Valóban lényeges az axiális irányú domináns mozgás a szuszpenziókészítésben? Pl. radiális turbokeverő, pl. tárcsás lapkeverő: valóban kevésbé fontos e tématerületen, mint az axiális átömlésű propellerkeverő? Később előfordul: propeller- vagy turbinakeverő... furcsa megfogalmazás, mert a propeller egy munkagép (tengelyen bevezetett teljesítmény árán a közeg munkavégző képességét növeli), a turbina egy erőgép (a közeg munkavégző képességének csökkenése árán kimenő tengelyteljesítményt szolgáltat). Bizonytalan megfogalmazás. / 13. oldal: „energetikai minimum”: ez mit jelent, gyakorlati szempontból? / 13. oldal: „a teljesítmény-bevitel... kisebb fontosságú, mint a részecske-igénybevétel”. Milyen szempontból kisebb fontosságú? Hiszen mindkettő megvalósuló tény. / 13. oldal: „kis tartálynál, valamint kisebb szemcseméreteknél” – „nagy tartálynál és nagyobb szemcseméreteknél” – melyek a számszerűen megfogalmazott határok? / 16. oldal: függőleges tengely menti koncentráció eloszlás: valóban csak függőleges tengelyű csövekre vonatkozik az itt hivatkozott empiria? Mi a helyzet a szintén gyakori vízszintes, kétfázisú csőáramlásokkal? Ahogyan a 17. oldalon szerepel, több ezer km hosszúságú csővezetékek léteznek – nyilván elsősorban vízszintesen. / 23. oldal: „a turbulens áramlás a keverés miatt szükséges, a lamináris áramlásban pedig a reológia mérése történik...” nincs kifejtve, hogy ha a gyakorlati áramlás turbulens, akkor miért gondolja a Pályázó mérvadónak a lamináris áramlásban végzett reológiai méréseket. / 29. oldal: „amelyek a három folyási paraméter miatt kissé bonyolultak” – mi ez a három folyási paraméter? Csak sejthető, hogy ezek az  $m$ ,  $\tau_0$ ,  $K$  – igaz ez? A 85. oldalon lévő tárgyalás is három folyási paramétert említ, és  $n$ ,  $\tau_0$ ,  $K$  jellemzőket tárgyal. Itt már „ $n$ ” jelöléssel illeti a hatványkitevőt, ismeretlen okból. / 32. oldal: 120 mm belső átmérőjű csőben való süllyedés. Hogyan történt a sebességprofil figyelembe vétele, összevetve a (2.1.11) egyenlettel, illetve az értekezésben hozzá fűzött kommentekkel? / 38. oldal: „Az ülepítőhengeres mérések kiértékelése”: célszerű lett volna összefoglalóan hangsúlyozni, milyen eredményt, adatot származtat a Pályázó e

kiértékelésekből. / 38. oldal:  $H = f(t)$ : a Szimbólumjegyzéket nézve ez szó szerint azt jelenti: magasság az idő függvényében. E függvény származtatása, kiértékelése a fő mérés technikai cél? / 39. oldal: „a határreteg gyorsulása” – hol képződik e határreteg? / 50. oldal: Célszerű lett volna itt összefoglalóan megadni, hogy a homok és pernye részvételével alkotott diszperz rendszerek milyen nem-newtoni folyadéknak felelnek meg. / 52. oldal: „a 80 %-os szemcseméretet használtuk” – ez mit jelent? Csak a 87. oldalon kapunk erre választ. / 60. oldal: Nem világos, hogy a 4.2.6. ábrán megadott trendvonalak milyen elmélet alapján készültek, mit reprezentálnak. / 70. oldaltól: „apex”: Célszerű lett volna egy mondatban megadni, mi is ez. Természetesen utána tud nézni az olvasó, többletmunkával. / 74. oldal: „Megállapítottam, hogy a hazai ipari alkalmazások esetében...” – itt nem derül ki, hogy mi a megalapozottsága az itt megadott, pernyékre vonatkozó 160 mikrométer, és homokokra vonatkozó 50 mikrométer határ szemcseméreteknak. / 80. oldal: „sima falú csőben” – hidraulikailag sima? / 81. oldal: „feltételeztem... végsebességének a negyvenszerese” – miért éppen a negyvenszerese? / 84. oldal: „... a mért adatokra való illesztésével határozhatjuk meg.” – Hogyan illesztünk?

