

INTELLEKTUALIZÁLT KIBER-FIZIKAI RENDSZEREK  
KOGNITÍV TERVEZÉSÉNEK MEGALAPOZÁSA ÉS  
FEJLESZTÉSE

Az értekezés tézisei  
a Magyar Tudományos Akadémia  
doktori fokozatának elnyerésére

Horváth Imre

Budapest, 2023

A doktori disszertáció és a hozzá tartozó tézisfüzet kizárólag eredeti akadémiai kutatási eredményeken és tiszta emberi szemantikán alapul. A digitális feldolgozás hagyományos irodai adatfeldolgozó szoftverekkel történt. A doktori disszertáció és a tézisfüzet nem tartalmaz kognitív szoftverek - például számítógépi tanuláson alapuló vagy társalgás irányított generatív mesterséges intelligencia eszközök - által generált szintetikus szöveget, képeket, algoritmusokat vagy egyéb digitális adalékokat.

## 1. A kutatás témája és célkitűzései

Míg az első három ipari forradalom az emberiség fizikai képességeinek kiterjesztésére irányult, a negyedik és ötödik technológiai forradalmak az emberek informatív és kognitív potenciáljának növelését akarják elérni intellektualizált rendszerek fejlesztésével. Az elmúlt hat évtizedben nagy erőfeszítések történtek a mesterséges intelligencia fejlesztésére, és különféle megközelítéseket javasoltak annak lehetséges koncepcióira és megvalósítására. Az utóbb említett ipari forradalmak technológiailag fejlett és funkcionálisan sokoldalú komplex rendszereket eredményeztek. Az ebbe a kategóriába tartozó kiber-fizikai rendszerek (KFR-ek) paradigmáját mintegy tizenöt évvel ezelőtt vezették be az Egyesült Államokban. Az elmúlt években ilyen rendszereket sokféle formában és számos gyakorlati alkalmazásban megvalósítottak már. A tudományos konvergencia és a technológiai integráció alapot teremtett új koncepciókra alapozott KFR-ek létrehozásához, nemcsak ipari hasznosításra, hanem mindennapi alkalmazásokra is. A szakirodalom bizonyítja, hogy a KFR-ek paradigmájának fejlődéséhez az új elméleti meglátások, az élvonalbeli technológiai vívmányok és a megszerzett gyakorlati tapasztalatok egyaránt hozzájárulnak. Mindazonáltal az igazán intelligens rendszerek létrehozása óriási kihívás és lényegében egy nyitott kérdés maradt még napjainkban is.

Ahogy az értekezés címe is utal rá, az elvégzett kutatás az intellektualizált KFR-ek kognitív tervezésének megalapozására és fejlesztésére összpontosított. Még pontosabban, a rendszerszintű szintetikus probléma-megoldó tudással (PMT) foglalkozott, amely a kapcsolódó appliatív (új értéket hozzáadó) számítógépi mechanizmusokkal együtt a KFR-ek szintetikus intelligenciájának kulcsfontosságú alkotóeleme. Az érdeklődés középpontjában a PMT lényegének megértése és a KFR-eken belüli és azok közötti hasznosításának elősegítése állt. A kutatásnak az értekezésben bemutatott része elsődlegesen a rendszertudományhoz és a tudásmérnöki ismeretekhez próbált hozzájárulni. Olyan határterületi kérdések jobb megértésére és megválaszolására tett kísérletet, amelyekkel a KFR-ek tervezői már jelenleg is, de a következő évtizedben feltehetőleg méginkább szembesülnek.

A kutatás hét konkrét jelenséggel és problematikával foglalkozott: (i) a KFR-ek paradigmatiszta redszersajátosságainak megragadása, (ii) a KFR-ek fejlődési trendjének modellezése, (iii) a szintetikus rendszertudás természetének elemzése, (iv) a szintetikus rendszertudás vizsgálatának módszertani kerete és megközelítése, (v) a prognosztikus redszerszemléletű gondolkodás irányelvei és gyakorlati megközelítése, (vi) a szintetikus rendszertudás aggregálása, átvitele és hasznosítása, és (vii) a következő generációs KFR-ek szupradiszciplináris kutatásának módszertana. Az eredmények elméleti és módszertani jellegűek, de bizonyos kísérleti és demonstrációs prototípus rendszerek fejlesztésében már felhasználásra kerültek. Ezért a munkát és annak jelentőségét a rendszertudomány, a redszerszemléletű gondolkodás és a redszertervezési útkeresés szemszögéből kell értékelni. Az eredmények újszerűsége könnyen megítélhető egy a kortárs szakirodalommal való összevetés alapján. Számos kutatási kérdés és hipotézis új kutatási útvonalakat nyitott meg. Ugyanakkor, a kutatómunka egésze során az elsődleges törekvés az eredmények közvetlen hasznosíthatósága volt. A kutatás módszertani megközelítése iránymutatást ad arra, hogy milyen szakmai irányokban és milyen jövőbeli kutatási megközelítésekkel lehet a közreadott eredményeket, magyarázatokat és specifikációkat konszolidálni és/vagy továbbiakkal kiterjeszteni.

## 2. A kutatás előzményei és módszerei

Meggyőződésem, hogy a közeljövönket mélyen befolyásolni és széles körben áthatni fogja az intellektualizált, szocializált és perszonalizált KFR-ek terjedése. Ezért a disszertációban több olyan - egymással összefüggő - tanulmány eredményeit (alapjait, keretrendszerait, modelljeit és módszereit) foglaltam össze, amelyekről úgy gondolom, hogy elméletileg és módszertanilag alátámasztják a KFR-ek intellektualizálásának folyamatát és erőforrásait, és iránymutatást adnak mind az akadémiai nyomkövetéshez, mind az ipari technológiai fejlesztésekhez. E cél érdekében három, egymással összefüggő általános jellegű területtel foglalkoztam szisztematikus módon, nevezetesen (i) a KFR-ek paradigmaticus fejlődésével az aggregált tudás és technológiai fejlődés következményeként, (ii) a szintetikus intellektus (ön-generált rendszertudás és ampliatív következtető mechanizmusok) tanulmányozásához és kezeléséhez kapcsolódó kihívásokkal, és (iii) az intellektualizáció megvalósítása által kínált új működési lehetőségek kezelésével.

A KFR-ek tudománya még a fejlődés korai szakaszában tart. Bár multidiszciplináris területként értelmezett, a benne foglalt tudományágak (például mechanika, elektronika, számítástechnika, hálózatépítés, informatika, szociológia és pszichológia) megőrizték saját tudásállományukat, munkahagyományukat és munkakultúrájukat. Ehelyett olyan együttműködésen alapuló és integratív szupradiszciplináris kutatási stratégiákra lenne szükség, amelyek ötvözni tudják a mono-, inter-, multi- és transzdisziplináris megközelítéseket, módszereket és ismereteket. Nyilvánvaló, hogy ilyen módszertani megközelítést egy önálló kutató, vagy egy viszonylag kis kutatócsoport nem tud megvalósítani. Mindazonáltal az általam elvégzett kutatást az újszerű és széles kutatási perspektíva, és a transzdisziplináris törekvések jellemzik (vagyis, a feltárt vagy megszerkesztett tudás az egyes érintett szakterületek felett áll és azok többségére rávetíthető).

