

**Tokody Dániel\***

**INTELLIGENS VASÚTI INFORMATIKAI ÉS BIZTONSÁGI  
RENDSZEREK FEJLESZTÉSE**

DOI: 10.23715/SDA.2021.2.4

---

\* Óbudai Egyetem, Biztonságtudományi Doktori Iskola (2020)



# TARTALOMJEGYZÉK

<b>SZERZŐI BEMUTATKOZÁS</b> .....	<b>809</b>
<b>ELŐSZÓ</b> .....	<b>817</b>
<b>1. BEVEZETÉS</b> .....	<b>821</b>
1.1. A KUTATÁSI TÉMA IDŐSZERŰSÉGE .....	822
1.2. A KUTATÁSI TÉMA ÉS A BIZTONSÁGTUDOMÁNY KAPCSOLATA .....	825
1.3. TUDOMÁNYOS PROBLÉMAFELVETÉS, KUTATÁSI KÉRDÉSEK .....	830
1.4. KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK – MEGVALÓSÍTANDÓ EREDMÉNY .....	832
1.5. KUTATÁSI HIPOTÉZISEIM – IGAZOLÁSRA VÁRÓ ELV .....	834
1.6. A TUDOMÁNYOS KUTATÁSRÓL, FEJLESZTÉSRŐL ÉS INNOVÁCIÓRÓL KAPCSOLÓDÓAN AZ IIVR PROJEKTHEZ .....	836
1.7. KUTATÁSI FOLYAMAT, KUTATÁSFILÓZÓFIA, KUTATÁSI METODOLÓGIA, KUTATÁSI STRATÉGIA, KUTATÁSELRENDEZÉS, KUTATÁSI MÓDSZEREK .....	838
1.8. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS FELÉPÍTÉSE .....	841
<b>2. A TECHNOLÓGIA ÉS A KUTATÁSOK JELENLEGI ÁLLÁSA, KUTATÁSOM HELYE A VILÁGBAN</b> .....	<b>843</b>
2.1. HÁLÓZATOSODÁS MEGATRENDJE – OKOS VÁROSOK OKOS KÖZLEKEDÉSE .....	843
2.2. INTELLIGENS KÖZLEKEDÉSI RENDSZEREK ÉS A VASÚTI KÖZLEKEDÉS KAPCSOLATA .....	847
2.3. AZ INTELLIGENS RENDSZEREK ÉS A KRITIKUSINFRASTRUKTÚRÁK VÉDELMEK KAPCSOLATA.....	848
2.4. A VASÚTI KRITIKUS INFRASTRUKTÚRA .....	853
2.5. A VASÚTI KÖZLEKEDÉSI RENDSZER EURÓPAI FEJLESZTÉSI IRÁNYAI - DIGITALIZÁCIÓ .....	858
2.6. EGY LÉPÉSEL KÖZELEBB A DIGITÁLIS VASÚT FELÉ: SHIFT2RAIL, AZ EURÓPAI VASÚTI INNOVÁCIÓS PROGRAMOK .....	862
2.7. KULCSFONTOSAGÚ ALAPTECHNOLÓGIÁK .....	866
2.8. TECHNOLÓGIAI KÉSZÜLTSEGI FOK (TRL) .....	867
RÉSZKÖVETKEZTETÉSEK - EURÓPAI FEJLESZTÉSEK ÖSSZEGZÉSE .....	868
<b>3. MEGLÉVŐ KOMPLEX VASÚTI KÖZLEKEDÉSI RENDSZER ELEMZÉSE - AUTOMATIZÁLÁSÁNAK KÉRDÉSE ÉS A DISZJUNKT ALRENDSZEREINEK LEÍRÁSA</b> .....	<b>870</b>
3.1. RENDSZERELMÉLETI BEVEZETÉS – FILOZÓFIAI ISKOLÁK ÉS IRÁNYZATOK, A RENDSZERMÉRNÖKI TUDOMÁNY.....	870
3.2. ALAPFOGALMAK, KONCEPTUALIZÁLÁS .....	872
3.3. AZ AUTOMATIZÁLÁSRÓL ÁLTALÁBAN .....	873
3.4. A VASÚTI AUTOMATIZÁLÁS .....	876
3.5. A VASÚTI AUTOMATIZÁCIÓ ÉRTÉKELÉSE A BALESETI HELYZETEK TÜKRÉBEN.....	880
3.6. A VASÚTI RENDSZER ENERGIAELLÁTÁS (ENE) STRUKTURÁLIS ALRENDSZERÉNEK ELEMZÉSE.....	884
3.7. A VASÚTI RENDSZER ELLENŐRZŐ-, IRÁNYÍTÓ-, JELZŐ- ÉS BIZTOSÍTÓBERENDEZÉSEK (CCS) STRUKTURÁLIS ALRENDSZERÉNEK ELEMZÉSE .....	886
RÉSZKÖVETKEZTETÉSEK .....	888
<b>4. A VASÚTI RENDSZERTERVEZÉS TÁRGYKÖRE – TERVEZÉSELMELET, MÓDSZER, GYAKORLAT</b> .....	<b>890</b>
4.1. TERVEZŐI TEVÉKENYSÉG .....	890
4.2. TERVEZÉSI ISKOLÁK, ELMÉLETEK, MÓDSZEREK .....	891
4.3. BIZTONSÁG SZEMPONTÚ SZERVEZÉSI ÉS TERVEZÉSI ELVEK .....	893
4.4. INTELLIGENS KIBER-FIZIKAI RENDSZEREK ALKALMAZÁSA A BIZTONSÁG NÖVELÉSE ÉRDEKÉBEN .....	897
4.5. 3D PONTFELHŐ TECHNOLÓGIA ALKALMAZHATÓSÁGI VIZSGÁLATA .....	901
RÉSZKÖVETKEZTETÉSEK .....	907
<b>5. INTELLIGENS INTEGRÁLT VASÚTFELÜGYELETI RENDSZER</b> .....	<b>908</b>
5.1. INTELLIGENS RENDSZEREK GYAKORLATI MEGKÖZELÍTÉSE.....	909
5.2. INTELLIGENS INTEGRÁLT VASÚTFELÜGYELETI RENDSZER ÉLETCIKLUSFÁZISAI .....	910
5.3. INTELLIGENS INTEGRÁLT VASÚTFELÜGYELETI RENDSZER TERVEZÉSE .....	912
5.4. CMMI MODELL .....	912
5.5. A V MODELL .....	913
5.6. MÓDOSÍTOTT V MODELL SZERINTI FEJLESZTÉS .....	916
RÉSZKÖVETKEZTETÉSEK.....	920
<b>6. KOMPLEX RENDSZEREK INTELLIGENCIÁJA</b> .....	<b>921</b>
6.1. AZ INTELLIGENS ÉS OKOS RENDSZEREK TEORETIKUS MEGKÖZELÍTÉSE .....	921
6.2. A KOMPLEX RENDSZEREK INTELLIGENCIÁJÁNAK TERVEZÉSE – OKOS GÉPEK TERVEZÉSE .....	924
6.3. ÚT AZ OKOS GÉPEK ELMÉLETÉHEZ - AZ INTELLIGENS KIBERTÉR ÉS AZ OKOS KIBERTÉR.....	930
6.4. OKOSSÁG ELMÉLET ÉS OKOSSÁG HÁNYADOS (SMARTNESS THEORY, SMARTNESS QUOTIENT) .....	933
RÉSZKÖVETKEZTETÉSEK .....	933