**T.7)** 22. oldal: Keverőmalmok méretezése: igénybevételi modell, makroszkopikus jellemzők alapján: „azonban nem törekszik arra, hogy magyarázatot adjon az aprítás okainak az elméleti leírására”.

***Kérem a Pályázót, tömören adja meg, hogy miért gondolja gyakorlatilag relevánsnak, hasznosnak a Pályázó a fent hiányolt elméleti leírást a keverőmalmok méretezésének témakörében: pl. alapvető trendek becslése, és ezzel a berendezés és az eljárás koncepcionális tervezésének, előtervezésének támogatása?***

**T.8)** A 24. oldaltól kerül elő a csövekben jellemző nyomások mérésének problematikája. A fali nyomásmegcsapolások kialakítása mögötti elmélet első közelítésben a természetes koordináta rendszerben felírt Euler-egyenlet normális irányú komponens egyenlete. Ennek értelmében, ha az áramvonalak egy belső áramlásban – pl. csőben – a csőfallal párhuzamos egyenes áramvonalak, akkor azokra merőlegesen a statikus nyomás nem változik, azaz a csőben uralkodó statikus nyomás kivezethető és mérhető a fali nyomásmegcsapolás révén. Az Euler-egyenlet azonban feltételezi a sűrűdásmentességet. Ha feltesszük, hogy az áramlás sűrűdásos, azonban newtoni folyadékról van szó, a Navier-Stokes egyenletből egyszerűsítő feltevésekkel levezethető Prandtl-féle határreteg-egyenlet segít belátni, hogy továbbra is igaz, hogy a falra merőlegesen a statikus nyomás nem változik. Kérdés, hogy a fenti gondolatmenetek hogyan terjeszthetők ki nemnewtoni folyadékokra?

***Kérem a Pályázót, saját kísérleti tapasztalatai és a nyersanyag-előkészítési szakterület hagyományos ismeretei alapján válaszolja meg a következő kérdéseket: a) A vizsgált nem-newtoni folyadékok esetén is igaz-e, hogy a csőben helyileg uralkodó belső statikus nyomás a csőfalra nyomásmegcsapolással kivezethető, és ez által mérhető? b) Ha az áramló durva diszperz rendszerből kiülednek szemcsék a csőfal környezetében, e szemcseréteg befolyásolhatja-e a csőfalra kivezetett belső statikus nyomás mérését? Pl. képezhet-e mérést blokkoló, zavaró réteget? E zavaró hatás kizárhatóan bizonyult a bemutatott mérésekben?***

**T.9)** 26. oldal: „az indukciós áramlásmérő csak a víz (folyadék) fázis sebességét méri” – ez kétséges számomra. Ha magukra a szemcsékre is jellemző a villamos vezetőképesség, akkor az indukciós áramlásmérés fizikai hatáselvét képező Faraday-féle indukciós törvény a szemcsékre is vonatkozik. Javasolom tisztázni, hogy a vizsgált esetekben ez befolyásolja-e a kiértékelést.

**T.10)** 29. oldal: A (3.1.5) és (3.1.6) egyenletek számomra dimenzionális problémákat vetnek fel. A Reynolds-szám és a Hedström szám dimenziótlanok. Hogyan tudnak kiadódni dimenzióra helyesen az egyenletek úgy, hogy helyenként dimenziós jellemzőket emelünk különféle hatványokra? A dimenzionalitás tisztázását nehezíti, hogy a Szimbólumjegyzékben nem egyértelmű a jelölések és a fizikai mennyiségek összerendelése. Pl.  $D [m]$  és  $D [-]$  egyaránt

szerepel.  $K [Pas^m]$  és  $K [-]$  egyaránt szerepel.  $\kappa$  (görög kappa) nem szerepel a Szimbólumjegyzékben. Ismét előkerül a Szimbólumjegyzékkel kapcsolatos, F.5) pontban megfogalmazott kritika: a leíró egyenletek kapcsán nem várható el, hogy azok csak az olvasó kreatív többletmunkájával legyenek értelmezhetők.

