SZÉCHENYI EGYETEM
UNIVERSITY OF GYŐR

Doktori értekezés bírálat

Czvetkó Tímea

„Navigating the Twin Transformation: Multi-Level Data and Systems Science Frameworks for Sustainable Industry 5.0”
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

Czvetkó Tímea nyilvános vitára nyújtotta be a Pannon Egyetem Vegyészmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskolája keretében, Bio-, környezet- és vegyészmérnöki tudományok tudományágban „Navigating the Twin Transformation: Multi-Level Data and Systems Science Frameworks for Sustainable Industry 5.0” című angol nyelvű PhD értekezés tervezetét, mely 195 számozott oldalt tartalmaz. Mivel bírálóként volt lehetőségem a munkahelyi vitára bocsátott anyag észrevételezésében részt venni, így jelen bírálatban az általánosan vizsgált pontokon túlmenően elsősorban a korábbi verzió kapcsán tett észrevételekre adott válaszokat és az értekezés ezirányú javítását értékelem.

Az értekezés tervezet az alábbi témakörök mentén, a témavezetővel egyeztetve magyar nyelven kerül értékelésre.

1. Témaválasztás

A témaválasztás továbbra is kiemelten aktuálisnak tekinthető, hiszen zöld átmenetet támogató módszerek és megoldások kutatása napjaink egyik legkurrensebb témája. Ezt tovább erősíti az a tény is, hogy a doktorjelölt konkrét Ipar 4.0 és Ipar 5.0 megoldások fenntarthatósági célú alkalmazhatóságát vizsgálta adat és rendszertudományi eszközökkel, mely így hosszabb távon közvetlen hasznosítási lehetőséget is nyerhet versenyszféra alkalmazásokban.

A témaválasztás keretében a zöld átmenet kapcsán vizsgálta a modern digitalizált és ICT alapú eszközök alkalmazhatóságát és erre építve alkotott meg egy olyan különböző megoldásokat tartalmazó toolkitet, mely a globális szinttől egészen a konkrét alkalmazások folyamatszintjéig bevezethető modelleket és módszertanokat tartalmaz. Ez különösen fontos, hiszen az emberi társadalom jövőképessége szempontjából kiemelten fontos, hogy minél hamarabb olyan könnyen alkalmazható eszközök álljanak rendelkezésre, melyek segítségével a szűkös erőforrások hatékonyan és a fenntarthatóságot támogató módon kerülhetnek felhasználásra.

A jelölt azon célja, hogy egy olyan univerzális modellt fejlesszen ki, amely átível a globális, regionális, szervezeti szinteken, egészen a szabályozhatóság alapját jelentő folyamatszintig, éppen ezért nagyon komoly feladatvállalás és igazából – a szerző szándékai ellenére – nehezen is képezhető le egyetlen univerzális megoldással. Ettől függetlenül tudományos szempontból értékes eredmény, hogy ezeken az egymástól jelentősen eltérő szinteken keresztül azonos logikával vizsgálta a fenntarthatósági átmenetből jelentkező kihívásokat és próbált azokra egy digitalizált Ipar 4.0; 5.0 megoldást találni.

Összességében tehát a dolgozat témaválasztása aktuálisnak, a vizsgálatok pedig tudományos szempontból is újszerűnek tekinthetők.

2. Az értekezés struktúrája és tartalmi elemei

A 195 számozott oldal terjedelmű dolgozat hat fő fejezetre tagolódik. Ezek felépítése és sorrendje logikusan követi a vizsgálati szintek változását, valamint illeszkedik a kapcsolódó kutatási feltevésekhez (tézisekhez). A részletes elemzéseket a 6. fejezetben szereplő következtetések és a tézisek igazolása zárja. A dolgozat áttekinthetőségét erősíti, hogy a szerző minden főfejezet elején röviden bemutatja annak logikai szerkezetét.

A dolgozat keretében megfogalmazott tézisek és kutatási kérdések bemutatása rögtön az első fejezet végén található, a követő fejezetek az ezek igazolására vonatkozó részeket tartalmazzák. A szerző a tézisek kezdeti megfogalmazását (1.2 fejezet) további részletező információkkal egészítette ki, melyek a megértést segítik, valamint ebben a fejezetben nagyon helyesen, mint előzetes tézisjavaslatok kezeli ezeket a pontokat. A javasolt tézisek és a hozzájuk kapcsolódó kutatási kérdések a munkahelyi vitára szánt verzióhoz képest nem változtak.