<b>7. ÖSSZEFOGLALÁS .....</b>	<b>937</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>937</b>
7.1. A HIPOTÉZISEK IGAZOLÁSA, ELVETÉSE .....	937
7.2. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....	937
7.3. AJÁNLÁSOK, A KUTATÁSI EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA .....	941
7.4. A KUTATÁS TÁVLATAI, NYITOTT KÉRDÉSEK .....	941
<b>KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS .....</b>	<b>943</b>
<b>IRODALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>944</b>
<b>ÉRTEKEZÉSEL KAPCSOLATOS PUBLIKÁCIÓIM .....</b>	<b>956</b>
MELLÉKLETEK .....	960
1. MELLÉKLET - ÁBRÁK JEGYZÉKE .....	960
2. MELLÉKLET - TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE .....	961
3. MELLÉKLET - RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE .....	962

**Munkámat családomnak ajánlom.**

*„A vasút a szállítási tevékenységet csak akkor tudja elvégezni, ha e legfőbb funkcióján kívül egyéb funkciókat is ellát. ... Biztosítani kell a megfelelő képzettségű és számú munkaerőt, valamint az üzemvitelhez szükséges anyagokat. Kutatást kell végezni az egyre fejlettebb technika, ill. technológia kialakítása érdekében.”*

*Dr. Westsik György  
a közlekedéstudományok kandidátusa,  
MTA doktora*



## **Előszó - Benevolo lectori salutem!**

*„Ha nemzettél egy gyermeket, ültettél egy fát és írtál egy könyvet, már nem éltél hiába” /Kínai mondás/*

Engedjék meg, hogy röviden bemutatkozzam. Tokody Dániel vagyok. Kutatási témám az intelligens vasúti informatikai és biztonsági rendszerek fejlesztése. Ez idő szerint a MÁV Magyar Államvasutak Zrt., Beruházás Lebonyolító Igazgatóság, Mérnöki és Műszaki Ellenőrzési Főosztály, budapesti Műszaki Lebonyolító Osztály beruházási projektkoordinátora, mérnök intézője vagyok. Okleveles villamosmérnökként dolgozom. Főbb feladataim: szakértői tevékenység, projektek műszaki tartalmának megfogalmazása, beruházási engedélyokiratok készítésében való közreműködés, műszaki tervdokumentáció készítésének és jóváhagyásának koordinációja, tervvéleményezés, műszaki diszpozíció meghatározása, tervezési egyeztetés, hatósági engedélyek beszerzése, beszerzési eljárásokban szakértői szavazó tag, műszaki ellenőri tevékenység, beruházások lebonyolítása és koordinációja, kapcsolattartás külföldi szakértő cégekkel, auditorokkal és a kivitelező képviselőivel, szakműszaki ellenőrök koordinációja, elemzések és jelentések készítése a beruházási feladatokkal kapcsolatosan.

