

## Doktori értekezés bíráló

Harasztiné Hargitai Réka

„Körforgásos (víz)gazdaság megvalósításának vizsgálata”  
című, doktori (PhD) értekezés tervezetéről

**A bíráló neve és beosztása:** Dr. Torma András, tanszékvezető egyetemi docens, Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar, Alkalmazott Fenntarthatóság Tanszék

Harasztiné Hargitai Réka a Pannon Egyetem Vegyészmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskolája keretében, Bio-, környezet- és vegyészmérnöki tudományok tudományágban nyújtotta be „Körforgásos (víz)gazdaság megvalósításának vizsgálata” című PhD értekezését, mely 138 számozott oldalt és 9 oldalnyi mellékletet tartalmaz.

Az értekezést volt lehetőségem még a munkahelyi vitára készített állapotában bírálni, így jelen bírálóban – a Doktori Iskola által megadott tématerületekre fókuszálva – elsősorban a korábbi verzióhoz képesti változásokat értékelem.

### 1. A témaválasztás újszerűsége, aktualitása, tudományos és társadalmi jelentősége

Mint ahogy a munkahelyi védésre készített értékelésben is rögzítésre került a dolgozat témája abszolút aktuális és a fenntarthatósági erőfeszítések szempontjából nagy jelentőségű tématerület, melynek kapcsán a jelölt tudományos és gyakorlati szempontból is értékkel bíró javaslatokat fogalmazott meg. Fontos kiemelni, hogy a fenntartható vízgazdálkodás egyre jelentősebb tématerületté válik, elsősorban a napjainkban egyre gyakrabban felmerülő minőségi kérdések, másrészt pedig a bizonyos helyzetekben jelentkező mennyiségi szűkösség miatt is.

Ezen okok miatt a víz, mint erőforrás megfelelő minőségben és mennyiségben való rendelkezésre állása egyre nagyobb jelentőséggel bír, mind a társadalom, mind pedig a gazdaság szempontjából. A jelölt ezt a fenntarthatósági szempontból is kurrens témakört vizsgálja értekezésében egyrészt a körforgásosság, másrészt a teljes életciklusra vetített környezeti lábnyom szempontjából. E két tématerület együttes vizsgálata mindenképp újszerű és értékes megközelítés, mely számos további a kérdést elmélyítő kutatás indítására ad lehetőséget. Szintén a kutatás újszerűségét támasztja alá az is, hogy ezen a tématerületen, főképp a két módszer kombinált alkalmazását tekintve még relatíve kevés tudományos publikáció érhető el. A dolgozat további értéke és egyben gyakorlati hasznossága abban is rejlik, hogy a szerző konkrét gazdasági társaságok példáján keresztül alkalmazza a választott elemzési megoldásokat, ezáltal közvetlenül és a gyakorlatban is hasznosítható eredmény születhetett.

### 2. Az értekezés struktúrája és tartalmi elemei

A dolgozat fő része 138 számozott oldalt tartalmaz (beleértve az irodalomjegyzéket is), ezt egészíti ki további 9 oldal melléklet.

A szerző a munkahelyi vitát követően némiképp újrastrukturálta a fejezeteket, mely mindenképp a dolgozat előnyére vált. A korábbi bírálóban tett javaslatot megfogadva rögtön a dolgozat elején jelennek meg a kutatási célkitűzések, melyek a korábbi verzióhoz képest részletesebben kifejtettek és strukturáltabbak (többek között 4 db konkrét

kutatási cél is megfogalmazásra került). Ezáltal jobban megérthető, hogy mi volt a szerző tudományos vizsgálódásának célja és melyek lesznek a várható eredmények. Habár a kutatási célok között szerepel az is, hogy a két vizsgált módszertan szintetizálása is megtörténik, ezzel az eredménnyel azonban a dolgozat nagyrészt adós marad. Szintén részletesebben kifejtésre kerülhetett volna az a „research gap”, melyre a tudományos munka választ próbál keresni.

