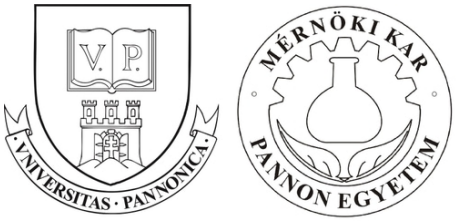
Doktori (PhD) értekezés tézisei

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

Czvetkó Tímea

Pannon Egyetem
Vegyészmérnöki és Anyagtudományok
Doktori Iskola

Témavezetők
AbonyiJános DSc., Sebestyén Viktor PhD.



Folyamatmérnöki Intézeti Tanszék
Veszprém
2026

A téma bemutatása

Az Európai Unió a digitális transzformációt és a fenntarthatóságot a jövőbeli versenyképesség kulcsfontosságú hajtóerejeként azonosította, a kettős átállás keretében: a zöld és digitális szakpolitikák integrációjaként. Ebben az összefüggésben az Ipar 4.0 (I4.0) és az Ipar 5.0 (I5.0) meghatározó paradigmák a reziliens, emberközpontú és fenntartható termelési rendszerek fejlesztésében. Míg az Ipar 4.0 a kiberfizikai rendszerekre, az automatizálásra, valamint a horizontális és vertikális adatintegrációra helyezi a hangsúlyt, addig az Ipar 5.0 erre az alapra építve erősíti az emberközpontúságot, a fenntarthatóságot és a rezilienciát az ipari ökoszisztémákban. A digitális transzformáció a folyamatban lévő kettős (zöld és digitális) átállás fontos eleme, ugyanakkor a fenntartható versenyképességhez komplex megközelítésekre és rendszerszintű gondolkodásra van szükség az átalakulási folyamatokban. Ez a készségek, szervezeti képességek, információáramlások és működési modellek fejlesztésére irányuló fókuszt igényel.

Az egyre bővülő szakirodalom ellenére továbbra is számos kihívás áll fenn e paradigmák különböző elemzési szinteken történő gyakorlati alkalmazásában, a globális fenntarthatósági monitorozástól a helyi folyamatoptimalizálásig. A dolgozat elsődleges célja olyan modellekből és módszertanokból álló eszköztár kidolgozása, amely keretrendszereket biztosít, és támogatja az Ipar 4.0 és 5.0 elemzéséhez és alkalmazásához kapcsolódó stratégiaalkotást a globális, regionális, szervezeti és folyamatszintet magában foglaló többszintű transzformációban.

Ennek megfelelően a dolgozat egy többléptékű keretrendszert javasol az Ipar 4.0 és 5.0 megoldások fejlesztésére, amely globális, regionális, szervezeti és folyamatszinten integrálja a rendszertudományi és adatvezérelt megközelítéseket. Az egyes szinteken eltérő problémák és kihívások jelennek meg, amelyek célzott feladatokat és módszereket igényelnek.

Kutatási célkitűzések

A kutatás átfogó célja olyan adat- és rendszertudományi alapú keretrendszerek kidolgozása, amelyek támogatják a fenntartható Ipar 4.0 és Ipar 5.0 transzformáció több döntési szinten történő elemzését, tervezését, priorizálását és megvalósítását.

- Globális szint: Hír- és hálózatelemzésen alapuló monitoring keretrendszer kidolgozása az SDG-khez kapcsolódó témák, országprofilok, hírhangvétel és együtt-előfordulási struktúrák azonosítására.
- Regionális szint: Nyílt adatokon alapuló Ipar 4.0+ felkészültségi modell és átlátható rangsorolási módszertan kidolgozása az európai NUTS-2 régiók számára.
- Szervezeti szint: QFD- és hálózatelemzés-alapú döntéstámogató keretrendszer kidolgozása, amely összekapcsolja a fenntarthatósági követelményeket az Ipar 5.0 megoldáscsaládokkal, és támogatja a vállalat- és iparágspecifikus priorizálást.

- Folyamatszint: Adatvezérelt BPM- és CRISP-ML(Q)-alapú keretrendszer kidolgozása és demonstrálása a folyamatok újratervezésének, megvalósításának, monitorozásának és folyamatos fejlesztésének támogatására.