Dolgoztam továbbá a MÁV Szolgáltató Központ Zrt. -nél, mint az NKH névjegyzékében szereplő elméleti vasútszakmai oktató. 2011.10.03. óta főállású munkaviszony keretében villamosmérnöki végzettségemnek megfelelően távközlési, erősáram és biztosítóberendezési szakterületen mérnök gyakornokként, majd szakmai oktatóként alkalmaztak. Munkám során a vasúti szakemberek teljes körű képzésével foglalkoztam távközlés, erősáram és biztosítóberendezési szakterületen. Az elmúlt évek során a Központ két OKJ-s (Villamos hálózatkezelő és Villamos alállomás kezelő) képzésének sikeres akkreditációja során az intézmény részéről egyedüli villamosmérnökként részt vettem és kidolgoztam a képzési program szakmai részét. Feladatom részét képezte a normál nyomtávú villamosított vasútvonalak, a magyarországi 25 KV és 2x25KV rendszerének üzemeltetésének biztonságos megvalósítása a szakember képzés tekintetében. A felsővezetékes villamos üzemi munka végzését oktattam mind a felsővezeteki berendezések felügyelete, ellenőrzése, vizsgálata, kezelése, karbantartása, bővítése, átalakítása, bontása, üzemzavar-elhárítása, illetve az ezekkel összefüggésben álló teendők vonatkozásában. Továbbá ezt kiegészítően a vontatási célú villamos berendezések, az 50 Hz-es vontatási táplálás (az 25 kV, 2x25 kV autotranszformátoros rendszerek), vasúti felsővezeték rendszerek, egyéb technológiai rendszerek energiaellátása is (váltófűtés, szerelvény-előfűtés) oktatói munkám részét jelentették. Az erősáramú berendezések helyi kezelői vizsgáztatásban jelentős szerepet vállaltam legfőképpen a Budapesti Területi Igazgatóságához tartozó vasútüzemi területeken.

Az előzetes tanulmányaim alapján az épületautomatizálásban eltöltött némi idő után a villamosmérnöki szakmámat kiegészítően 2012 őszén biztosítóberendezési mérnöki szakvizsgát tettem (közlekedésautomatikai szakterület). A szakvizsga önálló munkavégzésre jogosít 2012.10.15-től ezen a szakterületen. Biztosítóberendezési területen foglalkoztam az OKJ-s közlekedésautomatikai műszerész, biztosítóberendezési műszerész kollégák képzésével. A szakterületemhez tartozó elektrotechnikán belül például az alapvető elektrotechnikai egyen- és váltakozóáramú törvényszerűségek, egyen- és váltakozóáramú alaptermékek, a villamos motorok, villamos gépek működési elve és jellemzői, a korszerű energiaellátó rendszerek főbb jellemzői stb. ismereteinek oktatásával és vizsgáztatásával kapcsolatosan tevékenykedtem. A vasútnál eltöltött idő során több mint száz biztosítóberendezési műszerész kiképzésében vettem részt. Hatósági felhatalmazás alapján vasútszakmai oktatói tevékenységet végezhetek a vasúti közlekedés biztonságával összefüggő munkakört betöltő munkavállalók részére villamos felsővezetéki berendezés kezelői, biztosítóberendezés kezelői és távközlő berendezés kezelői területen.

Tudományos kutatómunkát 2014 februárja óta végzem, amelynek kapcsán vasúti tudományos kutatási és fejlesztési projektben veszek részt az Óbudai Egyetemen. Az Óbudai Egyetemen tudományos kutatásom során az interoperábilis vasúti rendszer energia (ENE)<sup>1</sup> és ellenőrző és irányító (CCS)<sup>2</sup> rendszerek fejlesztési lehetőségeit vizsgálom a digitalizáció, automatizáció eszközeivel. A támogatást nyert GINOP-2.2.1-15 „Integrált Intelligens Vasútfelügyeleti Rendszer kifejlesztése” projekt kutatója vagyok. Vasúti irányító-rendszerekkel kapcsolatos kutatói, fejlesztői, tervezői és vasútszakmai szakértői munkát végzek a projektben. A projekt előkészítésében 2014 óta veszek részt a doktori tanulmányaimhoz kapcsolódóan. A projekt műszaki koncepciójának kidolgozásának aktív szereplője voltam. A hazai vasúti fejlesztések és innovációs munka fontosságát képviselem szakmai rendezvényeken, konferenciákon itthon és külföldön (pl.: Szerbia, Románia, Szlovákia, Csehország, Macedónia).