A dolgozat további részei is logikus felépítésűek, a szakirodalmi feldolgozást követi az alkalmazott vizsgálati módszerek bemutatása, majd a konkrét eredmények és következtetések levonása. A logikus felépítés mellett az egyes fejezetek aránya is megfelelő. A téma háttérét bemutató szakirodalmi feldolgozás továbbra is meglehetősen kompakt, a legtöbb érintett tématerületről csak rövid áttekintést ad, ez azonban nem feltétlenül nagy probléma, mivel a széles vizsgálati háttér részletesebb szakirodalmi feldolgozása viszont már eltorzította volna a dolgozat arányait.

Az alkalmazott módszerek fejezet esetében célszerű lett volna a tényleges kutatástervezési / kutatási folyamatot bemutató résszel kezdeni, melynek során általánosságban lehetőség lett volna arra, hogy a teljes kutatás lépései, egymással való összefüggésükben kerüljenek feltárára, ezzel is támogatva a teljes kutatási folyamat jobb megértését. A szerző ezzel szemben a fejezetben kevésbé a módszerekre, sokkal inkább a felhasznált adatok és vizsgálati egységek bemutatására fókuszál, melyek kellő részletezettséggel kerülnek feldolgozásra, technológiai folyamatábrák is segítik az információ átadását, viszont tartalmilag részben inkább már az elemzési felhasználási esetekhez tartoznának. Szintén ebben a fejezetben kerülnek részletezésre azok a mutatók, valamint elemzési eszközök (pl. életciklus értékelés), melyeket a szerző a későbbiekben részletesen vizsgálni fog. A három kiválasztott módszert (CEIP, MCI, WF) javasolt lett volna részletesebben bemutatni és értékelni.

A dolgozat harmadik fejezete az eredményeket mutatja be, ennek megfelelően ez a rész a leghangsúlyosabb. A bemutatás a választott forráskönyvek bemutatásával kezdődik, ennél a pontnál a szerzősajnos nem fogadta meg a munkahelyi vita során tett javaslatot és nem bővítette, pontosította a forráskönyvek bemutatását. Így továbbra sem került egyértelműen megválaszolásra az a kérdés, hogy miért pont ezek a forráskönyvek kerültek kiválasztásra, mi az ezekben rejlő tudományos / konkrét gyakorlati hasznosítási potenciál? A dolgozat egyik konkrét tudományosan újszerű eredménye is itt kerül bemutatásra, nevesül a CEIP kérdőívének kiegészítése további kérdésekkel, melynek révén a módszer alkalmasabbá válik a vízkörforgás mérésére. Ez a terület egyben további kutatási potenciált is jelent, a kérdőív még további kérdésekkel is bővíthető lehet és ezáltal még tovább pontosítható az értékelés.

Az életciklus elemzés elvégzésével foglalkozó fejezetek alaposak, a korábbi változathoz képest egy-két újabb információ és ábra segítségével pontosította a szerző a rendszerhatárokat, valamint pozitív, hogy a funkcionális egység kérdése is pontosításra került, bár továbbra is több funkcionális egységet használ a szerző (pl. szennyvíztisztító telep: 1 m<sup>3</sup> tisztított víz, de bizonyos esetekben 1 kWh biogáz), melyet jelez is a szövegben. Ez a fajta inkoherenca az elemzési értékek összehasonlítását nehezéssé teszi. További érdeme azonban ennek a szakasznak a tényleges életciklus értékelés lefolytatása és annak eredményeinek részletes bemutatása, bár a végén konkrét, gyakorlati következtetéseket a szerző nem von le.

A Következtetések c. fejezetben a szerző röviden kitér a különböző vizsgálati módszerek integrálási lehetőségeinek kérdésére, mely örömteli változás a munkahelyi vitára készített dolgozathoz képest. A jövőbeli kutatások egyik lehetséges iránya pont ez az integráció lehet, azaz egy olyan relatíve könnyen alkalmazható, de mégis kellő mélységű eredményeket adó módszer kidolgozása, mely integráltan tudja kezelni a vízkörforgás és az életciklus alatti környezeti hatások kérdését. A szerző munkája ezen munka kezdetének tekinthető, melyben külön-külön vizsgálta az egyes módszereket, de még nem fogalmazott meg javaslatokat azok kombinált alkalmazására. Ezen kérdéskör értekezésben való szerepeltetése mindenképp pozitív, bár érdemes lett volna ettől egy kicsit részletesebben vizsgálni ezt a kérdést.