A dimenzióanalízis szempontjából megfelelően jár el a Pályázó, amikor pl. a 75. oldal (4.5.1) egyenleténél világosan leírja, hogy milyen alakban kell behelyettesíteni az egyenletbe, és milyen dimenzióban kapjuk meg az eredményt.

***Kérem a Pályázót, igazolja, a Szimbólumjegyzék megfelelő tételeire való hivatkozással, a (3.1.5) és (3.1.6) egyenletek dimenzióanalízis helyességét.***

**T.11)** 33. oldal: *Térfogatáram mérő szökőkút: a Pályázó leírása szerint „A cső pereme felett átbukó közeg magassága arányos a sebességgel.” Kérem a Pályázót a hivatkozott arányosság indoklására.*

Ha jól értelmezem a mérési elvet, a cső függőleges tengelye mentén két pont között kell alkalmaznunk a Bernoulli-egyenletet: a) A cső peremével azonos magasságban lévő pont, melyben a szuszpenzió közelítőleg a keresztmetszeti átlagsebességgel függőlegesen felfelé mozog. b) A cső pereme feletti legmagasabb pont a folyadéktérben, amelyben a szuszpenzió már állónak tekinthető, a „szökőkút” tetején. A két pont között a Bernoulli-egyenlet értelmében a sebesség négyzetével arányos mozgási energia átalakul a nehézségi erőterben feljebb elhelyezkedő pontnak megfelelő potenciális energiává. A két pont közötti szintkülönbség, azaz „az átbukó közeg magassága” ebben a szemléletben nem a sebességgel, hanem annak négyzetével arányos.

**T.12)** 33. oldal: A „térfogatáram mérő szökőkút” kapcsán felmerül a következő gondolat. A cső pereme környezetében az átbukó közegben a cseppfolyós szuszpenzió görbült szabad folyadékfelszíne alakul ki. Ennek megfelelően, a felületi feszültség miatt, a folyadékfelszín két oldala között nyomáskülönbség alakul ki. Ez befolyásolhatja az átlagsebesség mérésének pontosságát, a Bernoulli-egyenlet fent írott alkalmazása során.

***Kérem a Pályázót, a térfogatáram-mérő szökőkút esetén nagyságrendileg becsülje a felületi feszültség hatásából adódó lehetséges hibát; ennek alapján – ha az releváns – erősítse meg a felületi feszültség, mint mérési hibaforrás elhanyagolhatóságát.***

**T.13)** Általános kérdés az alkalmazott mérés-technikai eljárások hibabecslése. A leírások elszórta számos hibaforrást számszerűsítene. Célszerű lett volna azonban ezeket összefoglalóan, akár jól áttekinthető táblázatos formában bemutatni, és az egyes hibaforrások hatásának végső eredményekbe való tovább-öröklődését dokumentálni, végezetül pedig konzervatív módon becsült hibákat megadni.

Pl. a hibák tekintetében felmerül a 46. oldal tetején lévő számértékek kapcsán: a hő „1 / 2,95-öd része” = 33,9 %-a, illetve „1 / 3,75-öd része” = 26,7 %-a melegítette a mintát. Ha 2,95 helyett – hiszen normálalakban két értékes jegy van megadva – megengedjük a 2,90...3,00 tartományban való változékonyságot – mint bizonytalanságot –, 34,5 %...33,3 % közötti a változékonyság. Ugyanez a gondolatmenet a 26,7 % helyett – megengedve a 3,70...3,80 tartományban való változékonyságot – 27,0 %...26,3 % közötti változékonyságot ad. Mindez azt feltételezi, hogy a mintát melegítő hő mennyiségét  $\pm 0,6 \%$ , illetve  $\pm 0,4 \%$  relatív bizonytalansággal meg tudjuk adni – ezt viszont kétlem. Indokolt volt-e az „1 / 2,95-öd része” illetve „1 / 3,75-öd része” „pontossággal” történő megadás? Valószínűsítem, hogy a célnak megfelelt volna csupán az „1/3,0 része” illetve „1/3,8 része” megfogalmazás – illetve, sokkal inkább, a százalékos megadás. Ennél „pontosabb” megadásnak véleményem szerint nincs gyakorlati jogosultsága. A kutatott témakörben a Pályázó által szolgáltatott empirikus adatok már ennél nagyságrendileg kisebb „pontossággal” megadva is igen értékesek, hiánypótló

jellegük miatt – azonban az adatok értékességéhez szükséges a megadott számadatokat terhelő hibák konzervatív becslése.