Szakmai, tudományos és közéleti tevékenységem fontosabb állomásai: 2013.04.08. óta tagja vagyok a Magyar Elektrotechnikai Egyesület MÁV Zrt. szervezetének. 2014.10.13. óta tagja vagyok a Doktoranduszok Országos Szövetségének Műszaki Tudományok Osztályának, 2014.10.13-től alelnöke, 2015.09.01-2017.02.28. között elnöke voltam. 2015.12.02–

---

<sup>1</sup> „A villamosítási rendszer, a felsővezetéseket és a villamos fogyasztásmérő rendszer pályamenti elemeit is beleértve.” [142]

<sup>2</sup> Pályamenti ellenőrző-irányító és jelző alrendszer: „A biztonság garantálásához és a hálózaton közlekedésre jogosult szerelvények mozgásának ellenőrzéséhez és irányításához szükséges valamennyi pályamenti berendezés.” Fedélzeti ellenőrző-irányító és jelző alrendszer: „A biztonság garantálásához és a hálózaton közlekedésre jogosult szerelvények mozgásának ellenőrzéséhez és irányításához szükséges valamennyi fedélzeti berendezés.” [142]



2016.12.02-ig az Óbudai Egyetem Doktorandusz Önkormányzatának elnöke voltam. 2016.09.05-től Magyar Mérnöki Kamara tagja vagyok. Szakmagyakorlási jogosultsággal 2016.09.15-től rendelkezem, építmények építményvillamossági munkáinak műszaki ellenőrzése és vasút-villamossági építmények műszaki ellenőrzése szakterületekre vonatkozólag. 2017.10.09-től építményvillamossági tervezés és vasúti villamos berendezések, áramellátás, részsakterületen rendelkezem tervezői jogosultsággal. 2017.01.01.-től a Doktoranduszok Országos Szövetségének a K+F+I tevékenységért és az ipari szektorral való együttműködésekért felelős elnökségi tagja vagyok. 2017 őszén rövid ideig ügyvivő elnöke is voltam az országos szervezetnek. 2017.08.05 óta tagja vagyok Institute of Electrical and Electronics Engineers és a IEEE SMC Technical Committee on Homeland Security szervezeteknek. 2018.01.18-től az MMK Elektrotechnikai Tagozat elnökségének póttagjaként szerepet vállaltam a hazai műszaki életben. Valamint 2019 szeptemberétől a The Robotics Society of Japan szervezet tagja is vagyok.

Rövid bemutatkozásom után érhető, hogy kialakul az emberben annak igénye, hogy élete során szerezzon némi ismeretet arról, ami körülötte a világban zajlik. Ne legyen csupán egy fogaskerék abban a bizonyos gépezetben. Már gyerekként elhatároztam, hogy azt az utat fogom választani, ha arra módom nyílik, amivel a tudomány művelését hivatásszerűen végezhetem. Egyszerűen szólva gyerekként én nem tűzoltó vagy úrhajós szerettem volna lenni, hanem tudós. A felsőoktatásban eltöltött rövid idő után és remélhetőleg a hátralévő időben is, tevékeny időmet a tudomány művelésének, mint nemes célnak fogom szentelni. 2014 februárjában doktori tanulmányaim kezdetén nagy elánnal láttam munkához. Az eltelt évek során doktorimhoz kapcsolódóan számos tudományos művet írtam, amelyek nagyrésze megtalálható a nemzetközi adatbázisokban (pl.: Scopus, Web of Science, EBSCOhost stb.) vagy éppen a legnagyobb könyvtárak (pl.: Harvard Library, Cambridge University Library, MIT Libraries) szabadon kereshető katalógusaiban. A mottónak választott kínai mondást egyik egyetemi professzorunk mondta egyszer nekem, melyet magamra is vonatkoztattam. Van egy kisfiam, ültettem már fát és immáron írtam már könyvfejezetet is. Még akár egy monográfia is előttem állhat, amellyel a későbbiekben több évtizedes munkásságom teljessé tehető. Mégis úgy gondolom, most közeledvén doktori tanulmányaim végéhez, bizakodhatok abban, hogy már eddigi tevékenységem sem volt hiábavaló, ámbár a doktori fokozat megszerzése csak az első lépés a tudományos pályán.



## 1. BEVEZETÉS

A magyar vasúti rendszer automatika elemei emberi léptékkel nézve is középkorú átlagéletkorban vannak. Ez befolyásolja a rendszer üzemeltetését és megújításának szükséges ütemét is. Az infrastruktúra felújításának tervezett ütemét évekre előre meg kell határozniuk a vasúti szakembereknek. Teszik mindezt a manuálisan gyűjtött adatok segítségével és a szakmai tapasztalataik, illetve a gazdasági lehetőségek és a korlátozott humán erőforrás tudatában.

Európai viszonylatban a vasúti szektor szintén kihívásokkal néz szembe. Ilyen változás az, hogy egyre inkább a szolgáltató szemlélet fejlesztése és az utasközpontú szolgáltatás megvalósítására törekednek a technológiai változások inspirálta működési átalakítások közepette a vasúti szektor résztvevői. Az Európai Bizottság célja, hogy a vasúti közlekedés váljon az európai közlekedés gerincévé. Ez a vezető szerep csak úgy érhető el, ha a vasút versenyképessége az egyes alternatívákhoz mérten növekszik. A nagytávolságú utazások esetén ilyen versenytársak lehetnek az olcsó fapados repülő járatok, illetve az európai nemzetközi buszjáratok. Ugyanakkor újabb szereplők is megjelentek a mobilitás terén az utóbbi időben. Ezek tovább színesítik az utazási lehetőségek palettáját. A hagyományostól eltérő üzleti modellt folytató szolgáltatókkal, mint például az autómegosztó vállalkozásokkal kell felvennie a versenyt a közösségi közlekedésnek. [1]