Jellegét tekintve, az elvégzett kutatás a másodlagos feltáró kutatás (új kutatási jelenségek és problematikák felfedése és leírása meglévő ismeretforrások alapján) és a harmadlagos konstruktív kutatás (koncepcionális keretek és megoldási eljárások kidolgozása a vizsgált jelenségekhez és problematikákhoz kapcsolódó ismeretekkel) területeit érinti. Az előbbire példa a KFR generációkon keresztül történő fejlődésének elmélete, az utóbbira pedig a prognosztikus rendszerszemléletű gondolkodás vizsgálati szempont-struktúrájának megszerkesztése. A kutatás során sokféle módszer került alkalmazásra, például (i) többfókuszú szakirodalom áttekintés, (ii) kritikus rendszerszemléletű gondolkodás, (iii) számítógépi modellezés és szimuláció, valamint (iv) rendszermodulok és alrendszerek tesztelhető prototípusainak megvalósítása. A bemeneti információforrások a következők voltak: (i) világhálózaton hozzáférhető folyóiratok, (ii) szakmai könyvek és jelentések, (iii) konferencia cikkgyűjtemények és előadás anyagok, (iv) nemzetközi szakértőkkel folytatott személyes kommunikáció, (v) internetes adattárak és fórumoldalak tartalma, valamint (vi) munkatársakkal és a Ph.D. kutató kollégákkal való együttműködés. A munka és a disszertáció általános jellege inkább feltáró, oknyomozó és érvelő, mintsem előíró vagy tapasztalati. Az érvelés és következtetés menete az elméleti fogalmakból indul ki és tipikusan gyakorlati tényekkel záródik, de magába foglal narratív gondolkodást és szubjektív (nem bizonyított) személyes véleményt is. Remélhetőleg az eredmények, beleértve az ismeretek jelenleg még fehér vagy szürke foltjait is, széleskörű érdeklődést keltenek, nyilvános viták tárgyai lesznek, és a megbízható gyakorlati alkalmazások igényelte végső részletezésen és tesztelésen is átmennek.

### 3. A tézisek ismertetése és a kapcsolódó kutatómunka összefoglalása

Első tézis:

**Paradigmatikus rendszersajátosságok és paradigmaticus sajátosságprofilok használata előnyösebb a meglévő KFR-ek általános jellemzésére vagy az újak előíró specifikációjára, mint a jelenleg használatos kiegészítő, leíró, normatív, prediktív vagy tartomány-specifikus definíciók szöveges, vizuális vagy szimbolikus megfogalmazásai. Δ**

A tézishez vezető kutatást (i) a köztudottan kiforratlan szókinccs, (ii) a KFR-ek elméleti alapjainak részleges hiánya, (iii) a diszciplináris bizonytalanság, és (iv) a robusztus tervezési modellek hiánya ösztönözte. A munka egy részét a Delft University of Technology, Industrial Design Engineering kara, Cyber-Physical System Designs tanszékének munkatársai és Ph.D. és M.Sc. hallgatói hajtották végre a vezetésem alatt. A többszálú kutatás a 2010-es évek elején indult azzal a hármassal, hogy (i) felmérje a KFR-ek paradigmájának fejlődési állapotát, (ii) megoldást találjon a KFR-ek különféle definícióiból adódó problémákra, és (iii) megbízható elméleti alapokat biztosítson a KFR-ek oktatása és kutatása számára. A kutatás egyik újdonsága a KFR-ek lényegéről alkotott összkép sarkallatos megváltoztatása volt. Ahelyett, hogy a hibrid rendszerek már létező kategóriáinak (például, beágyazott rendszerek, mechatronikai rendszerek, komplex adaptív rendszerek, internetes eszköz rendszerek, vagy együttműködő többügynökös rendszerek) funkcionálisan és technológiailag kibővített változataiként tekintettünk volna rájuk, a folyamatban lévő és felgyorsuló tudományos és technológiai konvergencia első kézzelfogható eredményeiként értelmeztük őket. Következésképpen az álláspontunk az lett, hogy a KFR-ek következő generációt leginkább az információtechnológiának, a nanotechnológiának, a biotechnológiának, a kognitív tudományoknak és a társadalomtudományoknak a rendszertudományokkal, rendszertervezéssel és gyártási technológiákkal való szoros összefonódása fogja meghatározni.

A KFR-ek lényegére vonatkozólag nagyon sokféle definíció található, amelyeket hat kategóriába lehet besorolni. Ezeket (i) augmentatív, (ii) leíró, (iii) normatív, (iv) prediktív, (v) szimbolikus és (vi) célspecifikus definíció típusoknak neveztem el. A különböző kategóriákban szereplő definícióknak közös, egymást kiegészítő, de ellentmondó részei is vannak. Emiatt, a definíciókat nem lehet összefésülni. A rájuk alapozva származtatott absztrakt metadefiníciók nem bizonyultak hasznosnak sem a kutatási, sem az oktatási gyakorlat számára. A helyzet feloldása érdekében a paradigmaticus rendszersajátosság (PRS) koncepcióját dolgoztuk ki és alkalmaztuk. A PRS-ek szemantikailag magasabb-szintű leírásra adnak lehetőséget, mint a KFR-ek mérhető funkcionális, architekturális, morfológiai, technológiai és működési tulajdonságai. A PRS-ek nem a rendszerek konkrét (megvalósult) prototípusait vagy példányait írják le, hanem azok fenotípusait. Az első-generációs KFR-ek jellemzésére 16 PRS-t vezettünk be. A PRS-ek kombinációja nemcsak a KFR-eket képes megkülönböztetni más műszaki rendszerektől, de a részben eltérő rendszerjellemzőket mutató KFR-eket is. A PRS-ek vizuális megjelenítésére és a mértékeik összehasonlító elemzésére a rendszersajátosságok profildiagramját alkalmaztuk. E módszer előnye, hogy a PRS-ek bővülő könyvtára, az elavult sajátosságok kizárásán és a következő rendszer generációk új sajátosságainak felvételén keresztül, követni tudja a KFR-ek fejlődését. Ez a fajta dinamikus eszköz hasznos a KFR-ek intellektualizálásának, szocializációjának és personalizálásának gyorsan változó időszakában, de a módszer hatékonynak bizonyult az új rendszerek koncepcióinak leírásában is.

Második tézis:

**Az okos KFR-ek megvalósítása olyan számítógépi folyamatmodellt igényel, ami összefogja: (i) a több forrásra támaszkodó érzékelést és megfigyelést, (ii) a rendszer, a környezet és a problémák állapotának tudatosítását, (iii) a rendszer tudására alapozott hozzáadó-jellegű következtetést, (iv) a folyamatokból és eredményekből való stratégiai tanulást, (v) a rendszerműködés kiértékelését és az optimális működés megtervezését, (vi) a rendszer adaptációjának futásidejű ütemezését és jóváhagyását, valamint (vii) a módosult generatív, transzformatív és informatív alapfunkciók működésbe hozatalát, és az említettek olyan parafunkciókkal való kiegészítését mint a (i) szocialitás, (ii) perszonalitás, (iii) találékonyság, (iv) ügyesség, (v) meggyőzés és (vi) megbízhatóság, amelyek a rendszer okos viselkedésének a szemlélők által megfigyelhető mutatói.  $\Delta$**

