PhD értekezés bírálat – nyilvános védésre

Dolgozat címe: A kettős átalakulás útján: többszintű adat- és rendszer tudományi keretrendszerek a fenntartható Ipar 5.0 érdekében

Szerző: Czvetkó Tímea

Doktori iskola: Pannon Egyetem, Vegyészmérnöki- és Anyagtudományok Doktori Iskola

Év: 2026

Bevezetés

Az értekezés az Ipar 4.0 és Ipar 5.0 szemléletű átalakulások adat- és rendszertudományi támogatásának témakörét vizsgálja. A dolgozat központi kérdése, hogy a zöld és digitális átállás miként értelmezhető és támogatható különböző elemzési szinteken: globális, regionális, szervezeti és folyamat szinten. Az értekezés fő értéke, hogy nem egyetlen ipari vagy technológiai részproblémát vizsgál, hanem többszintű módszertani eszköztárat épít fel, amely a fenntartható fejlődési célok globális médiamegjelenésétől a régiók Ipar 4.0 felkészültségén és a szervezetek Ipar 5.0 alapú fenntarthatósági fejlesztésén át egészen egy konkrét gyártási folyamat adatvezérelt újratervezéséig vezet.

A jelölt globális szinten GDELT-alapú hír- és hálózatelemzési módszertant dolgoz ki az SDG-k országonkénti láthatóságának, hangulatának és kapcsolódásainak vizsgálatára. Regionális szinten nyílt adatokra épülő Ipar 4.0+ felkészültségi indexet javasol NUTS-2 régiókra. Szervezeti szinten a GRI témaszabványokat, SDG-célokat és Ipar 5.0 megoldáscsaládokat kapcsolja össze QFD- és hálózatelemzési keretben. Folyamat szinten pedig a BPM-életciklus és a CRISP-ML(Q) adat- és gépi tanulási modell integrációját mutatja be egy CNC gyártósor újratervezési esettanulmányán keresztül.

A dolgozat angol nyelven íródott, elírásokat elvétve tartalmaz, a jelölt magabiztosan uralja a szakmai nyelvet. A jelölt az értekezés és az ott hivatkozott, 284 db publikáció alapján ismeri a jelenlegi, dolgozat témáját érintő szakirodalmat és szabályozásokat, rávilágít azok hiányosságaira és megfelelő módon hangsúlyozza a saját eredményeinek újdonságtartalmát is. Az irodalom jelenlegi állása alapján indokolja a kutatása szükségességét, motivációját is.

Az egyes fejezetekben részletesen ismerteti, hogy milyen eszköztárat, módszer(eke)t használt, miért éppen az adott módszer(eke)t választotta, és mik az adott módszertan

korlátai (pl. GDELT esetén torzító tényezők; az érettségi modell esetén a legtöbb, a téma szempontjából lényeges indikátort figyelembe veszi, és indokolja is, miért ezeket választotta). A bemutatott eredményeket nem csak megemlíti, hanem részletesen értelmezi is. A gondolatmenete logikus, jól követhető, az értekezés megfelelően tagolt és az ábrák, táblázatok is egyértelműek, világosak. Rövidítések, ábrák, táblázatok jegyzéke is javítja az átláthatóságot.

A jelölt publikációs teljesítménye bőven túlteljesíti egy PhD értekezés benyújtásakor elvártakat: MTMT alapján a bírálat benyújtásakor 25 tudományos közlemény társszerzője, ebből 18 folyóiratcikk.