- Többszintű célkitűzés: A négy szintspecifikus keretrendszer konceptuális, többszintű értelmezésének kialakítása és egymást kiegészítő szerepük vizsgálata a fenntarthatóság-orientált Ipar 4.0 és 5.0 transzformációban, beleértve azokat a top-down kapcsolatokat, amelyek révén a magasabb szintű prioritások regionális, szervezeti és folyamatszintű kontextusban értelmezhetők, valamint azt a bottom-up visszacsatolási logikát, amelyen keresztül az alacsonyabb szinteken nyert felismerések hozzájárulhatnak a magasabb szintű nézőpontok értelmezéséhez.

Kutatási kérdések és keretrendszerek

A kutatás az 1 ábrán bemutatott többléptékű keretrendszer mentén épül fel. Az egyes szinteket a következő részek részletesebben tárgyalják. Az 1 ábrán minden szint eltérő színnel jelenik meg. A dolgozatban alkalmazott eszközök színkódolása azt a szintet követi, amelyen az adott eszközt alkalmaztam. A hálózatelemzés például globális és szervezeti szinten egyaránt megjelenik, míg a szervezeti szintet a minőségfunkció-kibontás módszere is kiegészíti.

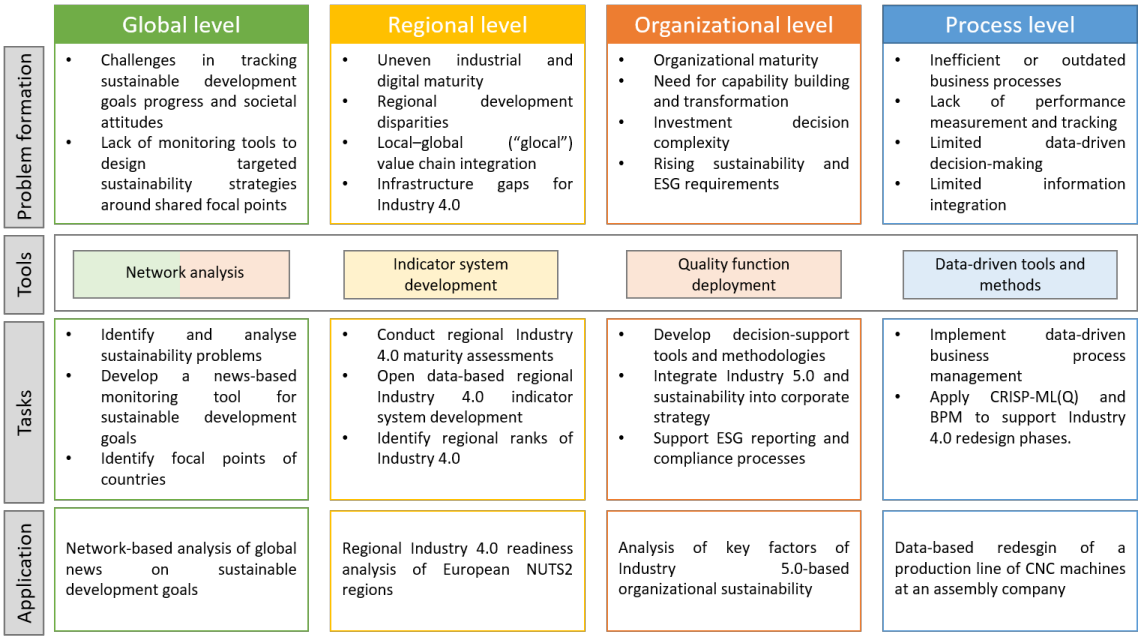


Figure 1: A kutatási témák sematikus keretrendszere (Forrás: saját szerkesztés)

Tézis I. - Fenntarthatósággal kapcsolatos kérdések globális szintű azonosítása és elemzése hírhálózat-elemzéssel

A hagyományos SDG-monitoring csak korlátozott betekintést nyújt a fenntarthatósági kérdések médiamegjelenésébe, hangvételébe és országok közötti kapcsolati struktúrájába. Ezért a dolgozat egy hír- és többrétegű hálózatelemzésen alapuló keretrendszert dolgoz ki, amely a

GDELT tartalmait SDG-khez kapcsolódó taxonómiákkal köti össze, támogatva az országprofilok, tematikus fókuszpontok és együtt-előfordulási mintázatok összehasonlító elemzését.