Az intellektualizált műszaki rendszerek megvalósítására tett széleskörű erőfeszítéseket a mesterséges intelligencia különféle formáinak kutatása eredményeként a gyakorlatban megjelenő eszközök növekvő száma legitimálja. Azonban, az emberi intelligencia teljesértékű reprodukálása élettelen rendszerekben túl ambiciózus projektnek tűnik (i) az intelligencia megfelelő definícióinak hiányának, (ii) a fogalmak nem harmonizáló értelmezésének, és (iii) az emberi intelligencia sokrétűségének következtében. Ráadásul nincs is feltétlenül szükség az emberi intelligencia egészének mozgósítására olyan alkalmazás-specifikus problémák megoldásához, amelyekre az i\*KFR-eket fejlesztik. A jelenlegi számítógépi megvalósításokon és alkalmazásokon túlmenően, még folyamatban van egy eldöntetlen vita a rendszerintelligencia lényegéről. Ezért annak ellenére, hogy a jelenlegi szakirodalom gyakran így említi őket, a kutatásaink során a KFR-eket nem emberszerű intelligenciával, hanem szintetikus intellektussal rendelkező rendszerekként értelmeztük. A KFR-ek okosságát az autonóm probléma-megoldó képességük és a funkcionális/struktúrális alkalmazkodásuk eredményének tekintettük, és így helyeztük őket a vizsgálatok és megvalósítások középpontjába.

Feltételeztük, hogy az okos rendszerműködéshez (i) egy általános számítógépi modellre, (ii) alkalmazás-specifikus számítástechnikai erőforrásokra, és (iii) közel valós idejű számítási eljárásokra van szükség. Az elvégzett kutatás célja egyrészt egy magyarázó elmélet kidolgozása, másrészt a valószínűségek és lehetőségek megismerése volt. Hét összetett számítási mechanizmust azonosítottunk, amelyek okos KFR-ek megvalósításához szükségesek. A rendszerek működése egészének összehangolása érdekében kidolgoztuk az i\*KFR-ek általános funkcionális modelljét és következtetési folyamat modelljét. Az utóbbi a rendszer okosságát megvalósító számítási folyamatok és mechanizmusok lényegét ragadja meg. E modellnek újdonsága, hogy a rendszerokosság megvalósulását olyan kettős térbe vetíti, amely a funkcionális műveletek alterét és a szociális reflexiók alterét is magában foglalja. Ez egyrészt megkönnyíti az i\*KFR-ek probléma-megoldásának és állapot-adaptációs működésének egyidejű figyelembe-vételét, másrészt ezen rendszerek emberszerű viselkedése jellemzőinek és az emberi viselkedés meghatározó jellemzőinek összevetését. A bevezetett modellnek előnye, hogy a számítási mechanizmusok kiválasztásában szabadságot biztosít. Az i\*KFR-ek parafunkcionális modellezését a jövőbeli kutatások olyan szükséges új területeként értelmeztük, ami felveti a béta, gamma és delta tudományágakat összefogó transzdiszciplináris vizsgálatok szükségességét. A fentebb említett modelleket nem csak publikáltuk, hanem a munkatársak és Ph.D. hallgatók különféle fejlesztési projektjeiben alkalmaztuk is.

Harmadik tézis:

**A kibernetikai rendszerek egymásutáni generációi az (egymással összefüggő) öntelligencia szintjük és önszerveződési szintjük alapján azonosíthatók és a bevezetett paradigma előrehaladási modell szerint nulla, első, második, harmadik, vagy negyedik generációként különböztethetők meg.  $\Delta$**

A 2010-es évek elején, a szakirodalom még nem közölt a KFR-ek paradigmája várható előrehaladását és annak irányait prognosztizáló vagy magyarázó modelleket. Jellemzően statikus kategorizálások álltak rendelkezésre, mint például az, amelyek a KFR-ek típusait az (i) automatikus, (ii) félautomata, (iii) félautonóm, és (iv) autonóm rendszerek kategóriájába sorolta. Ez motiválta kutatásunkat abba az irányba, hogy (i) a KFR-ek fejlődésének legfontosabb invariáns meghatározó tényezőit megtaláljuk, és (ii) kidolgozzunk olyan érvelési modellt, amely alapján a fejlődés vélt mérföldkövei megmagyarázhatóak. Megállapítottuk, hogy a KFR-ek önszerveződő képességének mértéke és az öntelligencia képességének mértéke használható ilyen általános (kanonikus) indikátorként. Ezek segítségével a fejlődés szakaszai egyértelműen elhatárolhatók. Az egyes fejlődési szakaszokhoz tartozó KFR-ek összességét generációnak neveztük el. A rendszereknek az egymástkövető generációkon belüli minősítésére a paradigmatis rendszersajátosságok bevezetett készletét alkalmaztuk.

A kanonikus képességek a javasolt paradigmatis fejlődési modell (PFM) kettős gerincét alkotják. A PFM az önszerveződési és öntelligencia-képességek megvalósulásának diszkrét szintjeit ragadja meg, és a KFR-ek öt meglévő vagy előrelátható generációját különbözteti meg. Elemzésünk feltárta, hogy nem szükséges az öntautonómiát a fejlődés meghatározó tényezői közé felvenni, mivel ezt az öntelligencia és az önszerveződés magasabb szintjeinek meglete eredményezi (míg ezen képességek alacsonyabb szintjein egy rendszer nem léphet túl az automatizmuson vagy automatizáláson). A fejlődés különböző szakaszaiban lévő rendszereket a következőképpen jellemeztük: (i) a 0G-KFR-ek bizonyos paradigmatis jellemzőkkel nem bíró hasonmás rendszerek, (ii) az 1G-KFR-ek önszabályozási és önhangolási képességekkel rendelkező rendszerek, (iii) a 2G-KFR-ek képesek önszemlélés kialakítása és önadaptáció megvalósítására, (iv) a 3G-KFR-ek az önfelfogás és az önfejlődés képességeivel rendelkező rendszerek, míg (v) a 4G-KFR-ek az öntudatot és önreprodukciós képességet elérő rendszerek. A fenti jellemzők egyaránt vonatkoznak önálló rendszerekre és a rendszerek rendszereire is.

A rendszerek öntelligencia szintjeire vonatkozólag részletes elemzések és ismeretek jelentek meg szakirodalomban. Ezek kiegészítéseként az önszervezés jelenségének tanulmányozását állítottuk a kutatásaink középpontjába. Az önszervezés egyszerre érinti a KFR-ek egymástól függő funkcionálisitását (működéseit) és architektúráját (konfigurációját), és az egyes rendszergenerációk különbözőképpen valósítják meg. Kidolgoztam egy önszervezés logikai modellt (ÖLM), amely a fenti változásokat a rendszerek kezdeti funkcionális/architektúra terének és kiterjesztett funkcionális/architektúra terének, valamint a tervezett, alternatív és optimális működési/konfigurációs állapotainak figyelembevételével értelmezi. Ez a modell szemléltetni tudja a KFR-ek következő generációinak önhangolási, önadaptációs, önfejlesztési és önreprodukciós mechanizmusainak logikai lényegét. Mind a PFM, mind a ÖLM előnyösnek bizonyult Ph.D. tanulmányok orientálásában és prototípus rendszerek fejlesztési céljainak racionális meghatározásában.

