



# Pannon Egyetem

Mérnöki Kar, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki  
Kutató-Fejlesztő Központ  
Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium

## Válasz doktori értekezés (Ph.D.) opponensi bírálatára Opponens: Dr. Bodnár Ildikó s.k.

Tisztelettel szeretném megköszönni a Bírálónak, hogy időt és energiát fordított dolgozatom elolvasására és értékelésére. Köszönöm a műhelyvita előtti hasznos észrevételeket, melyek növelték doktori értekezésem színvonalát. Az alábbiakban részletesen válaszolok a bírálatban felvetett szakmai kérdésekre.

Szakmai kérdések:

1. A szakirodalom alapján a Circular Economy Indicator Prototype (CEIP) vizsgált gazdasági mutató egyetlen pontszámon keresztüli értelmezése elrejti a körforgásos gazdaság összetettségét, mégis alkalmasnak tartják a körforgásos gazdaság elveinek ipari gyakorlatban való elterjesztésére. **A baromfifeldolgozás példáját tekintve miért választotta mégis ezt a mutatót?**

Köszönöm a kérdést, hasznos megindokolni a választásomat. A Circular Economy Indicator Prototype (CEIP) a szakirodalomból ismert mutatók közül az egyik legegyszerűbben alkalmazható és összehasonlításra is alkalmas módszer. Éppen ezért hatékony eszköz a körforgásos gazdaságra való átállás korai szakaszában. A CEIP a felhasználó ismereteire épít és a termék életciklus szakaszaihoz kapcsolódó kérdésein keresztül képes ösztönözni a szemléletváltást, a gazdasági szereplőket elindítja a részletesebb vizsgálatok felé. A kezdeti lépésekhez fontos, hogy gyorsan alkalmazható módszert válasszunk, mivel a rendszerszintű változások hosszú távon valósulnak meg [1]. A különböző iparágak esetében kiemelten fontos, hogy a körforgásos teljesítmény egyetlen, jól kommunikálható pontszámban jelenjen meg. A baromfifeldolgozás példáját azért választottam, mert részletes adatokkal rendelkeznek, így elvégezhető vele az egyszerűbb (pl. CEIP) és a részletesebb módszerek egyaránt, ezáltal támogatja a különböző módszerek összehasonlítását és alkalmazhatóságának kiértékelését.

2. A vízkörforgás mérésének másik megközelítése a vízlábnyom (WF) számítás elemzése és módosítása volt. Ez a módszer a termék életciklusa során beépülő vízmennyiségeket veszi figyelembe, miközben nem hanyagolja el az energiafelhasználást. A bevezetett módosításokkal a módszer alkalmassá vált a vízkörforgás mérésére. **Véleménye szerint a várhatóan tovább szigorodó víz visszaforgatási vízminőségi előírások esetén kell-e egyéb módosításokat eszközölni a kapcsolódó számításban?**

Köszönöm az észrevételt, a kérdés valóban fontos jövőbeli irányokra mutat rá. A folyamatosan szigorodó előírások szükségessé tehetik a mutatók további módosítását. A vízlábnyom (WF) számítás a vízfelhasználás feltérképezésében az utóbbi években élen járt. Módosítással a körforgásos gazdasági szemléletet építettem be a mutatóba, lehetővé téve a vízkörforgás mérését. Ugyanakkor a kutatásom nem tért ki arra, hogy a szürke vízlábnyom számításába miként vonhatók be hatékonyabban a vízminőségi paraméterek. A tisztított víz egyre inkább tápanyagforrásként, másodnyersanyagként jelenik meg, így véleményem szerint a vízlábnyom számításának továbbfejlesztése, különösen az öntözővíz és az anyagvisszanyerés szempontjából, egy új kutatási irányt alapozhat meg, amely jelentős módszertani átdolgozást is igényelhet.