RQ I.I *Mely, a fenntartható fejlődési célokhoz közvetlenül kapcsolódó kifejezések azonosíthatók a hírek taxonómiai rendszerében?*

Az SDG-khez igazított szókészlet kialakítása lehetővé teszi a hírek fenntarthatósági témákhoz történő következetes hozzárendelését, javítva a források és időszakok közötti összehasonlíthatóságot és a lefedettség értékelését.

RQ I.II *Milyen a hírek hangvétele az egyes fenntarthatósági kérdésekkel kapcsolatban?*

A fenntarthatósági kérdésekről szóló hírek hangvételének elemzése támogatja a társadalmi percepciók feltárását.

RQ I.III *Milyen különbségek vannak az országok között az SDG-khez kapcsolódó hírek tekintetében? Mennyire hasonlóak a fókuszpontjaik?*

Az országok fókuszterületei közötti eltérések feltárják a prioritások eltolódását, ami támogathatja a stratégiai tervezést.

RQ I.IV *Mely országok működnek együtt a különböző fenntarthatósági kérdések tekintetében?*

Az országok fenntarthatósági hírekben való együttes előfordulásának azonosítása támogathatja az objektív összekapcsolódások elemzését.

Javasolt keretrendszer és módszer:

Globális szinten a keretrendszer a szisztematikus hírelemzést olyan makroszintű eszközként operacionalizálja, amely alkalmas annak monitorozására, hogy a figyelem mely fenntarthatósági témákra összpontosul, milyen a közbeszéd hangvétele, és hogyan kapcsolódnak egymáshoz az országok az SDG-k körül. A GDELT-adatbázis felhasználásával a megközelítés címkézett többrétegű hálózatot hoz létre, amely a 17 SDG mentén képezi le az országprofilokat, lehetővé téve a figyelem, a hangvétel és az együtt-előfordulási struktúrák országok közötti összehasonlítását. A mérésen túl a globális szint támogatja a feltörekvő kérdések és együttműködési mintázatok azonosítását, így a hírelemzés a közbeszéd és a szakpolitikai szempontból releváns felismerések közötti hídként értelmezhető.

Tézis II. - A regionális Ipar 4.0 felkészültség mérése

A meglévő Ipar 4.0 felkészültségi modellek elsősorban szervezetekre vagy országokra összpontosítanak, és korlátozott támogatást nyújtanak az átlátható regionális összehasonlításhoz. Ezért a dolgozat nyílt adatokon alapuló Ipar 4.0+ felkészültségi keretrendszert dolgoz ki NUTS-2 régiókra, amely öt regionális fejlesztési dimenziót integrál, és többkritériumos, valamint többváltozós módszereket kombinál a régiók rangsorolására és a meghatározó felkészültségi tényezők azonosítására.

RQ II.I *Melyek a regionális Ipar 4.0 felkészültség mérésének kulcsdimenziói és nyílt adatokon alapuló indikátorai?*

A regionális felkészültség nyílt adatokon alapuló indikátorokkal történő mérése támogatja a NUTS-2 régiók átlátható és reprodukálható benchmarkingját, az előrehaladás időszerű nyomon követését, valamint bizonyítékalapot biztosít a célzott szakpolitikai beavatkozásokhoz.

RQ II.II *Melyek a regionális Ipar 4.0 felkészültség legmeghatározóbb tényezői?*

A meghatározó tényezők azonosítása támogathatja a stratégia- és szakpolitika-alkotást azáltal, hogy feltárja a legnagyobb beavatkozási hatással rendelkező pontokat, orientálja a kapacitásfejlesztési és beruházási prioritásokat, valamint támogatja a forgatókönyv-tervezést és az érzékenységvizsgálatot.