Negyedik tézis:

**Az intellektualizált KFR-ek által megszerzett és/vagy előállított rendszerszintű szintetikus probléma-megoldó tudás egy önálló tudásfajta képvisel, amelyet az ismert alfa, béta, gamma és delta (ABGD) tudásfajtáktól meg kell különböztetni. Ez az epszilon-tudás az ABGD tudásfajták teljesértékű kiegészítőjévé válik.  $\Delta$**

Az elvégzett vizsgálatokat Machlup (1980, 1982, 1984) munkái motiválták, aki a bölcsészettudományi (alfa), természettudományos (béta) és társadalomtudományi (gamma) tudást tanulmányozta. Később Gilles és Paquet a tudás egy negyedik típusát (delta) is azonosította, ami olyan kreatív diszciplináris szakterületek tudását foglalja magába, mint a tervezés, a jog és a gazdaságtan. Azonban, az elmúlt évtizedekben a mesterséges intelligenciás rendszerek által birtokolt tudás különféle fogalmihoz és megvalósulásaihoz kapcsolódó tanulmányok is megjelentek a szakirodalomban. A tudáselmélet ezek előrehaladásai teremtettek alapot azoknak a kutatási kérdéseknek a tanulmányozására, amelyek az intellektualizált probléma-megoldó rendszerek által megszerzett és/vagy generált szintetikus tudás létezésére, megvalósulására és fejlődésére vonatkoznak. A rendszerfejlesztés jelenlegi trendjei alátámasztják az ilyen jellegű kutatási kérdések létjogosultságát. A szintetikus rendszertudás nem tartozik a fentebb említett négy tudásfajta. A szakirodalom tanulmányozása feltárta, hogy ez egy új tudásfajta képvisel és így epszilon-tudásként hivatkozható.

Az elvégzett kutatás egyik ága a tudás alfa, béta, gamma és delta (ABGD) fajtáinak kiterjedt elemzését foglalta magába azzal a céllal, hogy ezek megkülönböztető jellemzőit feltárja és azokat az epszilon-tudás jellemzőivel összevethetővé tegye. A kutatás másik ága a tudás-intenzív rendszerek különböző családjában alkalmazott tudás-tartalmak, -szemléltetés és -feldolgozás módozataira irányult. A legfontosabb következtetés az lett, hogy a hatalmas mennyiségű szintetikus rendszertudás, amelyet az erre képes rendszerek, mint például a intellektualizált kiber-fizikai rendszerek szintetizálnak és aggregálnak, valóban a tudás ötödik fajtájának tekinthető. A szintetikus rendszertudás fő alkotóelemei: (i) a kódolt emberi tudás (ami előre programozott, de egyes rendszerekben zsugorodó), (ii) az illatív/következtető tudás (ami az egyes rendszerek által önállóan generált) és (iii) az aggregált meta-tudás (amelyet az összekapcsolt rendszerek egyedi hozzájárulásaiból állítanak elő). Függetlenül attól, hogy az ezt előállító rendszerek megmagyarázzák-e az emberek számára vagy sem, az epszilon-tudás végül is az ABGD tudásfajták teljesértékű kiegészítőjévé válik.

A szintetikus rendszertudás kulcsfontosságú megkülönböztető tulajdonságai a következők: (i) rendszer által előállított, (ii) kódolható, (iii) ampliatív, (iv) kompozíciós, (v) kikövetkeztethető és (vi) procedurálisan megmagyarázható. A tudásreprezentáció formája meghatározza azoknak a számítási mechanizmusoknak a jellegét, amelyek az alkalmazási problémák megoldásához és/vagy a szintetikus tudásnak a rendszer általi létrehozásához és kezeléséhez szükségesek. Ezért a szintetikus tudás alapjál szolgáló adatok, információk és tudáselmek forrásait az ezek által igényelt számítógépi feldolgozási mechanizmusok figyelembevételével tekintetem át. A munka fontos érdeme, hogy nemcsak a szintetikus rendszertudás egyedi jellemzőit és tudományos helyét határozta meg, hanem egy fontos első lépést is tett annak a rendszerek és alkalmazási területek határain túlmutató hasznosítása felé. Emellett, az elért eredmények a rendszerek által generált explicit vagy implicit tudás és intellektus problematikájának további tanulmányozására is ösztönöznek.



Ötödik tézis:

**A rendszerszintű szintetikus probléma-megoldó tudás tudományos vizsgálata, amellyel közvetlenül sem a gnoszeológia, sem az ismeretelmélet nem foglalkozik, új elméleti megalapozást, módszertani megközelítést és vizsgálati szempont struktúráját kíván. A kifejezetten erre a célra javasolt szimpérazmológia ezeket biztosítja. Négy vizsgálati területtel, nevezetesen (i) az alapvető fogalmakkal, (ii) az alapelvekkel, (iii) a képességekkel és (iv) a kihatásokkal kell foglalkoznia, amelyek mindegyike további, egymással összefüggő vizsgálati szempontokra bontható le. Δ**

Az emberi tudásnak számos meghatározása és értelmezése létezik, amelyeket különféle szempontok szerint már kategorizáltak. A rendszertudomány, a mesterséges intelligencia és a kognitív tervezési kutatások eredményeinek köszönhetően a műszaki rendszerek egyre inkább az epsilon-tudásra összpontosítanak és ezt hasznosítják. Ennek ellenére e szintetikus tudás mindent felölelő elmélete még nem alakult ki. Kutatásomban, mint az emberi tudástípusok értelmezésének jelenleg ismert (filozófiai) fogalmi rendszereit és következetes logikai vizsgálati platformjait, mind a gnoszeológiát, mind az ismeretelméletet részletesen elemeztem az epsilon-tudás szemszögéből. A rendszerszintű szintetikus probléma-megoldó tudás sajátos jellemzőinek megragadása és kezelése szempontjából számos korlátot találtam. Ebből adódóan, szisztematikus vizsgálatokat végeztem egy újszerű elméleti keret lehetősége és, esetlegesen, a filozófiai tanulmányok egy lehetséges új ága irányában.

A szintetikus rendszertudás specifikus elméletének létrehozására a szimpérazmológia koncepcióját indítványoztam. A publikált cikkekben mint az epsilon-tudás átfogó kutatási területét és fogalmi keretét vázoltam fel. A "szimpérazmológia" elnevezés a görög "sympérasma" szó (ami a kikövetkeztetett vagy származtatott tudásra utal) és a "logos" szó (amit egy védhető állítás megszerkesztési logikájának körülírására és demonstratív eseteinek felsorakoztatására utalva használnak) egybekapcsolásából származik. Emellett hogy a kikövetkeztethető és származtatható tudásra utal, a szimpérazmológia kifejezés a tudás küszöbre és az elfogadható következtetésre való utalást is magában hordoz. Az egyidejűleg elméleti és módszertani kerettel szembeni konkrét elvárás volt, hogy felvázolja és elősegítse az epsilon-tudás általános jellegének, sajátos jellemzőinek, belső összefüggéseinek, várható hatásainak, és hasznosítási módjainak tanulmányozását, valamint az epsilon-tudás jövőbeni szerepének felvázolását.

A szimpérazmológia egy átfogó, ugyanakkor részletekbe menő koncepcionális keretet biztosít az ezirányú kutatási tevékenységek megszervezéséhez. Emellett elősegíti az érdeklődési terület orientált gondolkodást és az elemzési szempontok logikai és tartalmi megfogalmazását. Az érdeklődési területeket négy kategóriába sorolja: (i) alapvető fogalmak, (ii) alapelvek, (iii) képességek és (iv) kihatások. Azonban, a szintetikus rendszertudás holisztikus jellege miatt, a tanulmányozás tárgya és szempontja összekapcsolódhat, egymással összefüggő, vagy egymással akár át is fedhet a négy érdeklődési területen. Jellegéből adódóan, a szimpérazmológia egy újfajta tanulmányozási koncepció előtérbe helyezését szorgalmazza a KFR-ek területén. Ugyanakkor a felvázolt koncepcionális tartalom és a vizsgálatok javasolt köre, célpontjai, kiterjedése és megközelítései további részletezést igényelnek. Ezek mellett, nagyszámú alkalmazási esetet kell még tanulmányozni és a vizsgálati eredményeket a különféle intellektualizált rendszerekhez kapcsolódó probléma-megoldó ismeretek kimerítő leírása érdekében összesíteni kell.