Mindemellett cél a vasúti közlekedés biztonságának növelése, a nagysebességű közlekedés biztosítása, az európai szintű közlekedés menedzsment és a közlekedés hosszú távú fenntarthatóságának<sup>3</sup> létrehozása. Hosszútávon a vasúti közlekedés energiahatékony és megbízható szolgáltatásával eleme lehet a különféle közlekedési módokat integráló fenntartható utazási formának Európa-szerte. [2][3][4][5]

A társadalmi átalakulás által generált utas igények változása – a mindennapi életben tapasztalt trendeknek megfelelően – a vasúti ipart és a kapcsolódó szolgáltatásokat is átalakítja. Jelentős szerep jut a digitalizációs folyamatoknak, amelyek hatására a különféle közlekedési módokban digitális átalakulás megy végbe. A digitalizációt jellemző globális technológiai címkék például IoT, Big Data, M2M, autonóm járművek, robotok stb. értelmet nyernek a közlekedés területén is. [6][7][8][9][10][11]

Ami az utasok számára többek között a valós idejű utazási információk biztosítását, jegyrendszerek egységesítését, illetve a közlekedés automatizáltságának növekedését is jelentheti. [12]

---

<sup>3</sup> Fenntartható Fejlődési Célok (Sustainable Development Goals), 17 fő cél és 196 alcél, fenntartható városok és közösségek, ipar innováció és infrastruktúra. Minőségi, megbízható, fenntartható és rugalmas infrastruktúrák kifejlesztése, ideértve a regionális és a határokon átnyúló infrastruktúrát is. Mindenki számára hozzáférést kell biztosítani a biztonságos, megfizethető, hozzáférhető és fenntartható közlekedési rendszerekhez. Közlekedés területén a fenntartható fejlődés érdekében, a fenntartható városi mobilitás és a tömegközlekedés előtérbehelyezése, az intelligens közlekedési rendszerek stratégiájának kidolgozásával. [277] [278]

Az infrastruktúrák virtualizálódása további kihívásokat jelent a vasúti infrastruktúra védelme kapcsán is. [13]

## 1.1. A KUTATÁSI TÉMA IDŐSZERŰSÉGE

1950 óta a világ lakossága exponenciálisan nőtt átlagosan éves szinten 1,2% -ot. 2007-re az emberiség fele már városokban élt. [14] Az Egyesült Nemzetek Szervezete<sup>4</sup> előrejelzése szerint a világ népessége a következő évtizedekben nagymértékben növekedni fog: a következő 15 évben közel 1 milliárddal több, 2030-ig 8,5, 2050-re 9,7 és 2100-ra 11,2 milliárd ember fog élni a Földön. [15] Az előrejelzés szerint világszinten a városi lakosság növekedése ugyanilyen ütemben várható. Az Egyesült Nemzetek Szervezete szerint az **globális urbanizáció** végett 2050-re a Föld népességének 66 % -a városokban fog élni. [16]

Ezek a különféle statisztikai adatok jól mutatják, hogy a **városiasodás folyamatos**. Az **emberiség problémái** a városokban **összpontosulnak**. A problémák gyökerét a területi népesség sűrűség, az épületek sokasága és az infrastruktúra hálózatok koncentrálódása jelenti. A városok önmagukban is hálózatként, rendszerek, alrendszerek együtteseként írhatóak le. Az egyes részelemek egy állandóan változó mesterséges, de mégis élő organizmusként működő rendszert alkotnak, amelyek technológiai bonyolultsága az utóbbi évtizedekben jelentős mértékben megnőtt.

Mai világunkban – és a fejlettebb országokban bizonyára – a **személyes mobilitás** egyre inkább **alapjogként** realizálódik az emberek életében. Az egyéni **utazási költségek növekedésével** egy időben egyre nagyobb igény mutatkozik a közösségi közlekedés iránt. Például Magee et al. a komplex rendszerek osztályozása munkájában írja, hogy a közlekedés az egyik **legfőbb humán szükséglet**. [17] A versenyképesség fenntartása végett a folyamatos fejlődés elégedhetetlen ezen a területen is. Mindeközben az élet minden területén a minket körülvevő technológiától való függőségünk egyre nagyobbá válik.

Az úttörő „okos” koncepció lényege, hogy a különböző struktúrák közös, kooperatív, szinergikus együttműködés révén létrehozható legyen pl.: egy élhetőbb város vagy egy biztonságosabb és minden eddiginél hatékonyabb közlekedési infrastruktúra. Természetesen ezzel pl.: a város, mint rendszer összetettsége nő. A **komplexitás növekedése** a különféle rendszerek összekapcsolása **új kihívások** elé állítja mind a szakértőket, mind pedig a társadalom egészét. [18][19] [20] [21] [22] [23] [24] [25] [26] [27] [28] [29] [30]

---

<sup>4</sup> United Nations

Az **okos rendszerek** megvalósításának **kulcs gondolata**: a felhasználó központú fejlesztés, a **használhatóság**<sup>5</sup> materializálódása. Vagyis minden „okos” törekvésnek az emberek jóllétét<sup>6</sup> kell elsődlegesen megvalósítania. Az okos dolgok (város, anyagok, közlekedés stb.) célja az embert körülvevő környezet **élhetőbbé** tétele és ennek biztosítása hosszabb távra is. Mindezt úgy, hogy a felhasználók legkisebb ráfordítással a legtöbb előnyhöz jussanak. A „okos” rendszerek leginkább utópiának, idealisztikus célnak tűnnek. *De hogyan is lehetne egy ilyen rendszert megvalósítani?* Az okos rendszerek létrehozásának az alapja az intelligens rendszerek megvalósításában rejlik.