RQ II.III *Milyen a régiók Ipar 4.0 felkészültségi rangsora?*

A regionális rangsor objektív meghatározása támogatja az összehasonlító értékelést.

RQ II.IV *Milyen kapcsolatban áll az Ipar 4.0 felkészültségi index a gazdasági, innovációs és versenyképességi indexekkel?*

A korrelációelemzés támogatja a validációt és a relevancia ellenőrzését, valamint segíthet előre jelezni az Ipar 4.0 beruházások regionális versenyképességre gyakorolt tovagyűrűző hatásait.

Javasolt keretrendszer és módszer:

Regionális szinten a dolgozat egy, a NUTS-2 régiókra kidolgozott Ipar 4.0+ (I4.0+) felkészültségi indexet vezet be, amely az oktatás, munkaerőpiac, innováció, beruházás és technológia területeit lefedő nyílt indikátorokra épül. Az összegyűjtött 101 indikátorból összetett mutató készül. Az index egymást kiegészítő többkritériumos és feltáró módszereket kapcsol össze: PROMETHEE II/GAIA az preferenciaalapú rangsoroláshoz és vizualizációhoz, PCA a varianciastruktúra és a biplot értelmezéséhez, SRD az indikátorok diagnosztikai erejének arany standardhoz viszonyított értékeléséhez, valamint P-SRD a kritériumok közötti hasonlóságok értékeléséhez az SRD PROMETHEE bemeneti mátrixra történő alkalmazásával. A külső validitás ellenőrzése magában foglalja a GDP-vel, a Regionális Innovációs Indexszel (RII) és a Regionális Versenyképességi Indexszel (RCI) való korrelációk vizsgálatát, ezzel támogatva a relevancia és a robusztusság értékelését.

Tézis III. - Az Ipar 5.0-alapú szervezeti fenntarthatóság fejlesztése

A fenntarthatósági standardok magas szintű szervezeti elvárásokat határoznak meg, de csak korlátozott útmutatást adnak arra vonatkozóan, hogy ezek a követelmények miként fordíthatók le konkrét Ipar 5.0 fejlesztési prioritásokká. Ezért a dolgozat QFD- és hálózatelemzés-alapú döntéstámogató keretrendszert dolgoz ki, amely összekapcsolja az SDG-célokat és a GRI Topic Standardokat az Ipar 5.0 megoldáscsaládokkal, és feltárja azok közvetlen, közvetett és közösségi szintű kapcsolatait.

RQ III.I *Hogyan priorizálhatják a szervezetek az Ipar 5.0-hoz kapcsolódó szervezeti fejlesztéseket?*

Az egyértelmű priorizálás lehetővé teszi a szűkös erőforrások legnagyobb fenntarthatósági és termelékenységi hozamot biztosító területekre történő irányítását, csökkenti a technológia-vezérelt zsákutcák kockázatát, és megalapozott beruházási ütemtervek, valamint KPI-célok kialakítását teszi lehetővé.

RQ III.II *Milyen kapcsolat van az SDG-k, a fenntarthatósági követelmények és az Ipar 5.0 megoldások között?*

A követelmények konkrét Ipar 5.0 megoldásokhoz történő hozzárendelése biztosítja, hogy a kezdeményezések célvezéreltek, és ne eszközvezéreltek legyenek; összehangolja a projekteket az érintetti elvárásokkal és közzétételi követelményekkel, valamint nyomon követhető kapcsolatot teremt a célok és a technológiaválasztás között.

RQ III.III *Milyen közvetett összekapcsolódás figyelhető meg az SDG-k, a GRI és az Ipar 5.0 fejlesztések között, és milyen közösségeket alkotnak?*

A közvetett kapcsolatok és közösségi struktúrák feltárása nemcsak a lehetséges konfliktusokat, hanem azokat a szinergikus, együtt fejleszthető megoldáscsomagokat is azonosítja, amelyek hatásai kölcsönösen erősíthetik egymást és közösen menedzselhetők.