Észrevételek

1. Az értekezés egyik fő üzenete az, hogy az Ipar 4.0/5.0 átállás csak többszintű, rendszerelvű és adatvezérelt megközelítéssel kezelhető megfelelően, és a szintek között erős kölcsönhatások állnak fenn. A szerző az egyes fejezetekben, valamint a 6. fejezet összefoglaló részében részletesen ismerteti a globális, regionális, szervezeti és folyamatszintű megközelítések közötti lehetséges kapcsolódásokat, illetve a top-down és bottom-up irányú kölcsönhatásokat. Ugyanakkor megítélésem szerint a négy szint közötti integráció elsősorban koncepcionális jellegű. Bár a dolgozat megfelelően azonosítja az egyes szintek közötti információáramlási és döntéstámogatási lehetőségeket, nem definiál konkrét adatkapcsolatokat, transzformációs szabályokat vagy olyan közös alkalmazási példát, amelyben az egyik szinten kapott eredmények tényleges bemenetként szolgálnának egy másik szint módszertanához. Ennek megfelelően az értekezés eredményeit elsősorban négy, egymással koncepcionális kapcsolatban álló módszertani hozzájárulásként értékelem, nem pedig egy empirikusan is integrált, többszintű keretrendszerként. Ez nem vonja kétségbe az egyes szinteken elért tudományos eredmények értékét, ugyanakkor kijelöli azok integrált alkalmazásának további kutatási lehetőségeit.
2. A 3. fejezetben a szerző a kidolgozott I4.0+ felkészültségi index eredményeit a GDP-vel, a regionális innovációs indexszel (RII), valamint a regionális versenyképességi indexszel (RCI) veti össze. Az így kapott korrelációkat az index validálásának részeként értelmezi. Ugyanakkor az I4.0+ index olyan dimenziókra épül, mint az innováció, a felsőoktatás, a munkaerőpiac és a technológiai fejlettség, amelyek a regionális innovációs és versenyképességi mutatórendszerekben is releváns szerepet játszhatnak. Emiatt a kimutatott korrelációk értelmezésekor célszerű lenne megvizsgálni az indikátorrendszerek közötti átfedéseket. A magas korreláció alátámaszthatja a kidolgozott index konvergens érvényességét, önmagában azonban nem bizonyítja annak a meglévő indexekhez képest nyújtott önálló információtartalmát.

3. A 4. fejezetben a szerző egy QFD- és hálózatelemzés-alapú módszertant dolgoz ki, amelynek célja az Ipar 5.0 megoldások és a szervezeti fenntarthatósági követelmények közötti kapcsolatok feltárása, valamint a lehetséges fejlesztési irányok priorizálásának támogatása. A módszertan egyik fontos eredménye az Ipar 5.0 megoldások fontossági sorrendjének meghatározása, amely a fenntarthatósági követelményekhez rendelt súlyokon, valamint a követelmények és az egyes megoldások közötti kapcsolatokon alapul.

   A megközelítés erőssége, hogy strukturált és átlátható módon támogatja a szervezeti fejlesztési prioritások meghatározását. Ugyanakkor a bemutatott alkalmazási példában a fenntarthatósági követelmények azonos súllyal szerepelnek, a kapcsolati mátrix pedig bináris értékeket tartalmaz, vagyis kizárólag a kapcsolatok meglétét vagy hiányát veszi figyelembe, azok erősségét nem. Ennek következtében a megoldások fontossági pontszámát elsősorban az határozza meg, hogy hány fenntarthatósági követelményhez kapcsolódnak, ami nem feltétlenül tükrözi a megvalósításukkal elérhető tényleges fenntarthatósági javulás mértékét.

   További kérdésként merül fel a rangsor robusztussága. A szerző a 4.5. alfejezetben maga is rámutat arra, hogy a kapcsolati mátrixok részben szakértői értékelésen alapulnak, és formális érzékenységvizsgálat nem történt. Egy ilyen vizsgálat megmutathatná, hogy a fejlesztési prioritások mennyire érzékenyek a fenntarthatósági követelmények súlyozására, illetve a szakértők által meghatározott kapcsolatok módosítására. Ez különösen fontos lehet a módszer vállalati alkalmazásakor, hiszen az egyes szervezetek fenntarthatósági céljai és fejlesztési preferenciái jelentősen eltérhetnek egymástól.

   Bár a szerző külön kapcsolati mátrixban vizsgálja az Ipar 5.0 megoldások egymásra gyakorolt hatását, ezeket a kölcsönhatásokat – ahogy maga is rámutat – nem veszi figyelembe a fontossági pontszámok számításakor. A gyakorlatban azonban az egyes fejlesztések között jelentős szinergiák vagy akár ellentétes hatások is előfordulhatnak, amelyek befolyásolhatják a megvalósításuk célszerűségét. E kapcsolatok figyelembevétele nemcsak a megoldások rangsorát módosíthatná, hanem egymást támogató fejlesztési csomagok azonosítását is elősegíthetné.

   Összességében a kidolgozott keretrendszert értékes módszertani hozzájárulásnak tartom, ugyanakkor a rangsor érzékenységének vizsgálata, a kapcsolatok erősségének differenciált kezelése és az Ipar 5.0 megoldások közötti kölcsönhatások beépítése tovább növelhetné annak gyakorlati döntéstámogatási értékét.