A korábbi változathoz képest még tovább bővült a felhasznált források száma (272 → 284 db), mely szám egyértelműen jelzi, hogy a jelölt alaposan körbejárta és ismeri a téma meghatározó szakirodalmát.

Az értekezés az előre definiált elemzési szinteken (globális – regionális – szervezeti – folyamatszintű) halad végig, ezt már a kutatási terv meghatározásakor előre definiálja. Ezt a logikát – ahogy már a dolgozat korábbi verziójában is volt – logikusan végigviszi a tudományos vizsgálatok során. A korábbi opponenciában megfogalmazott észrevételt, mely az egyes szintek közötti összefüggések transzparensebb és jobban körülhatárolt bemutatására vonatkozott a szerző alapvetően figyelembe vette és erősítette az egyes szintek közötti kapcsolatokat, ettől függetlenül – a téma jellegéből kifolyólag – a megcélzott egységes módszertani keret kialakítása továbbra sem teljesül maradéktalanul, viszont a dolgozat koherensebb felépítést kapott. Továbbra is probléma azonban, hogy az eltérő elemzési szintek eltérő rendszerdinamikával és komplexitással rendelkeznek, így egy mindegyiken átívelő univerzális modell megalkotása nem lehetséges.

A korábbi bírálatban javaslat szintjén felmerült, hogy a globális és a regionális szint között az országos szintet is érdemes lenne bevonni a vizsgálatba. Az észrevételt a szerző érdemben figyelembe vette. A dolgozat átdolgozott változata explicit módon rámutat arra, hogy a globális, regionális, szervezeti és folyamatszintű elemzési keret nem alkot teljes és zárt hierarchiát, és külön kiemeli a nemzeti, valamint az ágazatspecifikus szakpolitikai és szabályozási környezet közvetítő szerepét. Pozitív előrelépés, hogy a szerző ezeket a tényezőket a globális prioritások, a regionális adottságok, a szervezeti stratégiák és a folyamatszintű végrehajtás közötti horizontális kontextuális rétegként értelmezi. Ugyanakkor a nemzeti szint továbbra sem jelenik meg önálló empirikus elemzési szintként, annak explicit beépítését a szerző a modell jövőbeli továbbfejlesztési lehetőségeként azonosítja. Ennek megfelelően a korábbi észrevétel teljes körű módszertani kezelése ugyan nem történt meg, a választott lehatárolás indoklása és a nemzeti szint szerepének konkrét megjelenítése azonban érdemben javította a modell koncepcionális megalapozottságát és átláthatóságát.

A folyamatszint értelmezésére vonatkozó észrevételt a szerző részben kezelte. Az átdolgozott változat egyértelműen a szervezeten belüli operatív folyamatokra határolja le a folyamat elemzési szintjét, és pontosítja a szervezeti határokon átnyúló ellátási láncok és szolgáltatási hálózatok szerepét is, egyben jelzi, hogy azok vizsgálata nem képezi a modellalkotás részét. Ezzel a kizárással kezeli a bíráló által felvetett észrevételt, ugyanakkor ennek a kétségkívül fontos témának a vizsgálata lehetséges új kutatási területként és a modell potenciális bővítési lehetőségeként azonosítható.

Az ágazati szempontok hiányára vonatkozó korábbi észrevételt a szerző megfelelően kezelte. Az átdolgozott változat már figyelembe veszi, hogy a szervezeti fenntarthatósági stratégiákat a regionális adottságok mellett a nemzeti és ágazati szakpolitikai környezet is alakítja. Ezek a tényezők ugyan nem képeznek önálló elemzési szintet, de a modell hátterében megjelennek. Az ágazati benchmarkok szerepének részletesebb bemutatása ugyanakkor továbbra is korlátozott.

Szintén pozitív változásként kezelhető, hogy az ESG, mint új szabályozási / működési diszciplína értelmezése a korábbinál jóval tágabban (azaz nem csak a fenntarthatósági jelentéstételre korlátozva) jelenik meg az értekezésben. Bár a kutatás alapvetően nem ESG-szempontú, de a dolgozat szakmaiságát mégis emelik ezek a pontosítások.

Az egyes vizsgálati szintek kapcsán a munkahelyi vitára készített bírálat megállapításai mentén vizsgáltam az egyes pontok változásait / fejlődését.