Javasolt keretrendszer és módszer:

Szervezeti szinten a dolgozat egy Quality Function Deployment (QFD) alapú keretrendszert dolgoz ki, amely összekapcsolja az SDG-célokat, a GRI Topic Standardokat és az Ipar 5.0 megoldáscsaládokat, kiegészítve az Operator 4.0 és az emberközpontú menedzsment elemeivel. Ezáltal a stratégiai fenntarthatósági követelmények megvalósítható technológiai útvonalakkal kapcsolhatók össze. Az összetettség kezelésére és a struktúra feltárására a QFD-leképezés bipartit (és tripartit) hálózatként is reprezentálható, lehetővé téve az SDG-GRI-I5.0 rendszer közvetlen és közvetett kapcsolatainak strukturális elemzését. Ez a reprezentáció Louvain-alapú közösségdetektálást is támogat a szinergikus klaszterek azonosítására - vagyis olyan területek feltárására, ahol a szervezeti jelentéstétel és a technológiai fejlesztések erősítik egymást -, továbbá a potenciális hiányosságok jelzésére. A QFD és a hálózati megközelítés kombinációja auditálható kapcsolatot biztosít a közzétételi elvárásoktól a projektportfóliókig, miközben megőrzi a vállalatspecifikus stratégia szakértői testreszabhatóságát.

Tézis IV. - Folyamatszintű Ipar 4.0 és Ipar 5.0 fejlesztés

Az Ipar 4.0 technológiákat és adattudományi módszereket gyakran az üzletifolyamat-menedzsment életciklusától elkülönítve alkalmazzák, ami korlátozza szisztematikus felhasználásukat a folyamatos folyamatfejlesztésben. Ezért a dolgozat integrált, adatvezérelt BPM-keretrendszert dolgoz ki, amely az Ipar 4.0 eszközöket és a CRISP-ML(Q) tevékenységeket összekapcsolja a folyamatfeltárással, elemzéssel, újratervezéssel, megvalósítással és monitorozással.

RQ IV.I *Hogyan fejleszthető az üzletifolyamat-menedzsment ciklusa Ipar 4.0 eszközök és módszerek alkalmazásával?*

Az Ipar 4.0 képességek, eszközök és módszerek valós idejű átláthatóságot és emberközpontú támogatást tesznek lehetővé az üzletifolyamat-menedzsment ciklusában, csökkentve a változékonyságot és gyorsítva a folyamatos fejlesztést.

RQ IV.II *Hogyan integrálhatók az adatbányászat és a gépi tanulás standard folyamatmodelljei az üzletifolyamat-menedzsmentbe?*

A CRISP-ML(Q) BPM-életciklusba történő integrálása szabályozott és reprodukálható gépi tanulási folyamatot biztosít minden fázisban, összekapcsolva a probléma megfogalmazását a bevezetéssel és monitorozással, így az adatvezérelt modellek explicit minőségi kapuk és folyamatos visszacsatolási hurkok mentén megbízhatóan javíthatják a folyamat-KPI-okat.

Javasolt keretrendszer és módszer:

Folyamatszinten a munka adatvezérelt üzletifolyamat-menedzsmentet (BPM) határoz meg, amelyet a BPM-életciklus egészében digitális technológiák integrációja egészít ki. A fejlesztési ciklus a digitális érettség értékelésétől és a veszélyek/lehetőségek elemzésétől a célállapot (to-be) meghatározásán, a priorizáláson és az Ipar 4.0 ütemterv kialakításán keresztül a megvalósításig és monitorozásig halad, ezáltal operacionalizálva a folyamatos fejlesztést. A keretrendszer a CRISP-ML(Q)-t a BPM fázisaiba ágyazza, hogy a probléma megfogalmazásától a bevezetésig és monitorozásig szabályozott, reprodukálható analitikát biztosítson, és a modellek explicit minőségi kapukon és visszacsatolási hurkokon keresztül megbízhatóan javítsák a folyamat-KPI-okat.

Eredmények

Kutatásom tudományos eredményei és hozzájárulásai négy tézisben fogalmazhatók meg; mindegyik egy-egy elemzési szinthez kapcsolódik, és publikációk támasztják alá. A tézisállításokat az alábbiakban ismertetem.