Hatodik tézis:

**A javasolt prognosztikus rendszerszemléletű gondolkodási megközelítés nélkülözhetetlen a dinamikusan fejlődő rendszerek belső és külső változásainak, kapcsolatainak és kihatásainak vizsgálata szempontjából, mivelhogy a hagyományos analitikus rendszerszemléletű gondolkodás fogalmi pilléreit prognosztikus fogalmi pillérekkel egészíti ki és a rendszerek előrettekintő vizsgálatát elemzési szempontok bővíthető könyvtárával támogatja. Δ**

Az intellektualizált és szocializált rendszerek megfigyelhető gyors terjedése számos kulcsfontosságú technológiai, vezetési, társadalmi, szervezeti, üzleti, környezeti, emberi, stb. kérdést vet fel, amelyek holisztikus és rendszerezett kezelést igényelnek. Felismerték, hogy a hagyományos analitikus rendszerszemléletű gondolkodás (ARG) nem képes sok új szempont figyelembevételére és a felgyorsult fejleményekről megbízható előrejelzést adni. A hagyományos ARG egy maroknyi alapvető fogalmon (pilléren) alapszik, amelyek alátámasztják és irányítják az elemzést. A hagyományos ARG megközelítések egyik sajátos hiányossága, hogy, miközben előrettekintőnek kellene lenniük, figyelmen kívül hagyják a változó trendek és a felmerülő kihívások kezelését. Így elvárás, hogy a prognosztizálás (i) a jövő rendszerszemléletű gondolkodásának új lehetőségévé váljon, (ii) segítse a fejlődés általános tendenciáinak és a kialakuló helyzetek megértését, (iii) új eszközöket, stratégiákat vagy akár konkrét terveket adjon ezek kezelésére, mindamelltt, hogy (iv) figyelembe veszi a komplex rendszerek előrejelezhető megvalósulásait. Ezek a tények ösztönözték a prognosztikus rendszerszemléletű gondolkodás (PRG) elméleti alapjainak és módszertani lehetőségeinek tanulmányozását. A végső célt a PRG-t segítő fogalmi/érvelési keret kidolgozásában és a prognosztikus vizsgálat átfogó szempontjainak megfogalmazásában jelöltem meg. Ezért széleskörűen és kritikusan elemeztem a rendszerszemléletű gondolkodás állapotát, azonosítottam az új befolyásoló tényezőket, és megszerkesztettem egy kibővített fogalmi/érvelési keretet.

Kiindulópontnak a hagyományos ARG kilenc (a publikációkban leggyakrabban előforduló) pillérét tekinttem. Ezeket olyan progresszív fogalmi pillérekkel egészítettem ki, amelyek lehetővé teszik a rendszerek előrehaladásának, fejlődésének és dinamikájának számításba vételét. Összesen tizenegy, az előrehaladással összefüggő koncepciót vettem figyelembe, hogy az olyan specifikus trendek hatását, mint a növekvő intellektualizáció, a rendszer erőforrások saját kezelése, a megnövekedett autonómia és a mély szociális beágyazódás, meg lehessen ragadni. Részletekbe menően foglalkoztam a pillérek fentebb említett két csoportjával és a pillérek szemantikai kapcsolataival. Ennek eredménye alapján állítottam fel a megcélzott fogalmi/érvelési keretet, amelyet szemantikai háló formájában jelenítettem meg. A felállított fogalmi/érvelési keret egymáshoz rendeli egyrészt a PRG elsődleges elemzési szempontjait, másrészt a hagyományos pillérek és a progresszív pillérek párhajait, harmadrészt ezek jelentőséggel bíró vegyes párhajait, amiket szemantikailag értelmes konstrukciókká kapcsol össze. Ezek értelmezésével és a következményeik átgondolásával konkrét, de mégis átfogó vizsgálati kérdések fogalmazhatók meg. A vizsgálati kérdéseket a rendszerelemzési szituációkban megfigyelt helyzetekre kell vetíteni és a válaszokat részletesen kidolgozni. Gyakorlati szempontból a fogalmi/érvelési keret kiemeli azokat a tényezőket, amelyeket a PRG esetében figyelembe kell venni és egy olyan strukturált 'szemantikai nyelvet' biztosít, ami harmonizálja a gondolkodást és megkönnyíti a különböző természetes, szociális és (intellektualizált) műszaki rendszerekkel kapcsolatos kommunikációt.

Hetedik tézis:

**A (i) tudásbázisokra vagy lerakatokra alapozott, a szoftverügynökök által megvalósított, a transzfer/elosztott tanulásban használt, és a tudásgráfokhoz vagy kollektív intelligenciához tartozó tudásátviteli módszerek integrálásával és szükségyszerű kiegészítésével, valamint (ii) a rendszerszintű szintetikus probléma-megoldó tudás és a hozzátartozó következtető mechanizmusok egységes átviteli csomagokba foglalásával, és (iii) az átviteli folyamatnak lokális semlegesítésére, globális átadására és lokális honosítására szolgáló részfolyamatokra bontásával a rendszerszintű szintetikus probléma-megoldó tudás megosztható és hasonló jellegű KFR-ek között kiaknázzható.  $\Delta$**

A háttér tanulmányt az a megsejtés ösztönözte, hogy az i\*KFR-ek szintetikus rendszer-szintű intellektusának (SRI) alkotóelemei újrafelhasználhatók és ipari erőforrásként széleskörben hasznosíthatók. E feltevés előfutáiraiként említhető például a szabványosított 3D CAD modellcsere, a szabálybázis átviteli formátum, a kernel ontológiák megosztása, a többügynökös kommunikáció és a mély tanulási modellek átvitele. A történeti fejlemények elemzése mellett a kutatás az intellektus-transzfer megvalósításának négy formáját, nevezetesen (i) a tudásbázis/lerakat alapú, (ii) az együttműködő ágens alapú, (iii) a tanulási erőforrás megosztás alapú, és (iv) a feltörekvő technológiákra alapozott megközelítéseket, és azok változatait is, elemezte. A javaslat szerint a fejlesztés alatt álló transzfer technológiák célirányos alakításával és összekapcsolásával az átviteli mechanizmusok egy kezdeti készlete létrehozható.