Továbbra is kijelenthető, hogy a globális szintű vizsgálathoz alkalmazott, GDELT adatbázisra épített hírelemzés innovatív és tényleges tudományos értékkel bír. A szerző a globális elemzés módszertani korlátaira vonatkozó korábbi észrevételeket (pl. redundanciák, elérési adatok, az egyes megállapítások és a vélelmezett társadalmi kiváltó okok kapcsolata stb.) részletesebben tárgyalja, és ennek megfelelően több ponton óvatosabban értelmezi az eredményeket. Ugyanakkor a jelzett problémák, így különösen a híradatok redundanciája, pontatlansága, az egyenlőtlen médiamegjelenés és az elérési adatok hiánya nem épültek be az elemzés módszertani korrekciójába. A módosítás ezért elsősorban a korlátok megfelelőbb bemutatását és az eredmények körültekintőbb értelmezését jelenti, nem pedig azok módszertani feloldását. Természetesen érthető, hogy a nyilvános vitáig rendelkezésre álló idő nem elégséges ahhoz, hogy alapjaiban alakítsa át a szerző az elemzési módszertant, viszont így a megállapítások csak kellő óvatossággal és bizonytalansággal kezelhetők. Ettől függetlenül a limitációk konkrét szerepeltetése legalább részben rendezi ezt a problémát.

A regionális szintű elemzés kifejezetten fontos a modell szempontjából, hiszen ez kapcsolja össze a globális trendeket a tényleges beavatkozási lehetőségeket kínáló mikrogazdasági szinttel. Ezen szint kapcsán az elemzési módszerek segítségével a globálisan kiemelt SDG-ket igyekszik kapcsolni a kiválasztott öt regionális kulcsdimenzióval. A korábbi bírálat elsősorban az elemzésekhez alkalmazott megközelítések (pl. triple helix modell) teljes körűségét és a vizsgált adatbázisok aktualitását emelte ki. Ezeket az észrevételeket a szerző csak részben kezelte. Az átdolgozott változat indokolja az öt vizsgálati dimenzió azonos súlyozását, részletesebben alátámasztja a regionális rangsor eredményeit, valamint lényegesen világosabban bemutatja a regionális szint helyét a többszintű modellben és az eredmények gyakorlati hasznosíthatóságát, ez egyértelműen javít a fejezet konkrétságán és szakmai megalapozottságán. A Quadruple Helix megközelítést a jelölt jövőbeli kutatási lehetőségként azonosítja, ennek vizsgálata a jövőben mindenképp indokolt lenne. A regionális oktatási kínálat összevetése a végzettek számával azonban nem került be az elemzésbe, a GERD-adatok aktualizálása a 2024-es értékekkel és az elemzés ennek megfelelő frissítése sem történt meg (ez különösen sajnálatos), továbbá a rangsor külső, a modell indikátoraitól független validálása és az alkalmazott kategóriahatárok pontosítása is hiányzik továbbra is. Összességében a regionális elemzés értelmezése és a modellbe történő illesztése számottevően javult, ugyanakkor több korábbi módszertani és adatminőségi korlát továbbra is fennáll a fejezet vonatkozásában.

A szervezeti szintű elemzés azért is kifejezetten izgalmas, mert itt már olyan megoldásokat vizsgál a szerző, melyek – adott esetben – konkrétan alkalmazhatók a vállalati gyakorlatban. Mivel ez a mikroszint az, amely kifejezetten meghatározó a zöld átállás szempontjából, ezért különösen fontos, hogy az ennek kapcsán született vizsgálati eredmények kellőképpen alátámasztásra kerüljenek. A szervezeti szint elemzésére vonatkozó korábbi észrevételeket a szerző csak részben kezelte. Az átdolgozott változat pontosabban helyezi el a jelentéstétel szerepét a fenntarthatósági menedzsmentben, konkrét példával szemlélteti a QFD-modell működését, valamint érdemben kifejti az SDG 8 és SDG 12 közötti erős kapcsolat szakmai hátterét és az ellátási lánc fenntarthatósági vonatkozásait. A kapcsolatmátrix eredményeinek értelmezése is árnyaltabbá vált, különös tekintettel a szakértői megítélésből eredő korlátokra. Ugyanakkor továbbra sem kellően indokolt a GRI Topic Standards alkalmazása, illetve annak más releváns keretrendszerekhez, különösen a CSRD/ESRS-hez való viszonya. A vizsgált SDG-célok és GRI-követelmények kiválasztási módszertana sem vált teljesen átláthatóvá. A kapott eredmények elfogadhatósága kapcsán további korlátot jelent, hogy iparági esettanulmányon alapuló validáció és formális érzékenységvizsgálat nem történt, így a modell eredményeinek általánosíthatósága továbbra is kellő óvatossággal kezelendő.