**T.14)** 48. oldal: Konkrét hulladéklerakóba telepített hőcserélő technológia. A 96. oldalon szerepelnek hőáram- és elvont hőenergia-adatok. Igen értékes lett volna a gyakorlati megvalósíthatóság szempontjából a kinyerhető hőteljesítmény nagyságrendjének megadásával együtt a beruházási költségek, a megtérülési idő akár csak nagyságrendi becslése.

***Kérem a Pályázót – csakis ha rendelkezésére állnak adatok –, legyen szíves nagyságrendi becslést adni a hulladéklerakóba a kinyerhető hő érdekében telepített technológia megtérülési idejére.***

**T.15)** 51. oldal: „Kontinuitási elmélet”. „Egy ember sétál a levegőn” – A későbbiekben kiderül, hogy ez a példa azt hivatott illusztrálni, hogy a megfigyelt áramlási térrész több nagyságrenddel meghaladja a molekuláris szabad úthosszat. Feltehetően nem a „sétálás”, hanem az ember által végzett be- és kilégzés, ami a példa szempontjából releváns. E szempontból lehetett volna műszaki példát is hozni a sétáló ember helyett: pl. légbeszívó berendezés, „air breathing engine”, pl. repülőgép-hajtómű; vagy akár egy kompresszor.

**T.16)** 52. oldal: A kontinuitási elmélet kapcsán előkerül a szemcseméret és a lamináris alaprég összefüggése. A Pályázó gondolatmenete felidézte bennem a hidraulikai simaság motívumát. Adott Reynolds-számon a csőfalat hidraulikailag simának tekintjük akkor, ha a csőfali érdesség mérséklése már nem okozza a lambda csősúrlódási tényező csökkenését. Ugyanis a csőfal érdességi elemeit már elfedi a lamináris alaprég, így azok – csökkenő – méretének már nincs kihatása a csőáramlást jellemző veszteségekre. Kérdés, hogy a Pályázó által megfogalmazott kontinuitási elmélet független-e a fali érdességtől? Egy durva falú cső esetén például a fali érdesség völgyeit kitölthetik az érdesség-magasságnál jelentősen kisebb szemcsék, egyfajta bevonatot képezve, és ez által kvázi „elsimítva” a csőfalat, hidraulikai simaságot idézve elő. Ekkor a durva diszperz rendszer kontinuumként való szemlélése együtt jár a hidraulikai simasággal is.

A Pályázó megfogalmazása szerint: ha a durva diszperz rendszer adott szemcséi beleférnek a lamináris alaprégbe, akkor a durva diszperz rendszer diszkrételemszerű viselkedés helyett kontinuum viselkedést mutat. Ennek általam feltételezett analógiájaként: ha a csőfal hidraulikailag sima, akkor a csőfali érdesség „diszkrét elemeit” elfedi a lamináris alaprég, így a csőfali érdesség „kontinuum” jelleget mutat – hiszen az érdesség-elemek méretcsökkentése a teljes áramlási rendszer viselkedését már nem befolyásolja. Létezik vajon ez a feltételezett analógia?

Az értekezésben viszonylag kevés helyen kerül elő a csőfal érdessége – pl. a 73. oldalon 2 mm érdesség-magasság szerepel. Pl. 80. oldal: (hidraulikailag?) sima falú cső említése. Akár e konkrét, érdességeket megadó példákön is célszerű bemutatni a Pályázó által megfogalmazott kontinuitási elmélet relevanciáját.