Arisztotelész szerint a dolgokat a céljuk felől kell megközelíteni. Az intelligens rendszerek célja az embert körülvevő környezet élhetővé, emberbaráttá tétele. Mindez az infrastrukturális rendszerek esetében jelentheti a **fenntartható, biztonságos, gazdaságos, jól használható** rendszerek létrehozását.

Tzafestas et al. szerint „Az **intelligens rendszerek tudományterülete** igazából egy új interdiszciplináris kutatási terület, amely a klasszikus rendszertechnika, irányításelmélet, mesterséges intelligencia, információelmélet, operációkutatás, lágy számítási módszerek, kommunikáció és egyéb tudományterületek interakciójából, együttműködéséből és szinergiájából jön létre. [31] Az intelligens rendszerek alkalmazása érinti a biztonság tudomány területeit is. [32]

Ezzel kapcsolatban munkámban megkülönböztetem az alábbi két fogalmat:

- Az **intelligens rendszer** olyan rendszer vagy hálózat, amelyben a különböző struktúrák egymással koherens módon képesek működni. [33]
- **Okos rendszer/struktúra**, olyan intelligens rendszer, amelynek a szolgáltatásait a felhasználók maximálisan ki tudnak használni. [33]

Ez idő tájt az Egyesült Államok Szabadalmi Hivatalának adatbázisa a **US Patent Collection 1021**<sup>7</sup> bejegyzést tartalmaz az intelligens és vasút szavak keresési feltételként való megadása esetén. Amelyből **3 releváns** „intelligens vasúttal” kapcsolatos szabadalom. Az Európai Szabadalmi Hivatal a **European Patent Office**, Espacenet világszintű adatbázisában az intelligens és vasút szavak keresési feltételként való megadása esetén 42 db releváns szabadalmat találunk. Ennek felsorolása a mellékletekben található.

**A 42+3 releváns szabadalom vizsgálatával kijelenthető, hogy egyike sem tartalmaz komplex intelligens struktúrát, amelyet a mai magyar vasúti rendszerbe egyértelműen**

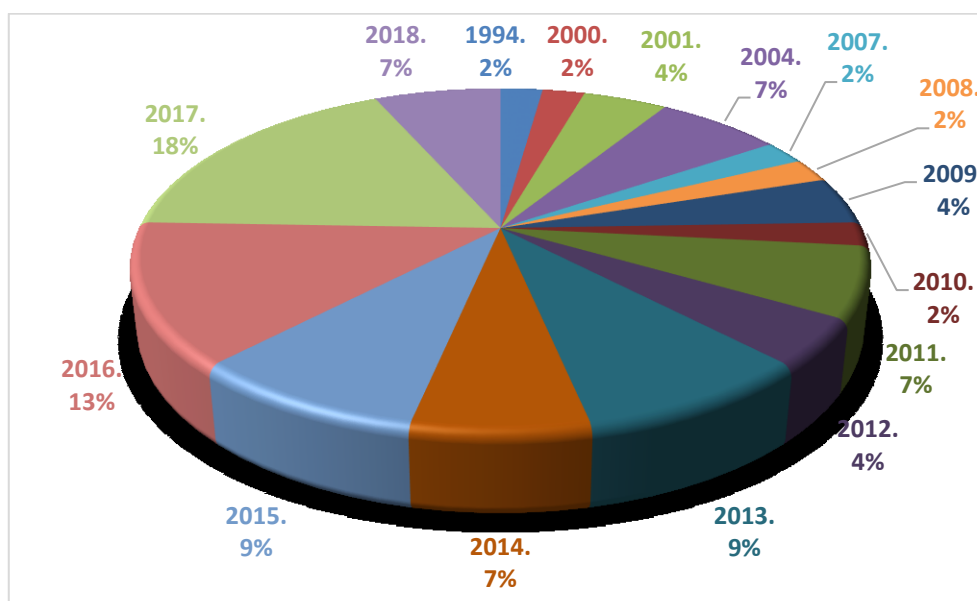
---

<sup>5</sup> Angolul: Usability

<sup>6</sup> „A jóllét nem az anyagi érdekeket, a gazdagságot helyezi előtérbe. Hanem az emberek „boldogságát”. Nem az emberek minél jobb anyagi helyzetével állítja egyenes arányosságba a boldogság érzetüket. A munka és a minél nagyobb fizetés helyett, a szabadidőt, az egészséget, a családi és baráti kapcsolatokat tekinti fontosnak.” [279]

<sup>7</sup> Letöltve 2018.11.02.

adaptálhatónak ítélnénk. Nem érintenek olyan szakterületet és rendszer szintű alapelveket, amelyeket az általam tervezett rendszer viszont biztosan fog.



1.1.1. ábra. Az „intelligens vasúttal” kapcsolatos szabadalmak számának éves megoszlása [34]

A fenti ábrával szemléltetem az **intelligens vasúttal** kapcsolatos **kutatások növekedésének ütemét** az említett két adatbázisból nyert adatok alapján.