Az i\*KFR-ek probléma-megoldó tudása és feldolgozási mechanizmusai között szoros funkcionális kapcsolat áll fenn. Tipikus példák a következők: (i) produkciós szabályok  $\leftrightarrow$  következtető automata, (ii) analógián alapuló minták  $\leftrightarrow$  minta-összehasonlító egység, (iii) fuzzy szabályok  $\leftrightarrow$  fuzzy következtető automata, (iv) kromoszóma konstrukciók  $\leftrightarrow$  genetikus algoritmusok, és (v) tanítási adatkészletek  $\leftrightarrow$  mesterséges neurális háló. Az elválaszthatatlan jellegük miatt az SRI két alapvető alkotóelemét együtt kell kezelni. Ebből kifolyólag, az i\*KFR-ek intellektusának megosztása más csomagolási mechanizmusokat igényel, mint a hagyományos tudásalapú rendszerek esetében jellemzően alkalmazott semleges adatsere formátum alapú mechanizmusok. A kutatásom fontos megállapítása, hogy az SRI szintetikus tudáselemeinek és mechanizmus-elemeinek gyors fejlődése miatt a legjobb, ha azok funkcionális kapcsolatát fenntartjuk és a hatékonyság érdekében az átvitelt az általuk képzett intellektus-kettősökre (duálokra) alapozzuk. Feltételezhető, hogy az i\*KFR-ek képesek lesznek az ilyen dual-orientált csomagolási mechanizmusokat saját értelmükre alapozva számítástechnikailag kezelni.

Egy procedurális modellt dolgoztam ki, hogy az SRI duálok rendszereken belüli be- és kicsomagolásának és a csomagolt SRI duálok rendszerek közötti átvitelének technológiai megvalósítását elősegítsem. Technológiai szempontból az átfogó erőforráskezelési folyamat az intellektus megosztási csomagok koncepciójára támaszkodik. A teljes folyamatot egy helyi semlegesítési részfolyamat, egy globális megosztási részfolyamat és egy helyi honosítási részfolyamat szekvenciális végrehatására alapoztam. A semlegesítési részfolyamat az átvihető SRI-nek a generáló rendszertől való elválasztására, míg a naturalizálási részfolyamat az átvitt SRI-nek a célrendszer meglévő SRI-jével való integrálását szolgálja. A globális megosztási részfolyamat fő tevékeny elemei a következők: regisztráció, kapcsolatteremtés, megfigyelés, mintaadás, megfelelés, információbányászat ellenőrzés, és biztonságkezelés.

Nyolcadik tézis:

**A következő generációs KFR-ek koncepcionális tervezésével és megvalósításával együttjáró összetett jelenségek és problematikák hatékony feltárása, leírása és megmagyarázása érdekében a tudományterületi határokon túli vizsgálatokra van szükség, amelyek szervezési, végrehajtási és irányítási keretét a közösségi munkára alapott, társadalom-orientált és integratív szupradiszciplináris kutatás módszertana biztosíthatja. Δ**

A tudományos konvergencia, a technológiai integráció és a nagyszabású rendszerbefoglalás mindenre kiterjedő folyamatainak tanúi vagyunk. A 21. századi tudomány számára egy újszerű narratíva van kialakulóban, amely felismeri (i) a diszciplináris/technológiai konvergencia (DTK) lehetőségeit, (ii) az interperszonális tranzakciók szerepét a csoportokban vagy közösségekben végzett kutató munka során, és (iii) az érdekelt társadalmi felek aktív bevonását a közösségeket érintő problematikákkal foglalkozó kutatási programokba. A DTK által előidézett, a KFR-ek komplexitásának növekedését eredményező jelenlegi folyamatok olyan újszerű jelenségek és problematikák megjelenésével járnak együtt, amelyek tudományos vizsgálata magas szintű szervezési és sokoldalú módszertani megközelítéseket igényel. Az ilyen új megközelítések eléréséhez kiemelkedő fontosságú, hogy figyelembe vegyük: (i) a egyidejű holisztikus folyamatok szervezési elméletét, (ii) a csoport-tudomány alapelveit és ajánlásait, (iii) a második módozatú tudomány művelésének gyakorlati kérdéseit, (iv) a felmerülő problematikák társadalmi ismeretelméletét, és (v) a kreatív közösségek viselkedésének pszichológiai elméletét.

Az elvégzett munka célkitűzése az volt, hogy olyan felismerésekhez jusson, amelyek végső soron a kutatás összképének megértéséhez és újraértelmezéséhez vezetnek. Megállapítottam, hogy a KFR-ek kutatása jelenleg az egyik legelterjedtebb és legvirágzóbb érdeklődési terület mind a tudományos intézmények, mind ipari kutató intézetek tekintetében. E kutatásnak nincs kitüntetett fókuszpontja, viszont az egyidejűleg jelenlévő konvergencia és divergencia erősen befolyásolja. A módszertani szakirodalom az unidiszciplináris kutatástól a pluridiszciplináris kutatáson keresztül a posztdiszciplináris kutatás felé történő fokozatos elmozdulást tükrözi. Ugyanakkor tagadja a redukcionista kutatási megközelítések megfelelőségét a társadalmi gyökerű összetett jelenségek és problematikák vonatkozásában. Bár foglalkozik a szupradiszciplináris kutatás kérdéssel, nem közöl információt konkrét módszertani modellekről, módszertani keretokről, vagy tevékenységi forgatókönyvekről, és különösen nem a komplexifikált, intellektualizált, szocializált és perszonalizált KFR-ek tervezési és használati szakaszaiban jelentkező tudásigénnyel kapcsolatban.

A szupradiszciplináris kutatás megvalósításához nem csak az inter-, multi- és transzdiszciplináris módszertanok integrálása szükséges, hanem a kollektív folyamatokhoz kapcsolódó bemeneti és kimeneti tudásszintézis is. A szupradiszciplinaritás megközelítés a monodiszciplináris kutatók egyéni munkáját a csoport-tudomány elveire támaszkodva kívánja kollektív munkával kiegészíteni. A feladatintegrálás és a tudásszintézis szükséges szintjétől függően, a közösen végzett munka tekintetében (i) összehangolási, (ii) koordinációs, (iii) együttműködési és (iv) összefonódási szinteket különböztet meg. Ezek tervezési vonalait a társadalmi (partnerségi, szervezési és haszonelvűségi) tényezők erősen befolyásolják, különösen akkor, ha az érdekelt akadémiai és a közéleti felek között élénk interakcióra van szükség, valamint ha a tudományos és nem tudományos közösségek közötti határok átlépésére is szükség van.

Kilencedik tézis:

**Az intellektualizált, szocializált és perszonalizált KFR-ekkel kapcsolatban végzett szupradiszciplináris kutatás ontológiai alapját (i) a vizsgált jelenségek vagy problematikák, (ii) a hozzákapcsolódó alátámasztó tudás, (iii) a közös kutatási infrastruktúra, (iv) az egymást kiegészítő kutatási tevékenységek, (v) az átfogó kutatási metodika, és (vi) a kutatás által érintettek képezik. Ezek számításvételével megosztott intellektuális terek hozhatók létre és konkrét kollektív végrehajtási forgatókönyvek dolgozhatók ki. Δ**

Jóllehet új transzdiszciplináris ismereteket nyújtanak a következő generációs KFR-ek fejlesztéséhez, a bonyolult, problematika-orientált tervezési kutatások megszervezése új kihívást jelent. E kihívásnak való sikeres megfeleléshez olyan módszertani keretre van szükség, ami robusztus ontológiai alapokon nyugszik és egy átlátható végrehajtási forgatókönyvet ajánl. Céлом az volt, hogy egy olyan kanonikus ontológiai alapot találjak, amely az összes befolyásoló tényezőt magában foglalja és kedvez a procedurális egyszerűségnek. Az i\*KFR-ek tervezésével kapcsolatos jelenségek és problematikák szupradiszciplináris kutatásának ontológiai pillérei pozíciójába (i) a problematikát, (ii) a kapcsolódó tudást, (iii) az infrastruktúrát, (iv) a tevékenységeket, (v) a módszertant és (vi) az érintetteket helyeztem. Az eljárásrend tekintetében egyik koncepcionális pillér sem élvez elsőbbséget a többivel szemben, és a számításvételükre nem lehet sorrendet előírni az implicit függőségeik következtében. Másrészt minden koncepcionális pillér egy sor kapcsolódó vizsgálati/szervezési szempontot von maga után, amelyek a bemeneti és kimeneti információik alapján elrendezettek. A fenti okok miatt a vizsgálati/szervezési szempontok hat sorozatán való munka a gyakorlatban párhuzamosan folyhat és viszonylagosan nagy függetlenséggel történhet.