***Kérem a Pályázót annak megválaszolására, hogy az általa megfogalmazott kontinuitási elmélet alkalmazhatóságát hogyan befolyásolja a fali érdesség. E válaszban mutassa meg, véleménye szerint gondolatilag összefüggenek-e a „kontinuum ↔ diszkrételemszerű”, valamint „hidraulikailag sima ↔ érdes” ellentétpárok.***

**T.17)** 55. oldal: A  $p$  kitevő átlagos értékére 1,7 adatot ad meg a Pályázó. A 9. oldal, 2.1.11. egyenlethez fűzött kommentek alapján Finkey szerint  $p = 2$ , Munroe szerint  $p = 1,5$ . Megjegyzendő, hogy ezek a források nem kerülnek közvetlen hivatkozásra, holott tézispontot érintenek. Ezen – feltehetően a szakirodalomból származó – adatok helyett javasolja, pontosításként, a Pályázó a  $p = 1,7$  értéket? Ha megvizsgáljuk az 56. oldal 4.2.1. táblázatát, a  $p$  értékek 1,52 és 1,92 között változnak – gyakorlatilag lefedve a Finkey és Munroe  $p$  értékei



szerinti tartományt. Mindez azt veti fel, hogy a konkrét  $p = 1,7$  érték megadása helyett az a releváns, hogy  $p = 1,7$  várható érték mellett egy  $\pm 0,02$  tartományban szórnak a  $p$  adatok, tehát a  $p = 1,7$  várható érték mellett megadandó egy  $\pm 0,02$  szórási sáv, így téve teljessé a – már meglévő szakirodalmi adatokhoz illeszkedő – modellt, érzékenységi vizsgálatok végzése érdekében. A gyakorlati relevancia szempontjából mit jelent, ha  $p = 1,7$  helyett a Finkey szerinti  $p = 2$ , illetve a Munroe szerinti  $p = 1,5$  értékekkel számoljuk a falhatást? A fenti gondolatmenet felveti a mérésekből meghatározott  $p$  értékek hibabecslésének igényét is. Hogyan öröklődnek tovább az igazoló mérésekben szereplő mennyiségek hibái  $p$  hibájába? Mekkora  $p$  becsült hibája?

***Kérem a Pályázót, adjon becslést a mérésekből származtatott  $p$  falhatás kitevő hibájára. Számítási példán keresztül mutassa meg a (4.2.2) egyenlet eredményének érzékenységét  $p$  megválasztására, a  $p = 1,5 \dots 1,7 \dots 2,0$  tartományban.***

**T.18)** 61. oldal: „(4.2.6. ábra) ismeretében  $T$  értékét leolvashatjuk...” – Kérdés, hogy mekkora  $T$  bizonytalansága? Tekintve azt a tény, hogy a diagramon szereplő trendvonal és a mérésből származó adatpontok korrelációja mérsékelt. Hogyan öröklődik tovább  $T$  bizonytalansága a szükséges keverési teljesítménybe? Mindezt konzervatív módon szükséges becsülni – úgyis teszünk teljesítmény-tartalékokat a keverő hajtásába, a kötelező mérnöki óvatosság, biztonsági tartalékképzés okán. Ehhez is kapcsolódóan, a 62. oldalon: „az elvárt iterációs pontosság...” – véleményem szerint a szűk keresztmetszet a  $T$  bizonytalansága, nem pedig az elvárt iterációs pontosság. Ennek alapján feltehetően még hamarabb abba lehet hagyni az iterációt – azonban konzervatív mérnöki számítás céljára így is kiváló lehet a javasolt számítási eljárás.

**T.19)** 77. oldal 4.5.3. ábra: Az empirikus illesztésből származó bizonytalanság becslése itt is fontos, a származtatott empirikus összefüggés mérnöki alkalmazhatósága érdekében.

**T.20)** 79. oldal 4.5.5. ábra egyes vékony trendvonalai; 80. oldal 4.5.6. ábra „delta  $p$  600 mikron sand” görbéje; 89. oldal 4.5.11. ábra görbéi: E görbék a következő trendet mutatják.

***A fajlagos nyomásésésnek adott csőátmérő esetén bizonyos keresztmetszeti átlagsebességnél minimuma van. Kérem a Pályázót tömören megválaszolni: a) Mi ennek a fizikai magyarázata? b) Szokásos-e erre a nyomásvesztései minimumra tervezni, a szállítás teljesítmény-igényének mérséklése érdekében?***

**T.21)** 103. oldal: „Modellezzük a teljes lerakót egy  $1 \text{ m}^3$  kiterjedésű hulladéktestnek,” – a TSZH lerakók ennél több nagyságrenddel nagyobbak; hogyan lehet releváns e modellezés? 104. oldal: Valóban releváns annak modellje, hogy az  $1 \text{ m}^3$  kiterjedésű modellezett hulladéktestből 1 éven keresztül elvonással  $5,67 \text{ MJ/m}^3$ , azaz összesen  $5,67 \text{ MJ}$  hőt vonunk el? Nagyságrendileg releváns ez a számadat? Nagyságrendi összehasonlításként:  $1 \text{ kg}$  lignit fűtőértékének nagyságrendje  $3 \dots 10 \text{ MJ}$ .