A nemzetközi tapasztalatok szerint a vasúti jelzőrendszer<sup>8</sup> és a vonat követés<sup>9</sup> jelenti az **okos vasúti hálózatot**<sup>10</sup>. [35] Mások szerint az okos vasúti hálózat a vasúti jelzőrendszert, a vasutat körülvevő kommunikációs rendszereket és IT technológiát, az utasinformációs és jegyrendszereket<sup>11</sup> és a gördülő állománnyal kapcsolatos (információs) rendszereket<sup>12</sup> is magába foglalja. [36] Kutatásomban ezt több **új elemmel bővitem** majd, ilyen új szempont lehet a **használhatósági tervezés**<sup>13</sup> és az **intelligens rendszerek alkalmazása** is. [37]

A **vasút automatizálás** az infokommunikációs rendszerek térnyerésével, a rendszer elemek hálózatba kapcsolásával és a hálózati szinten mind több és több adat generálódásával jár. [32] Nemzetközi szinten a vasúti rendszer komplexitásának növekedésével az emberi problémamegoldás gépi úton való leképzsével kívánják javítani a működés hatékonyságát. A vasúti rendszeren belül leginkább a **biztosítóberendezések**<sup>14</sup> valósítják ez meg.

A kutatás széleskörű aktualitását tekintve többek között a német vasút példája alapján is bemutatható. Németországban az aktuális fejlesztések közé tartozik, a Mobility 4.0

<sup>8</sup> signalling

<sup>9</sup> monitoring

<sup>10</sup> Smart Railway Network

<sup>11</sup> Passenger Info and Ticketing

<sup>12</sup> Rolling Stock Technology

<sup>13</sup> Usability engineering

<sup>14</sup> signallignig and interlocking system

megvalósítása a vasúton. A digitalizáció iparági térnyerése kapcsán 2018-ban már 200 db vonatot sikerült egy egységes hálózatba kapcsolni a német vasúti szakembereknek. Ezt a jövőben tovább kívánják bővíteni. A modernizációs lépések között szerepel az is, hogy 3D nyomtatással már közel 2000 féle különböző elemet képesek saját maguk részére előállítani. Ennek a technikának az alkalmazása kapcsán 2018 év végére mintegy 15000 különféle elem létrehozását célozták meg a vasútüzem működtetéséhez kapcsolódóan. A Deutsche Bahn csoportnál 150 db folyamatban lévő projekt van, ami érinti a közlekedés digitalizálódását. [38] [39] A magyar vasúton ez a tendencia egyelőre csekély módon jelenik meg. Ezért is célom a kutatás során ennek elősegítése és a **magyar vasúti digitális stratégia**<sup>15</sup> megalapozása. De a disszertáció mennyiségi kerete nem teszi lehetővé, hogy a stratégia teljes egészét itt bemutassam, hiszen a MÁV Zrt.-nél végzett munkám során egy közel 700 oldalas szakanyag készítése zajlik ezzel kapcsolatosan.

## 1.2. A KUTATÁSI TÉMA ÉS A BIZTONSÁGTUDOMÁNY KAPCSOLATA

A biztonság egy összetett fogalom, ami a teljesség igénye nélkül jelentheti a politikai, katonai, szociális, társadalmi, környezeti, munkahelyi, energetikai, közlekedési, információ vagy akár technikai rendszerek biztonságát. [40] A mérnöki biztonság tudomány a biztonságnak a társadalom által elvárt magas szinten tartását védelmi, biztonságtechnikai rendszerekkel való megvalósítását jelenti. A **biztonság megteremtése** intelligens műszaki megoldásokkal, rendszerek fejlesztésével, az ember, gép, technikai környezet vizsgálatával, a **kritikus infrastruktúrák** védelmének mikéntjével tudományos igényű kutatásával érhető el. [40]

Nemzetközi viszonylatban számos területet sorolnak a biztonság tudományhoz<sup>16</sup>. Olyan szocio-technikai rendszereket, amelyekben a technikai, műszaki, humán, szervezeti stb. területeken a biztonság alapvető kérdés. A biztonság tudomány művelői foglalkoznak proaktív, illetve reaktív módon a társadalom által elvárt biztonsági szint megvalósításával, fenntartásával, fejlesztésével, valamint például az incidensekhez vezető esetleges forgatókönyvek és feltételek elemzésével, az összefüggő események társadalmi hatásának ok-okozati összefüggéseinek valószínűségi értékelésén alapuló vizsgálatával számos területen. Mint például a kritikus infrastruktúrák, a nukleáris ipar, a veszélyes anyagok szállítása és kezelése, katasztrófavédelmi tevékenységek, egészségügyi biztonság, építési biztonság, gyártási biztonság vagy éppen a közlekedési szektorral kapcsolatos **műszaki rendszerek biztonsága**. [41]

Némi biztonságelméleti, biztonság tudományi bevezető után, a biztonság tudomány és a kutatási témám kapcsolatát röviden mutatom be ebben az alfejezetben. Szorítkozva arra, hogy

---

<sup>15</sup> Lásd még a Vasúti közlekedési rendszer európai fejlesztési irányai fejezetet.