Tézis I. Igazoltam, hogy a fejlesztett, hír- és hálózatelemzésen alapuló eszköztár alkalmas a fenntarthatósággal kapcsolatos problémák globális szintű azonosítására és elemzésére [1].

I.I Bemutattam, hogy a világ híreinek a Fenntartható Fejlődési Célokhoz kapcsolódó taxonómiai kategóriákkal való összekapcsolásával olyan adatvezérelt monitoringrendszer alakítható ki, amely kiegészíti a hagyományos, indikátoralapú SDG-értékeléseket. A módszer a GDELT-adatbázist és a World Bank Topical Taxonomyt használja az SDG-khez kapcsolódó hírtémák azonosítására, és lehetővé teszi a fenntarthatósági kérdések előfordulásának, intenzitásának és hangvételének elemzését.

I.II Többrétegű hálózati modellt hoztam létre, amelyben az országok, a fenntarthatósági témák és a hírekben együtt előforduló SDG-k kapcsolatrendszere hálózati metrikák

segítségével elemezhető. Megmutattam, hogy a hálózat moduljai alkalmasak a fenntarthatósági témák közösségeinek feltárására, valamint az országok tematikus fókuszpontok és hírhangvétel szerinti profilozására. A módszer alkalmas a témaszenzitivitás, a figyelmi torzítások és a potenciális együttműködési mintázatok azonosítására.

I.III Rámutattam, hogy a híralapú és hálózatelemzési módszereken alapuló globális monitoringeredmények egy többszintű Ipar 4.0/5.0 transzformációs keretrendszer részeként értelmezhetők. A globális fenntarthatósági narratívák, az SDG-kapcsolódások és az országprofilok orientációt nyújthatnak a regionális és szervezeti fejlesztési prioritások számára, míg a regionális, szervezeti és folyamatszintű elemzésekből származó felismerések gazdagíthatják a globális fenntarthatósági mintázatok, benchmarkok és jó gyakorlatok értelmezését. A disszertációban ez az összekapcsolódás nem önállóan bizonyított eredményként, hanem a többszintű keretrendszer értelmezési lehetőségeként jelenik meg.

Tézis II. Igazoltam, hogy a fejlesztett, nyílt adatokra épülő regionális Ipar 4.0 felkészültségi modell, többkritériumos döntési módszerekkel támogatva, alkalmas az Ipar 4.0 megoldások fejlesztését befolyásoló regionális feltételek értékelésére és feltárására [2].

II.I Létrehoztam egy NUTS-2 szintű, nyílt adatokon alapuló Ipar 4.0+ felkészültségi indikátorrendszert, amely a regionális fejlődés és a digitális transzformáció öt meghatározó dimenzióját integrálja: felsőoktatás és élethosszig tartó tanulás, munkaerőpiac, innováció, beruházás és technológia. A modell e dimenziók mentén 101 indikátort aggregál, és a Triple Helix logikára építve vizsgálja a regionális Ipar 4.0 fejlesztési potenciált.

II.II Többkritériumos és többváltozós elemzési módszereket alkalmaztam a regionális Ipar 4.0+ index kialakítására és értelmezésére. A PROMETHEE II/GAIA, PCA, SRD és P-SRD módszerek segítségével regionális rangsorokat határoztam meg, feltártam az indikátorok közötti összefüggéseket, és azonosítottam a regionális Ipar 4.0 felkészültség meghatározó tényezőit. A modell eredményei összefüggést mutatnak a GDP-vel, valamint a regionális innovációs és versenyképességi indikátorokkal.

II.III Rámutattam, hogy a regionális érettségi index átfogó döntéstámogatási rétegként működhet, amely összekapcsolja a globális fenntarthatósági és digitalizációs irányokat a szervezeti és folyamatszintű Ipar 4.0 fejlesztésekkel. A regionális készségek, innovációs kapacitások, technológiai infrastruktúrák, munkaerőpiaci feltételek és beruházási környezetek meghatározzák, hogy egy adott régióban mely Ipar 4.0 megoldások vezethetők be és skálázhatók.