A javasolt módszertani keret iránymutatást ad a szupradiszciplináris kutatás megszervezésére és végrehajtására vonatkozólag, de valójában nem írja le, hogy mit kell tanulmányozni. Ez két dolgot von maga után: (i) a javasolt vizsgálati/szervezési szempontok különböző jelenségekre és problematikákra is alkalmazhatók, és (ii) a keretet ki kell egészíteni egy átfogó kutatási modellel (vagy több integrált kutatási modellel), ami tisztázza a kutatási jelenségeket vagy problematikákat, a kutatási célokat, az érintett tudásterületeket, a kutatási kihívásokat és az általános feltételezéseket. Ebből következően a javasolt megközelítés egyfajta meta-kutatási tervként működik, amelyet minden esetben a legmegfelelőbb metodika szerint kell alkalmazni. Bár a módszertani keret kifejlesztése az i\*KFR-ek kognitív tervezésének támogatása szemszögéből történt, elég általános ahhoz, hogy adaptációval vagy anélkül is átvihető legyen más hasonló területekre, ahol szupradiszciplináris kutatások végrehajtásához forgatókönyvekre van szükség. Annak ellenére, hogy várható módszertani előnyei nyilvánvalóak, a jelenlegi formájában a keret még nem fedi le a kutatás sikeres megszervezésének az egyes kutatók, kutatócsoportok és kutatói közösségek szintjére vonatkozó speciális társadalmi és személyes kérdéseket. A szervezési feladatok támogatásán túlmenően, hasznos eszköznek tekinthető (i) a közös kutatási infrastruktúra megosztott kialakításának, (ii) a diszciplináris mentális modellek és készségek megosztásának, (iii) a virtuális tudás- és módszertárházak kialakításának elősegítése, és (iv) egy közös fogalmi referenciatér létesítése szempontjából. Megjegyzendő, hogy a módszertani keret kigondolási formájának és annak lehetséges megvalósítási és tesztelési formájának paradoxonja a kutatás során felismertté vált.

#### 4. A kutatás eredményeit és azok hasznosítását érintő saját reflexiók

A disszertációban bemutatott kutatómunka jelentős részét (pontosabban, túlnyomó többségét) az elmúlt hat évben hajtottam végre. Egyes eredményeket csak az elmúlt három évben publikáltam és bocsátottam nyilvános vitára nemzetközi folyóiratokban. A legutóbbi publikációk még online kiadási státuszban vannak. Míg a korábban megjelent publikációkra már időarányosan hivatkozások történtek, a legújabb publikációk esetében ez még a jövő kérdése. Nyilvánvalóan az irántuk való érdeklődés nemcsak a közlemények újszerűségétől és frissességüktől függ, hanem az általuk átadott tudás hasznosságától, helyénvalóságától és kihatásaitól is.

Az újdonságot illetően, szubjektív meglátásom szerint, a bemutatott kutatási munkák nagy része olyan jelenségekhez vagy problematikákhoz kapcsolódik, amelyek vizsgálata még korai stádiumban van, függetlenül attól, hogy feltáró analitikus vizsgálatokról vagy konstruktív tudásszintézis igényről van-e szó. Az általam kutatót több témakör esetében nem lehetett hasonló publikációkat vagy nagymértékben hasonló megközelítéseket találni a kutatási munka kezdetén. Azóta, bizonyos témák esetében (például, számítógépi tanulásban lehetséges modell átvitel) jelentős előrelépések történtek, míg másoknál kevesebb új eredmény jelent meg, jóllehet az általam is vizsgált témakörök fontossága hangsúlyozott. A vizsgált témákhoz közül több közvetlen előzmények nélküli (frontonali) témákhoz kapcsolódik (mint például a paradigmaticus rendszerjellemezők, a rendszerek kognitív tervezése, a KFR-ek intelligens és intelligens működése, az alkalmazás-specifikus szintetikus probléma-megoldó tudás és a számítógépi következtetési mechanizmusok, a prognosztikus rendszergondolkodás, és a szintetikus rendszertudás újrafelhasználása). Az eddig kapott kézirat bírálói és szakértői refleksiók azt érzékeltetik, hogy az ismertetett kutatási munkát nemzetközi vonatkozásban is előremutatónak tekintik, mivelhogy a tudás határait fontos új területekre terjeszti ki és új innovációs lehetőségeket teremt. Mindamelllett, a tárgyalt témakörök további kiterjedt tanulmányozása tudományművelési, innovációgerjesztési, ipari fejlesztési és társadalmi jóléti szempontból egyaránt fontos.

A közreadott tudás kihatásait illetően a közvetlen hasznosítás két lehetséges területe jelölhető meg. Az egyik hasznosítási lehetőség a rendszerezett fogalmi alapoknak, modelleknek és kereteknek egy következetes és koherens diszciplináris oktatási tananyag kidolgozásában való figyelembevétel. A másik hasznosítási lehetőség az eredmények ember- és rendszerközpontú komplex, intellektualizált, szocializált és perszonalizált KFR-ek tervezési módszertanába való beépítése. Ezek várhatóan egy szélesebb körű innovációt fognak megalapozni és ezen keresztül kihatással lesznek nemcsak az ipar érintett szektoraira, hanem az emberek mindennapi életére is. Úgy gondolom, hogy a végzett munka és a disszertáció mindkettőhöz kiegyensúlyozottan hozzájárul, és emellett további erőfeszítéseket stimulál. Fontos megjegyezni, hogy a kutatási eredmények és a kiber-fizikai rendszerek alapjaival, áttekintésével és konceptualizálásával kapcsolatos publikációk már nagyon hasznosnak bizonyultak a szakirányos egyetemi oktatásban (például, a 'Cyber-physical systems design' nevű M.Sc. választható tantárgyban és a tudományághoz kapcsolódó Ph.D. kurzusokban) a Delft-i Műszaki Egyetemen 2013 és 2020 között, de alkalmi on-line tanfolyamokon is. A röviddel ezelőtt publikált kutatási eredmények tekintetében az akadémiai reakciókon túl közvetlen ipari kihatás még nem mérhető és az eredmények hasznosításának várható mértéke nehezen becsülhető.