A tézisek értékelése

A jelölt az értekezésben négy fő tézispontban foglalja össze új tudományos eredményeit.

Az I. tézispontban a jelölt a GDELT híradatbázisra és a Világbank tematikus taxonómiájára épülő, hír- és hálózatelemzési módszertant dolgozott ki. A módszer lehetővé teszi a fenntartható fejlődési célokhoz kapcsolódó hírek azonosítását, gyakoriságuk és hangulatuk országonkénti vizsgálatát, valamint többrétegű hálózatok segítségével az országok és fenntarthatósági témák közötti kapcsolatok, illetve tematikus közösségek feltárását.

A II. tézispontban a jelölt nyílt statisztikai adatokra épülő regionális Ipar 4.0+ felkészültségi modellt dolgozott ki. A modell 101 indikátort integrál öt fő dimenzió mentén, és PROMETHEE II/GAIA, PCA, SRD, valamint P-SRD módszerek alkalmazásával teszi lehetővé a NUTS-2 régiók összehasonlítását, rangsorolását és a felkészültséget meghatározó tényezők azonosítását. A szerző az eredményeket gazdasági, innovációs és versenyképességi mutatókkal is összevetette.

A III. tézispontban a jelölt QFD- és hálózatelemzés-alapú döntéstámogató keretrendszert dolgozott ki, amely az SDG-célokat, a GRI fenntarthatósági követelményeket és az Ipar 5.0 megoldáscsaládokat kapcsolja össze. A módszertan a követelmények és fejlesztési megoldások közötti közvetlen és közvetett kapcsolatok feltárásával, a kulcstényezők és kapcsolódó csoportok azonosításával támogatja a szervezetspecifikus fenntarthatósági fejlesztési prioritások meghatározását.

A IV. tézispontban a jelölt a BPM-életciklus és a CRISP-ML(Q) módszertan integrálásával adatvezérelt folyamatfejlesztési keretrendszert dolgozott ki. A megközelítés a folyamatadatok elemzését, a folyamatmodellezést, a szimulációt és a teljesítménymutatókon alapuló értékelést egységes fejlesztési folyamatba rendezi. A módszertan alkalmazhatóságát egy CNC gyártósor újratervezésén keresztül demonstrálta, ahol különböző fejlesztési alternatívák szimulációs vizsgálatával mutatta be a mérhető teljesítményjavítás lehetőségeit.

A tézispontok bemutatása során a jelölt megfelelő módon ismerteti, hogy az adott módszer milyen inputokat használ, milyen módszerekkel és milyen eredményeket szolgáltat. A bemutatott eredmények megfelelően alátámasztottak, és önálló tudományos hozzájárulást jelentenek az adat- és rendszertudományi módszerek Ipar 4.0/5.0 területén történő alkalmazásához.

A fentiek alapján a jelölt mind a négy téziscsoportját elfogadom.

Összességében az értekezést elfogadásra javaslom.

Kérdések:

1. A 3.4.2. fejezetben a kidolgozott I4.0+ felkészültségi index eredményeit a regionális innovációs indexszel (RII) és a regionális versenyképességi indexszel (RCI) is összehasonlítja, és viszonylag erős korrelációt mutat ki közöttük. Az indexek által vizsgált területek alapján feltételezhető, hogy az azokban felhasznált indikátorok között is vannak átfedések. Vizsgálta-e, hogy pontosan mely indikátorok vagy dimenziók szerepelnek mindkét mutatórendszerben, illetve milyen mértékű ez az átfedés? Mi indokolja az átfedő indikátorok alkalmazását, és hogyan befolyásolhatja ez az indexek közötti korrelációk értelmezését?
2. A 4. fejezetben a szerző külön vizsgálja az Ipar 5.0 megoldások egymásra gyakorolt hatását, azonban ezeket a kölcsönhatásokat nem veszi figyelembe a fejlesztési prioritások meghatározásakor. Hogyan lehetne ezeket a kölcsönhatásokat beépíteni a QFD-alapú rangsorképzésbe, és véleménye szerint milyen hatással lenne ez az eredményül kapott prioritásokra?

Budapest, 2026.10.26.

Dr. Szaller Ádám