Tézis III. Igazoltam, hogy a fejlesztett, QFD-modellekre és hálózattudományi módszerekre épülő szervezeti döntéstámogató módszertan alkalmas az Ipar 5.0 megoldások és a fenntarthatósági követelmények közötti kapcsolatok feltárására [3].

III.I Bemutattam, hogy a Quality Function Deployment (QFD) módszertan alkalmas a magas szintű fenntarthatósági célok és jelentéstételi követelmények szervezeti fejlesztési

feladatokká történő lefordítására. A kidolgozott keretrendszer összekapcsolja az SDG-célokat, a GRI Topic Standardokat és az Ipar 5.0 megoldáscsaládokat, kiegészítve az Operator 4.0 és az emberközpontú menedzsment szempontjaival.

III.II Bipartit hálózati modelleket hoztam létre az SDG–GRI és a GRI–Ipar 5.0 kapcsolatrendszerek vizsgálatára. A hálózatelemzés lehetővé teszi az SDG-célok és GRI-témák, valamint a GRI-témák és az Ipar 5.0 megoldáscsaládok közötti közvetlen és közvetett strukturális kapcsolatok feltárását. A módszer nem ad minden szervezet számára egységes, általános fejlesztési irányt; sokkal inkább vállalat- és iparágspecifikus döntéstámogatási eszközként alkalmazható. A kapcsolati mátrixok tartalma, súlyozása és értelmezése az adott szervezet fenntarthatósági prioritásaihoz, iparági kontextusához és jelentéstételi követelményeihez igazítható.

III.III Rámutattam, hogy a szervezeti szintű QFD–hálózati keretrendszer kapcsolatot teremthet a globális SDG/ESG elvárások, az iparág- és vállalatspecifikus fenntarthatósági követelmények, valamint a folyamatszintű megvalósítás között. A módszer támogatja a globális fenntarthatósági célok és jelentéstételi elvárások vállalatspecifikus követelményekké, majd konkrét Ipar 5.0 megoldáscsaládokká történő átalakítását, amelyek később folyamatmodellek, adatáramlások és teljesítménymutatók formájában végrehajthatóvá válhatnak.

Tézis IV. Igazoltam, hogy a fejlesztett adatvezérelt üzletifolyamat-menedzsment módszertan alkalmas az Ipar 4.0 megoldások folyamatszintű megvalósításának és folyamatos fejlesztésének támogatására [4].

IV.I Bemutattam, hogy az üzleti folyamatmenedzsment (BPM) életciklusa alkalmas az Ipar 4.0 fejlesztések strukturált menedzselésére, mivel összekapcsolja a folyamatok azonosítását, feltárását, elemzését, újratervezését, megvalósítását, monitorozását és kontrollját. Rámutattam, hogy az Ipar 4.0 eszközei – például a szenzoradatok, a gyártási információs rendszerek, a szimulációs modellek és az adatvezérelt döntéstámogatási módszerek – integrálhatók a BPM-életciklus különböző fázisaiba.

IV.II Integrált BPM–CRISP-ML(Q) iránymutatást dolgoztam ki, amely a gépi tanulási és adatbányászati folyamatmodelleket beágyazza az üzleti folyamatmenedzsment ciklusába. A módszertan biztosítja, hogy az adatvezérelt modellezés a probléma megértésétől a megvalósításig és monitorozásig minőségbiztosított, reprodukálható és KPI-alapú módon támogassa a folyamatfejlesztést.

IV.III A módszertant egy CNC gyártósor újratervezésén keresztül demonstráltam, ahol a BPMN-alapú folyamatszimuláció, a gyártási adatelemzés, a MES-integráció és az optimalizációs eszközök együttesen támogatták az adatvezérelt folyamatfejlesztést. Az esettanulmányon keresztül megmutattam, hogy a BPM és az Ipar 4.0 eszközök összekapcsolása mérhető teljesítménymutatók mentén támogatja a folyamatok újratervezését és folyamatos fejlesztését.