**T.22)** 107. oldal: Az 1. tézispontot a Pályázó az 1.2. tézis-alpont szerint süllyedési végsebesség-mérési eredményekkel támasztotta alá. Állítása szerint a mért és számított értékek igen jól egyeztek.

***Az 1.2. altézisben megfogalmazott egyezés jószágának megtételéhez kérem megmutatni a süllyedési végsebesség becsült mérési hibáját, és ezzel összevetve a mért és számított értékek egyezésének mértékét.***

**T.23)** 106. oldal: „Sajnos ezidáig nem sikerült olyan mérést elvégezni, amely kísérleti bizonyítékot jelentene a bemutatott malom modellre.” Ehhez kapcsolódóan: az „a kevesebb: több” elv alapján célszerű lett volna kihagyni az 1.3. tézispont-részletet. Ahogyan a Pályázó írja is a 108. oldalon az 1.3. tézispont-részletben: „Ez a tézis-alpont csak hipotézis, további

kutatómunka szükséges a témában!” Tézisben hipotézis szerepeltetése szerintem nem célszerű; gyengíti a tézispontot.

**T.24)** 108. oldal: A 2. tézispontot a Pályázó a 2.1. tézis-álpont szerint süllyedési végsebesség-mérési eredményekkel támasztotta alá. Allítása szerint a mért és számított értékek jól egyeztek.

***A 2.1. altézisben megfogalmazott egyezés jóságának megítéléséhez kérem megmutatni a süllyedési végsebesség becsült mérési hibáját, és ezzel összevetve a mért és számított értékek egyezésének mértékét.***

**T.25)** 109. oldal: A 4. tézispontban, a korábban tárgyaltak szerint, nem szerepel fluidum-áramlás, ezért véleményem szerint nem tartozik az értekezés címe által körvonalazott témakörbe. Mindazonáltal a tézispont újdonságtartalma, gyakorlati relevanciája erőteljes. A 110. oldalon: „Megállapítottam, hogy a mért értékek összhangban vannak az elméleti szélső értékekkel.”

***A 4. tézisben megfogalmazott összhang megítélése érdekében kérem megmutatni a szóban forgó termikus jellemzők becsült mérési hibáját, és ezzel összevetve a mért és elméleti szélső értékeket.***

**T.26)** 117. oldaltól: Irodalomjegyzék: 129 tételt tartalmaz, ebből 34 a Pályázó által, helyenként társszerzőségben készített publikációk. A független 95 hivatkozott szakirodalmi tétel összetétele: 6 db (6 %) az elmúlt 5 évből (2017-2021); 21 db (22 %) az elmúlt 10 évből (2012-2021); 49 db (52 %) az elmúlt 20 évből (2002-2021). A hivatkozott szakirodalom fenti összetétele a véleményem szerint egyrészt kellőképpen reprezentálja az értekezés témaköréhez kapcsolódóan a tudomány állását az elmúlt években – ezzel megfelelő referenciákat adva az értekezés újdonságtartalmának megítéléséhez. Másrészt tartalmazza az eljárás-technika, folyamat-technika, nyersanyag-előkészítés klasszikus szakirodalmát is. Ez, a mérnöki tudományok konzervatív szemléletének – azaz a hagyományos eredményekre való építkezésnek – megfelelő elvárás.

## ***A TÉZISPONTOK VÉLEMÉNYEZÉSE, ÖSSZEFOGLALÓ ÉRTÉKELÉS***

Az egyes tézispontok elfogadására vagy elutasítására vonatkozóan a bíráló döntése bináris: „igen” vagy „nem”. A végső elfogadás feltételelesen köthető a bírálatra adott válasz egyes részleteitől. Tézispont átfogalmazása azonban, az elfogadás érdekében, nem lehetséges. Ha a Pályázó altéziseket vonultat fel, az adott tézispontot átfogóan, annak altéziseivel együtt kell értékelni. A Pályázó tézispontjai összetettek, gyakran módszertani jellegűek: pl. számítási, modellezési gondolatmenetet tükröznek. Több esetben azzal szembesültem, hogy a megfogalmazott tézispont egyes mondatai nem tartalmaznak újdonságot, illetve a korábban leírtak szerint vitathatók. Mindezek mellett is készen álltam az adott tézispont elfogadására – ha a kritikáim ellenére is fennmaradó és védhető tudományos újdonságtartalmat elegendőnek tartottam.