### 3. Alkalmazott vizsgálati módszerek, az eredmények feldolgozásának színvonala

A szerző kutatása során megfelelő vizsgálati módszereket választott. Az alapos irodalomkutatás és szakirodalmi feldolgozás megalapozza az elméleti hátteret, melyhez aztán egyrészt a választott mutatók, másrészt a vizsgált technológiák esetében konkrét elemzések és kutatási munka is társul.

A kutatás során konkrét számításokat, elemzéseket is végzett a jelölt. Ezek közül a körforgásossági mutatók alkalmazása relatíve egyszerű, viszont az életciklus értékelés elvégzése különösen alapos. Ennek kapcsán a szerző bizonyította, hogy alapos tudással és gyakorlattal rendelkezik mind az életciklus értékelés, mind a szennyvíztisztítás terén, mely ismereteket a választott forgatókönyvek esetében eredményesen alkalmaz is.

A választott vizsgálati módszerek korszerűek és alkalmasak a felvetett kérdés tudományos vizsgálatára, különösképpen mivel a szerző megfelelő színvonalon és arányban is alkalmazza azokat. Az eredmények feldolgozása megfelelő színvonalú, pár apró pontatlanság és inkoherencia (pl. funkcionális egységek kérdése) tapasztalható, ezek azonban alapvetően nem befolyásolják a következtetések helytállóságát.

### 4. Tudományos szempontból újnak elfogadható eredmények

Ahogy korábban is már említésre került, a szerző által elemzett témakör nagyon aktuális és nagy érdeklődésre számot tartó, jelenleg még kevésbé kutatott tématerület. Különösen innovatívnak tekinthető a jelölt azon kezdeményezése, mellyel meglévő mérési rendszereket bővíti ki annak érdekében, hogy ezek a nemzetközileg is elfogadott metrikák képesek legyenek a vízkörforgás, víz visszavezetés hatásait is kezelni. Így egy olyan újszerű mérési módszer állhat elő, mely a korábbiakhoz képest komplexebb képet fest egy adott termelőegység fenntarthatósági hatásairól, különös tekintettel a körforgásosság kérdésére. Ennek érdekében javaslatot tesz a már alkalmazott módszerek kiegészítésére is, mely kiegészítések az elemzési módszerek elmélyítését és a részletesebb / pontosabb eredmények elérését szolgálják.

Az életciklus elemzéssel kapcsolatos kutatási munka újszerűsége egyrészt abban rejlik, hogy bővíti az elemzés rendszerhatárait a szakirodalmakban jellemzően elérhető vizsgálatokhoz képest, így ténylegesen új kutatási eredményeket hoz létre, másrészt pedig a vízkörforgás és az életciklus hatások összekapcsolásában. Tudományos szempontból nem tekinthető új eredménynek az integrált módszertanra vonatkozó ajánlás, hiszen nem került olyan mélységben kidolgozásra, viszont jól kijelöli a későbbi kutatások lehetséges irányait.

A munkahelyi vitára készített értekezés tervezet kapcsán az egyik legfontosabb javítási potenciál az új tudományos eredményeket összefoglaló tézisek kapcsán jelentkezett. A nyilvános vitára készített dolgozatra a jelölt átdolgozta a téziseket, mely változtatások nagyban javították azok minőségét. Az egyes tézisek kapcsán részletesen a következő megállapítások tehetők:

- > **1. tézis:** *„Megállapítottam, hogy a nagy vízfogyasztású technológiák esetében körforgásos jellege a víz mint anyagáram figyelembevétele nélkül nem határozható meg, ezért módszertani módosításokra van szükség. Az általam javasolt megközelítés lehetővé teszi a vízkörforgás számszerűsítését, és hozzájárul a víz- és anyagtakarékosabb terméktervezéshez.”*
  - > A tézis most már jobban leírja a tényleges tudományos eredményt, bár megfogalmazása még így sem ideális / pontos. Ez részben abból is fakad, hogy nyelvtanilag helytelenül van felépítve a mondat, így a pontos jelentés sem egyértelmű.
  - > A tézis első mondata mindenestre elfogadható új és igazolt tudományos eredményként.
  - > A tézishez tartozó igazolások közül hiányzik az, ami ténylegesen azt igazolja, hogy a víz, mint anyagáram nélkül nem határozható meg a körforgásos jelleg. Maguk az igazolások sokkal inkább már az ezt követő lépésekről szólnak, azaz arról, hogy ha felismertük, hogy a víz, mint anyagáram is szükséges, akkor milyen módokon lehet azt beemlíteni az elemzésbe.

- > Így az igazolások némiképp hiányosnak tekinthetők.
- > **2. tézis:** *„Bizonyítottam, hogy az általam javasolt módosításokkal a hagyományosan lineáris jellegű vízlábnyom (WF) számítás alkalmassá válik a vízkörforgás mérésére. Az így módosított számítás figyelembe veszi a baromfifeldolgozási termék életciklusa során beépülő vízmennyiségeket, valamint a visszaforgatás révén újrahasznosított vízárámokat is.”*
  - > A tézis megfogalmazása sokat javult a korábbi verzióhoz képest, így elfogadható.
  - > Továbbra is nyitott a kérdés, hogy más iparágak esetében is bizonyítottan igaz-e a tézis, vagy csak a vizsgált baromfifeldolgozás kapcsán. Kijelenthető-e egy konkrét iparágra vonatkozó vizsgálat alapján, hogy a megállapítás univerzálisan igaz?
  - > Az igazolások most már sokkal jobban passzolnak a tézishez.
  - > Sajnálatos módon itt is van pár nyelvtani probléma a megfogalmazásokkal.
- > **3. tézis:** *„Megállapítottam, hogy a módosított szakirodalmi mutatókkal kiegészített, párhuzamosan alkalmazott életcikluselemzés képes átfogó képet mutatni a vízkörforgás mértékéről és annak környezeti hatásairól. Együttes alkalmazásukkal igazoltam, hogy a baromfifeldolgozó üzem víz javasolt újrahasználati módszerei növelik a környezeti terheket, és összességében nem támogatják a körforgás értékének javulását.”*
  - > Szintén egy jelentősen átdolgozott tézis, mely így már jobban leírja a tényleges tudományos eredményt, bár itt is nehezen érthető kicsit a megfogalmazás.
  - > A tézis második mondatában diszkrépáns megfogalmazás található: javasolt módszerek, melyek a környezeti terheket is növelik és a körforgás értékét is rontják.
  - > Az igazolások csak részben alkalmasak a tézis igazolására. Pl. a 2. igazolásban található megállapítás tudományos kutatás nélkül is valószínűsíthető, bár persze nem igazolható.
- > **4. tézis:** *„Megállapítottam, hogy a kommunális szennyvíztisztítás technológiai fejlesztései hosszútávon hozzájárulnak a fenntartható vízvédelemhez, annak ellenére, hogy az általam vizsgált átalakítások rövid távon növelhetik a környezetre gyakorolt terhet. A vizsgált fejlesztések eredményei hozzájárulhatnak az ipari környezetben alkalmazott szennyvíztisztítási technológiák környezetkímélő modernizálásához.”*
  - > A tézis ebben a formájában elfogadható.
  - > Az igazolások alapvetően megfelelőek kivéve a 3. igazolást, mely ilyen formában nem pontos, hiszen nem az alkalmazott technológiai változtatások környezeti lábnyomát veti össze, hanem az egyes technológiai megoldások (napelem vs. biogáz) potenciális energiakihozatali értékeit.
- > **5. tézis:** *„Megállapítottam, hogy a negyedik fokozatú kezelés bevezetése – különösen az energiaigényes technológiák esetében – tovább növeli a környezeti terheket, amely nem támogatja a tisztított víz újrahasználatát. Ugyanakkor bizonyítottam, hogy megfelelő technológiaválasztással, például a szekvenciális H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kezeléssel, ezek a hatások jelentősen mérsékelhetők, így az újrahasználat megvalósítható. Mindez összhangban áll a szakpolitikai és szabályozási irányokkal, amelyek a szennyvíztisztító telepeket a városi és ipari vízkörforgás kulcsszereplőiként határozzák meg.”*
  - > Ez a tézis is sokat és jó irányba fejlődött a megelőző állapothoz képest.
  - > A tézis utolsó mondata elhagyható lett volna, így egyrészt rövidebb lenne a tézis, másrészt tartalmilag ez nem tekinthető új tudományos eredménynek.
  - > Továbbra is pontatlan az igazolások megfogalmazás (pl. jó alternatíva a tisztított víz újrahasználatára vs. a tisztított víz újrahasználat lehetőségének megteremtésére).