## 5. A disszertáció témáját alátámasztó publikációk listája

1. Balsiger, P.W. (2004). Supradisciplinary research practices: History, objectives and rationale. *Futures*, 36(4), pp. 407-421.
2. Black, W.S., Haghi, P., & Ariyur, K.B. (2014). Adaptive systems: History, techniques, problems, and perspectives. *Systems*, 2(4), pp. 606-660.
3. Boulding, K.E. (1987). The epistemology of complex systems. *European Journal of Operation Research*, 30, pp. 110–116.
4. Buckle Henning, P., & Chen, W. (2012). Systems thinking: Common ground or untapped territory? *Systems Research and Behavioral Science*, 29(5), pp. 470-483.
5. Canton, J. (2004). Designing the future: NBIC technologies and human performance enhancement. *Annals-New York Academy of Sciences*, 1013, pp. 186-198.
6. CohenMiller, A., & Pate, E. (2019). A model for developing interdisciplinary research theoretical frameworks. *The Qualitative Report*, 24(6), pp. 1211-1226.
7. KFRoS Consortium. (2016). Towards a European roadmap on research and innovation in engineering and management of cyber-physical systems of systems. pp. 1-62.
8. Funtowicz, S.O., & Ravetz, J.R. (1993). Science for the post-normal age. *Futures*, 25(7), pp. 739-755.
9. Gill, H. (2006). NSF perspective and status on cyber-physical systems. Austin. Internet: <http://varma.ece.cmu.edu/KFR/Presentations/gill.pdf>.
10. Gunasekaran, S.S., Mostafa, S.A., & Ahmad, M. (2015). Knowledge transfer model in collective intelligence theory. In: *Advances in Intelligent Informatics*. Springer, Cham, pp. 481-491.
11. Lee, E.A. (2007). Computing foundations and practice for cyber-physical systems: A preliminary report. *Technical Report*. UCB/EECS-2007-72, pp. 1-21.
12. Leitão, P., Queiroz, J., & Sakurada, L. (2022). Collective intelligence in self-organized industrial cyber-physical systems. *Electronics*, 11(19), 3213, pp. 1-21.
13. Machlup, F. (1982). Knowledge: Its creation, distribution and economic significance. Princeton University Press, Princeton, NJ, Vol. I, pp. 1–207, Vol. II, pp. 1–245, and Vol. 3, pp. 1–611.
14. Monett, D., & Lewis, C.W. (2020). Definitional foundations for intelligent systems, Part I and Part II, In: *Proceedings of the 10th Multidisciplinary Academic Conference*, pp. 73–80 and pp. 81-89.
15. Richmond, B. (1993). Systems thinking: Critical thinking skills for the 1990s and beyond. *System Dynamics Review*, 9(2), pp. 113–133.
16. Tebes, J.K., & Thai, N.D. (2018). Interdisciplinary team science and the public: Steps toward a participatory team science. *American Psychologist*, 73(4), pp. 2-34.
17. Weyns, D., Andersson, J., Caporuscio, M., Flammini, F., Kerren, A. & Lowe, W. (2021). A research agenda for smarter cyber-physical systems. *Journal of Integrated Design and Process Science*, 25(2), pp. 27-47.
18. Zhang, W., & Mei, H. (2020). A constructive model for collective intelligence. *National Science Review*, 7(8), pp. 1273-1277.

## 6. A disszertáció témájához kapcsolódó saját publikációk listája

- H1 Horváth, I. (2012). Beyond advanced mechatronics: New design challenges of social-cyber-physical systems. In: *Proceedings of the 1st Austrian Center of Competence in Mechatronics Workshop on Mechatronic Design*, ACCM, Linz, Austria, 2012, pp. 1-20.
- H2 Horváth, I. (2014). What the design theory of social-cyber-physical systems must describe, explain and predict? In: *An Anthology of Theories and Models of Design*, Springer, London, pp. 99-120.
- H3 Horváth, I. (2018). Observation of intention, action and conduct by cyber-physical systems in home care context. In: *Proceedings of the 12th International Symposium on Tools and Methods of Competitive Engineering - TMCE 2018*, Delft University Publisher, Delft, pp. 75-92.
- H4 Horváth, I., & Wang, J. (2015). Towards a comprehensive theory of multi-aspect interaction with cyber physical systems. In: *Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, Vol. 57052, ASME, pp. 1-14.
- H5 Horváth, I., & Gerritsen, B.H.M. (2012). Cyber-physical systems: Concepts, technologies and implementation principles. In: *Proceedings of the International Tools and Methods of Competitive Engineering Symposium - TMCE 2012*, Delft University Press, Delft, pp. 19-36.
- H6 Horváth, I., & Pourtalebi, S. (2015). Fundamentals of a mereo-operandi theory to support transdisciplinary modeling and codesign of cyber-physical systems. In: *Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, Vol. 57045, ASME, paper V01AT02A005, pp. 1-14.
- H7 Horváth, I. (2021). Connectors of smart design and smart systems. *Artificial Intelligence in Engineering, Design, Architecture and Manufacturing*, Vol. 35, No. 2, pp. 132-150.
- H8 Gerritsen, B.H., & Horváth, I. (2012). Current drivers and obstacles of synergy in cyber-physical systems design. In: *Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, ASME, pp. 1277-1286.
- H9 Horváth, I., Rusák, Z., & Li, Y. (2017). Order beyond chaos: Introducing the notion of generation to characterize the continuously evolving implementations of cyber-physical systems. In: *Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*, ASME, pp. 1-14.
- H10 Horváth, I. (2022). Designing next-generation cyber-physical systems: Why is it an issue? *Journal of Integrated Design and Process Science*, Vol. 26. No. 3-4, pp. 1–33.



- H11 Horváth, I., & Gerritsen, B.H.M. (2013). Outlining nine major design challenges of open, decentralized, adaptive cyber-physical systems. In: *Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*. ASME, Vol. 55867, pp. 1-14.
- H12 Horváth, I. (2022). The epsilon-knowledge: An emerging complement of Machlup's types of disciplinary knowledge. *Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing*. Vol. 36, paper e18, pp. 1-18.
- H13 Horváth, I., & Duhovnik, J. (2005). Towards a better understanding of the methodological characteristics of engineering design research. In: *Proceedings of the International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference* (Vol. 47403), ASME, pp. 905-919.
- H14 Horváth, I. (2020). Sympérasimology: A proposal for the theory of synthetic system knowledge. *Designs*, Vol. 4, paper 47, pp. 1-24.
- H15 Horváth, I. (2020). On reasonable inquiry and analysis domains of sympérasimology. *Journal of Integrated Design and Process Science*, Vol. 24, No. 1, pp. 5-43.
- H16 Horváth, I. (2022). A first inventory of investigational concerns for prognostic systems thinking based on an extended conceptual framework. *Journal of Integrated Design and Process Science*, Vol. 27, No. 1, pp. 1–25.
- H17 Horváth, I. (2016). Theory building in experimental design research. In: *Experimental design research: Approaches, perspectives, applications*, Springer, Berlin Heidelberg, pp. 209-231.
- H18 Horváth, I. (2022). Utilization of synthetic system intelligence as a new industrial asset. *Journal of Integrated Design and Process Science*, Vol. 26. No. 3, pp. 1-21.
- H19 Horváth, I. (2015). An initial categorization of foundational research in complex technical systems. *Journal of Zhejiang University - Science A: (Applied Physics & Engineering)*, Vol. 16, No. 9, pp. 681-705.
- H20 Tanik, M.M., Gatchel, S., Horváth, I., Wan, T., Kim, K.Y., Huang, J., ... & Zeng, Y. (2021). Footsteps towards a transdisciplinary design and process science. *Journal of Integrated Design and Process Science*, Vol. 25, No. 3-4, pp. 1-16.
- H21 Horváth, I. (2023). Framing supradisciplinary research for intellectualized cyber-physical systems. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*. Vol. 23. No. December 2023, pp. 060802-1 - 060802-10.

**Megjegyzések:**

**Megjegyzések:**