**Pannon Egyetem • University of Pannonia**

*Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium*

8200 Veszprém, Egyetem utca 10.



# Pannon Egyetem

Mérnöki Kar, Bio-, Környezet- és Vegyészmérnöki  
Kutató-Fejlesztő Központ  
Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium

3. A kutatás fontos megállapítása, hogy a tisztított víz újrahasználatát támogató technológiák bár növelik a környezeti hatásokat, a fenntarthatóság és a vízhiány elkerülése érdekében mégis elengedhetetlenek. A jövőbeni kvaterner tisztítási követelmények kompromisszumokat igényelnek a szennyvíz minőség, az energiaigény és az általános környezeti hatások tekintetében. **A szekvenciális H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kvaterner kezeléssel kívül lát-e hasonlóan hatékony vagy hatékonyabb technológiai megoldást a nemzetközi gyakorlat alapján?**

Köszönöm a kérdést, örülök, hogy ez a szempont felmerült. Egy hatékonyabb kvaterner kezelés kiválasztásához figyelembe kell venni technológiai, életciklus alapú és gazdasági szempontokat egyaránt. Például a membránszűrés és a foto-Fenton módszer nagy hatékonyságú a gyógyszerek és a mikroorganizmusok eltávolításában, míg az UV-szűrés és a klórozás legfontosabb előnye az alacsonyabb kezelési költségek és az alacsony környezeti terhelés [2]. Az UVC fotolízis egy fenntartható módszer, azonban H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> kezeléssel kiegészítve hatékonyan távolít el *Clostridium* fajokat, mely további foto-Fenton eljárással együtt alacsonyabb környezeti terhet mutat [3]. A szakirodalom alapján a kombinált eljárások jelenthetik a megoldást a jövőbeni kvaterner tisztítási követelmények teljesítésére, mivel lehetővé teszik a kezelési hatékonyság és az energiafelhasználás közötti optimális egyensúly megteremtését [2].

4. Az életciklus-elemzés szimulációkkal és mesterséges intelligenciával való integrálása ígéretesnek bizonyulhat az energia- és nyersanyagfelhasználás optimalizálása terén. **Lehetnek-e ennek korlátai vagy kockázata?**

Valóban nagy potenciál van a különböző eszközök integrációjában, aminek azonban hátrányai is lehetnek. Minél összetettebb rendszereket alkalmazunk, annál jobban kell figyelni az adatminőségre, az eredmények átláthatóságára és az ismételhetőségre. Jelenleg még fejlődik a mesterséges intelligencia, és alkalmazása magas szintű szakértelmet igényel. Véleményem szerint a változásra nyitott, kreatív emberi elme és a folyamatosan fejlődő technológia együttesen tudja elérni azokat az optimális megoldásokat, melyek a fenntarthatóság és a teljes körforgás felé terelnek minket.

Szakirodalmi hivatkozások:

- [1] Tóth Gergely: A Valóban Felelős Vállalat – A fenntarthatatlan fejlődésről, a vállalatok társadalmi felelősségének (CSR) eszközeiről és a mélyebb stratégiai megközelítésről, 2007, Környezettudatos Vállalatirányítási Egyesület (KÖVET), ISBN 978-963-87667-0-0
- [2] Zagklis, D. P., & Bampos, G. (2022). Tertiary Wastewater Treatment Technologies: A Review of Technical, Economic, and Life Cycle Aspects. *Processes*, 10(11), 2304. <https://doi.org/10.3390/pr10112304>
- [3] Ianes, J., Piraldi, S., Cantoni, B., & Antonelli, M. (2025). Micropollutants removal, residual risk, and costs for quaternary treatments in the framework of the Urban Wastewater Treatment Directive. *Water Research X*, 29, 100334. <https://doi.org/10.1016/j.wroa.2025.100334>

Kelt: Veszprém, 2025. június 2.

**Harasztiné Hargitai Réka**  
doktorjelölt

**Pannon Egyetem • University of Pannonia**

Fenntarthatósági Megoldások Kutatólaboratórium

8200 Veszprém, Egyetem utca 10.