## 5. Szakirodalom feldolgozásának színvonala, a jelölt publikációs tevékenysége

A dolgozat kétségkívül erőssége, hogy rengeteg szakirodalmi forrást dolgoz fel. Ez a szám a korábbi verzióhoz képest még tovább is bővült (a korábbi 216 darabhoz képest most már 239), melyek nagyon nagy része idegen nyelvű szakirodalom. A felhasznált szakirodalmak aktuálisak és a tudományterület jelenlegi ismereteit tükrözik, ennek megfelelően alkalmasak a kutatásban megfogalmazott pontok alátámasztására. A szerző megfelelően és pontosan hivatkozza a felhasznált szakirodalmakat a szövegben, bár adott esetben már zavaró mértéket ölt a hivatkozások halmozása egy-egy mondatban.

A jelölt publikációi közül hat kapcsolódik közvetlenül az értekezés témájához, ezek közül kettő azonban konferenciakiadványban szereplő kivonatos anyag. Ezen túlmenően 14 további tudományos közleményt szerepeltetett a szerző, melyek azonban közvetlenül nem kapcsolódnak az értekezéshez, ezek közül tíz konferenciakiadványban szereplő kivonatos anyag és kettő posztermegjelenés.

## 6. Formai, nyelvi követelményeknek való megfelelés

A szerző nagyon széles körű ismeretekkel rendelkezik a vizsgált tématerületet illetően, ez egyértelműen megjelenik szóhasználatának adekvátságában és pontosságában, a szakterület kifejezéseit, terminus technicusait alapvetően jól és szabatosan használja. Elütések és helyesírási hibák, illetve adott esetben nyelvtanilag, szemantikailag helytelen mondatok minimális mértékben fordulnak elő a szövegben, sajnálatos módon pont az újraformált tézisek esetében gyakoribbak ezek, mely eléggé zavaró.

A dolgozatban bemutatott táblázatok és ábrák a téma megértését jellemzően támogatják, számosságuk és minőségük megfelelő.

**Mindezek alapján az értekezés megfelelőnek tekinthető, a doktori fokozat odaítélését támogatom.**

Győr, 2025.06.01.



**Dr. Torma András**

tanszékvezető egyetemi docens

### Kérdések a jelölthöz:

1. Véleménye szerint, melyek jelenleg a legnagyobb kihívások a versenyszférában, melyek a víz körforgásos használatát akadályozzák?
2. Az Ön által javasolt két integrációs módszerfejlesztés (kérdőív témák épülnek be az LCA-ba, vagy az LCA szempontjai épülnek be a körforgásos mutatószámokba) közül Ön melyiket preferálná és miért?
3. Véleménye szerint a víz anyagáramként való értékelése mennyire torzítja el egy adott technológia teljes értékelését és mekkora annak a veszélye, hogy emiatt más anyaghasználati módok alulpriorizálásra kerülnek?