A vizsgálati eredmények elméleti validációja egy konkrét termelőegység példáján keresztül történt. Bár a szerző elméleti szinten kitért a folyamatfejlesztés lehetséges fenntarthatósági kihatásaira az esetpélda továbbra is elsősorban folyamatoptimálási fókuszú és az empirikus vizsgálat a konkrétumok szintjén nem tér ki a fenntarthatósági aspektusokra. A fenntarthatósági kapcsolat így lényegében elméleti és csak értelmezési szinten jelenik meg, miközben annak empirikus igazolása továbbra is hiányzik. A vizsgálati eredmények továbbvitelére a szerző meghatároz hasznosítási irányokat, de ezek inkább általánosak, nem pedig konkrét szervezeti ajánlások.

Összességében elmondható, hogy a szerző a korábbi bírálatban megfogalmazott észrevételek túlnyomó többségével foglalkozott és különböző módokon, de adresszálta azokat az átdolgozott értekezésben. Sok esetben azonban ezek a változtatások inkább arra fókuszálnak, hogy a vizsgálat szempontjából limitációkat fogalmaznak meg és érdemben nem épülnek be a tényleges kutatásba. Természetesen érthető, hogy a rendelkezésre álló korlátozott idő alatt nem lehetséges minden észrevételt érdemben kezelni, de fontos látni, hogy ezek a témák a kutatás koherenciáját és megalapozottságát részben csökkentik. Ez nem jelenti azt, hogy a kutatási eredmények ilyen formában nem fogadhatók el, viszont mindenképp érdemes a későbbiekben ezeket a pontokat érdemi és tartalmi módon rendezni.

3. Alkalmazott vizsgálati módszerek

Ahogy a munkahelyi vitára készített anyag esetében, jelen, átdolgozott munka vonatkozásában is megállapítható, hogy a kutatási kérdések vizsgálatára a szerző egyrészt nagyon alapos szakirodalmi elemzést végzett, majd erre építve a különböző elemzési szinteken eltérő vizsgálati módszereket (pl. hírelemzés, folyamatelemzési és -optimálási megközelítések stb.) alkalmazott. Az egyes vizsgálati módszerek – a fentebb jelzett továbbra is meglévő módszertani hiányosságok / bizonytalanságok ellenére – alkalmasak az adott szinten a kutatási kérdések elemzésére. A probléma, hogy az eltérő jellegzetességek és kutatási fókuszok miatt ez nem tud összeállni egy egységes módszertanná. Ennek ellenére a választott vizsgálati / elemzési módszerek korszerűek és alkalmasak a felvetett kérdés tudományos vizsgálatára, különösképpen mivel a szerző megfelelő színvonalon és arányban is alkalmazza azokat.

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. A szerző arra tett munkájában kísérletet, hogy egy olyan átfogó megközelítést vizsgáljon, mely összekapcsoltan vizsgálja a fenntarthatóság és az Ipar 4.0; 5.0 témaköreit a globális szinttől indulva egészen a mikroszinten belüli folyamatokig. Ennek érdekében nagyon sok modellt és megközelítést vizsgált és hasonlított össze, valamint eredményesen rendelt hozzá a különböző elemzési lépésekhez.

A tudományos eredményeket továbbra is 4 tézisben foglalta össze, ebben nem volt változás az értekezés korábbi verziójához képest. A doktori értekezés talán legfontosabb része a tézisek megfogalmazása és azok igazolása. Ezen a téren a szerző ténylegesen jelentős átalakításokat eszközölt. Különösen üdvözlendő, hogy az 1.2 fejezetben a megfogalmazást kiegészítette az előzetes, tézisekhez kapcsolódó megállapításokkal, így már a dolgozat elején sokkal pontosabban érthető a kutatási cél és a vizsgálatok iránya. Szintén jelentős módosításokat eszközölt a végleges tézisek megfogalmazásában is, melyek így jóval pontosabban írják le a tényleges tudományos eredményeket. Szintén segítik a megértést az elemzési szintek és kutatási kérdéscsoportok, valamint az Ipar 5.0 és a fenntarthatósági kérdések összerendelését tartalmazó táblázatok.