Az egyes tézispontok tárgyalásánál hivatkozom az általam megfogalmazott kritikai kommentek sorszáma.

***Kérem a Pályázót, feltétlenül adjon írásbeli választ a hivatkozott sorszámú kommentekben lévő, vastagon dőlt betűvel szedett felvetéseimre, valamint e válaszokat röviden mutassa be a nyilvános védésen is, annak érdekében, hogy az adott tézispont kritikája a nyilvános védés fóruma elé kerülhessen, és ez által a tézispont megvédése maradéktalanul megtörténjen.***

Ha valamely kritikai kommentemben nem szerepel vastagon dőlt betűvel szedett felvetés, arra a Pályázónak külön nem szükséges válaszolnia. Ha külön nem válaszol, azt úgy tekintem, hogy a kritikai kommentet elfogadta.

Ha valamelyik kritikai kommentemmel nem ért egyet a Pályázó, természetesen módjában áll annak cáfolata az írásbeli válaszban és a nyilvános védésen egyaránt.

- **1. tézis:** *Kontinuitási elmélet.* A bíráló Bevezetés fejezetében felsorolt érdekek alapján **elfogadom**, a tézishez valamint annak háttér-anyagához kapcsolódó, következő kritikai megjegyzéseimmel együtt is: F.1), **T.3), T.7), T.8), T.16), T.22)**, T.23).
- **2. tézis:** *Nem-newtoni közegben süllyedő gömb.* A bíráló Bevezetés fejezetében felsorolt érdekek alapján **elfogadom**, a tézishez valamint annak háttér-anyagához kapcsolódó, következő kritikai megjegyzéseimmel együtt is: T.3), **T.5), T.11), T.12), T.17), T.24)**.
- **3. tézis:** *Hidraulikus csőszállítás mérési és tervezési módszertana.* A bíráló Bevezetés fejezetében felsorolt érdekek alapján **elfogadom**, a tézishez valamint annak háttér-anyagához kapcsolódó, következő kritikai megjegyzéseimmel együtt is: T.9), **T.10), T.20)**.
- **4. tézis:** *TSZH termikus jellemzőinek mérési és tervezési módszertana.* A bíráló Bevezetés fejezetében felsorolt érdekek alapján **elfogadom**, a tézishez valamint annak háttér-anyagához kapcsolódó, következő kritikai megjegyzéseimmel együtt is: T.2), **T.25)**.
- **5. tézis:** *TSZH lerakók hőgazdálkodása.* A bíráló Bevezetés fejezetében felsorolt érdekek alapján **elfogadom**, a tézishez valamint annak háttér-anyagához kapcsolódó, következő kritikai megjegyzéseimmel együtt is: T.1), **T.14)**, T.21).
- **6. tézis:** *Vibrált pálcarendszerrel elősegített ülepedés.* A bíráló Bevezetés fejezetében felsorolt érdekek alapján **elfogadom**.
- **7. tézis:** *Keverőberendezésekkel megvalósított szuszpenzióképzés méretezési módszertana.* A bíráló Bevezetés fejezetében felsorolt érdekek alapján **elfogadom**, a tézishez valamint annak háttér-anyagához kapcsolódó, következő kritikai megjegyzéseimmel együtt is: T.14), T.18), T.19).

**Összefoglaló értékelés:**

***Faitli József doktori munkájának újdonságtartalmát, a bemutatott tudományos eredményeket elegendőnek tartom az MTA doktori cím megszerzéséhez. Javaslom a nyilvános védés kitűzését. Javaslom Faitli József számára az MTA doktora cím odaitélését.***

Budapest, 2022. március 15.



Vad János

egyetemi tanár, az MTA doktora

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Áramlástan Tanszék