IV.IV Rámutattam, hogy a folyamatszintű adatvezérelt BPM az előző három szint gyakorlati megvalósítási rétegeként értelmezhető. A globális fenntarthatósági fókuszpontok, a regionális Ipar 4.0 felkészültségi feltételek és a szervezeti szintű fenntarthatósági prioritások csak akkor válhatnak mérhető fejlesztési eredményekké, ha a folyamatszinten is megjelennek konkrét adatforrásokban, KPI-okban, folyamatmodellekben és beavatkozási pontokban. Ugyanakkor a folyamatszintű eredmények alulról felfelé visszacsatolhatók a szervezeti stratégiába, a regionális fejlesztési gyakorlatokba és az Ipar 4.0/5.0 transzformáció tágabb értelmezésébe.

Tézisekhez kapcsolódó publikációk

1. T. Czvetko, G. Honti, V. Sebestyen, J. Abonyi, The intertwining of world news with sustainable development goals: An effective monitoring tool, Heliyon 7 (2) (2021).
2. T. Czvetko, G. Honti, J. Abonyi, Regional development potentials of industry 4.0: Open data indicators of the industry 4.0+ model, PLOS ONE 16 (4) (2021) e0250247
3. T. Czvetko, V. Sebestyen, J. Abonyi, Key factors of industry 5.0-based organizational sustainability, Technology in Society (2025) 102966.
4. T. Czvetko, A. Kummer, T. Ruppert, J. Abonyi, Data-driven business process management-based development of industry 4.0 solutions, CIRP journal of manufacturing science and technology 36 (2022) 117–132.

Tézisekhez nem kapcsolódó publikációk

1. Abonyi, J., Czvetkó, T., & Honti, G. M. (2020). Are regions prepared for industry 4.0?: the industry 4.0+ indicator system for assessment. Springer Nature.
2. Honti, G., Czvetkó, T., & Abonyi, J. (2020). Data describing the regional Industry 4.0 readiness index. Data in Brief, 33, 106464.
3. Sebestyén, V., Czvetkó, T., & Abonyi, J. (2021). The applicability of big data in climate change research: the importance of system of systems thinking. Frontiers in Environmental Science, 9, 619092.
4. Honti, G., Czvetkó, T., Sebestyén, V., & Abonyi, J. (2021). Data describing the relationship between world news and sustainable development goals. Data in Brief, 36, 106978.
5. Csalódi, R., Czvetkó, T., Sebestyén, V., & Abonyi, J. (2022). Sectoral analysis of energy transition paths and greenhouse gas emissions. Energies, 15(21), 7920.
6. Sebestyén, V., Czvetkó, T., & Abonyi, J. (2022). Network-based topological exploration of the impact of pollution sources on surface water bodies. Frontiers in Environmental Science, 9, 723997.

7. Abonyi, J., Czvetkó, T., Kosztyán, Z. T., & Héberger, K. (2022). Factor analysis, sparse PCA, and Sum of Ranking Differences-based improvements of the Promethee-GAIA multi-criteria decision support technique. Plos One, 17(2), e0264277.

8. Czvetkó, T., & Abonyi, J. (2022). Hypergraph and network flow-based quality function deployment. Heliyon.

9. Czvetko, T., & Abonyi, J. (2023). Data sharing in industry 4.0-automationML, B2MML and international data spaces-based solutions. Journal of Industrial Information Integration, 33, 100438.

10. Darányi, A., Czvetkó, T., Kummer, A., Ruppert, T., & Abonyi, J. (2023). Multi-objective hierarchical clustering for tool assignment. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, 42, 47-54.

11. Ipkovich, Á., Czvetkó, T., A. Acosta, L., Lee, S., Nzimenyera, I., Sebestyén, V., & Abonyi, J. (2024). Network science and explainable AI-based life cycle management of sustainability models. PLoS One, 19(6), e0300531.

12. Czvetkó, T., & Abonyi, J. (2024). Version [1.0]-HAT-VIS—A MATLAB-based hypergraph visualization tool. SoftwareX, 28, 101963.

13. Ficsor, A., Czvetko, T., Sebestyen, V., & Abonyi, J. (2025). HyperGodot: Interactive hypergraph visualization tool. SoftwareX, 31, 102315.

14. Ficsor, A., Czvetkó, T., & Abonyi, J. (2025). Flow-field network-based analysis of manufacturing layout. Results in Engineering, 107481.