A szerző az egyes tézisek megfogalmazását kiegészítette azok tényleges kutatási alábontásával és bemutatja, hogy az egyes tézisek igazolása során milyen módszereket és hogyan alkalmazott. Ezek a kiegészítések amellett, hogy támogatják a megértést, önmagukban is értékes tudományos megállapításokat tartalmaznak.

Tételesen az egyes tézisek kapcsán:

- **1. tézis:** A tézis megfogalmazásában eszközölt változtatások és azok alábontása megfelelő, így a tézis ebben a formájában elfogadható.

- **2. tézis:** A tézist a jelölt átfogalmazta, egyben pontosította, hogy a tézis az Ipar 4.0 megoldásra fókuszál, így sokkal konkrétabban írja le a tudományos eredményt. Az egyes altézisek is konkrétabbá és koherensebbé váltak, így a tézis jelen formájában elfogadható.
- **3. tézis:** A tézis szintén átfogalmazásra került, így jóval pontosabban és árnyaltabban írja le a tudományos eredményt. Az altézisek alátámasztják a főtézisben foglaltakat. Ugyanakkor a szervezeti döntéstámogató képesség csak részben tekinthető igazoltnak, mivel a kapcsolati mátrixok részben szakértői megítélésen alapulnak, érzékenységvizsgálat és szervezeti szintű empirikus validáció nem történt. A tézis ezzel a limitációval elfogadható.
- **4. tézis:** Itt is pontosította a szerző a tézis megfogalmazását, mely ezáltal tudományos szempontból védhetőbbé vált, viszont továbbra is problémás ennek a tudományos megállapításnak a hozzákötése a tényleges fenntarthatósági teljesítményjavításhoz, ami az értekezés fő vizsgálati fókusza. A tézis továbbá leszűkíti a tudományos eredményt az Ipar 4.0-ra, így az a helyzet áll elő, hogy bár az értekezés címében az Ipar 5.0-át jelöli meg vizsgálati területként, ez utóbbi nem jelenik meg egyik tézisben sem. A 4. tézis ettől függetlenül elfogadható új tudományos eredményként.

Összességében az átdolgozás során sokat javult a tézisek minősége és konkrétsága, de azok a limitációk, melyek a korábbi bírálatban megfogalmazásra kerültek, részben fennmaradtak.

5. Szakirodalmi hivatkozások, valamint a jelölt tématerülethez kapcsolódó publikációs tevékenysége

A dolgozatban a szerző nagy számú, összesen 284 darab forrást dolgozott fel. Ez az érték a korábbi változathoz képest még bővült is. A felhasznált szakirodalmak 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. A szakirodalmi feldolgozás minősége a dolgozat egyik kifejezett erőssége. A jelölt pótolta a tématerülethez kapcsolódó publikációs tevékenységére vonatkozó információkat is.

Az ábrák és táblázatok forrásainak feltüntetésére vonatkozó korábbi észrevételt a szerző részben kezelte: az átdolgozott változatban több esetben már megjelenik a felhasznált forrás, illetve a saját szerkesztésre történő utalás. A gyakorlat azonban nem következetes a teljes dolgozatban.

6. Formai, nyelvi követelményeknek való megfelelés

A formai és nyelvi színvonal a korábbi verziónak megfelelő módon kifejezetten magas színvonalú, kutatói szempontból megfelelő és támogatja a megértést. Javulás észlelhető az alkalmazott rövidítések vonatkozásában is. Az átdolgozott részekben sem fordulnak jellemzően elő helyesírási hibák és elütések. Az ábraállomány továbbra is támogatja a téma mélyebb megértését.

Mindezek alapján a nyilvános vitát követően támogatom a doktori fokozat odaítélését.

Győr, 2026.10.18.

Dr. Torma András
tanszékvezető egyetemi docens

AKMK Alkalmazott Fenntarthatóság Tanszék
9026 Győr, Egyetem tér 1. 9007 Győr, Pf. 701.
+36 96 503 453 +36 96 503 453 torma@ga.sze.hu http://uni.sze.hu

Kérdések a védésre:

1. Jelenleg melyik SDG kapcsán látja a legnagyobb vállalkozások előtt álló kihívást és ez a kihívás hogyan lenne kezelhető a vizsgált Ipar 4.0 / 5.0 módszerekkel?
2. Milyen továbbfejlődési utakat lát az Ipar 5.0 és fenntarthatóság kapcsolatában?