<sup>16</sup> Safety and Security Science

a következő fejezetekben számos alkalommal összekötöm a kutatásomat választott szakterületemmel a biztonság tudománnyal. Akárcsak az **intelligens rendszerek biztonság szempontú tervezése**, a **biztonságkritikus rendszerek** fejlesztése, a biztonság értelmezése és kockázati alapú megközelítése során vagy éppen akkor, amikor a vasúti rendszerek teljes életciklusára nézve biztonság orientált fejlesztésének kutatásával foglalkozom.

Miért kell foglalkoznunk a vasút biztonságával? „Mert a vasút veszélyes üzem!”

A veszélyes üzemi kárfelelősség az 1870-évekre vezethető vissza amikor is a törvényalkotó az 1874. évi XVIII. törvénycikkben „a vaspályák által okozott halál vagy testi sértés iránti felelősségről” így fogalmaz annak 1. §-ban: „Ha valamely, habár a közforgalomnak még át nem adott vaspálya üzeménél valaki életét veszti, vagy testi sértést szenved, az ezáltal okozott károkért az illető **vaspálya-vállalat felelős**, kivéve, ha a **vállalat bebizonyítja**, hogy a halált vagy a testi sértést elháríthatatlan esemény (vis major), vagy egy harmadik személynek elháríthatatlan cselekménye, melyet a vaspályatársulat megakadályozni képes nem volt, vagy a megholtak, illetőleg a sérültek saját hibája okozta.” [42]

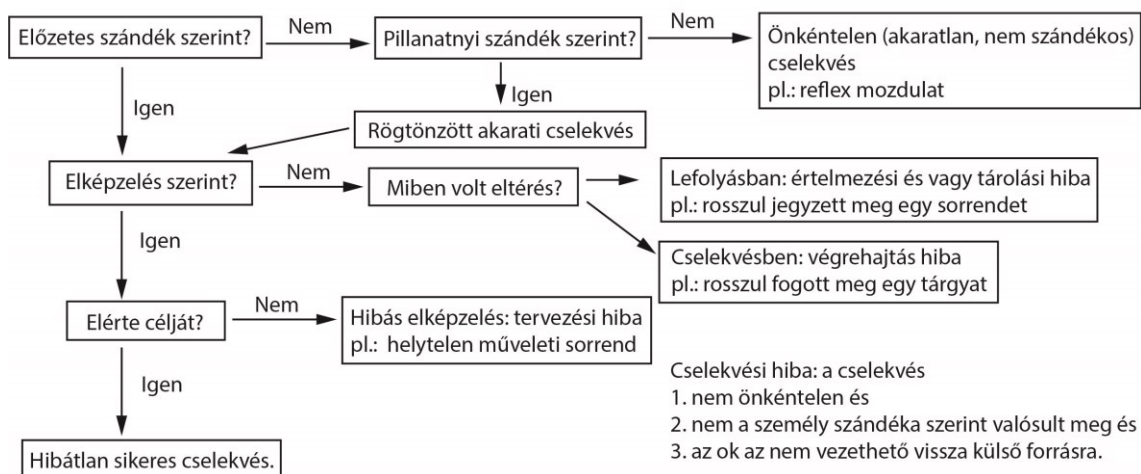
Ez a felelősség a disszertációm írásának idején sincs másképpen: 2013. évi V. törvény 'a Polgári Törvénykönyvről'- 6:535.§-ban - A veszélyes üzemi felelősségről szóló rész (1) pontjában így fogalmaz a törvényalkotó: „Aki **fokozott veszéllyel** járó tevékenységet folytat, köteles az ebből eredő kárt megtéríteni. **Mentesül** a felelősség alól, **ha bizonyítja**, hogy a kárt olyan elháríthatatlan ok idézte elő, amely a fokozott veszéllyel járó tevékenység körén kívül esik.” [43] Ezért a vasúti szolgáltatónak külön figyelmet kell fordítania a biztonságra. A szakirodalom a biztonságot befolyásoló veszélytényezők közül megkülönböztet **objektív, szubjektív és rejtett okokat**.

Az objektív tényezők közé soroljuk azokat a paramétereket, amelyek viszonylagosan lassan változnak, vagyis a vizsgált időablakon belül állandónak tekinthetők, illetve függetlenek az embertől. Ilyen tényező lehet a vasúti infrastruktúra, az adott technológiai fejlettségű rendszerek megléte, illetve a vasúti rendszert körülvevő környezet. [44] [45]

A műszaki biztonság szubjektív tényezőit az emberi faktor és a vele összefüggésben lévő paraméterek valósítják meg. Az emberi tényező a műszaki rendszerek biztonságával kapcsolatosan a tervezéstől, a megvalósításon át az üzemeltetésig mindenhol jelen van (lásd.: az emberi cselekvési hiba ábrája). Ezért egyelőre a vasúti biztonság megvalósításában elsődleges jelentőséggel bír a **humán faktor**. Ez a helyzet akkor változhat meg, ha az emberi tevékenység, a döntések meghozatala és a folyamatok ellenőrzése, végrehajtása és azokba való beavatkozás lehetőségét már nem csak az emberre bizzuk. Ennek fontos lépése az **automatizáció** (lásd később GoA). Ezeknek a rendszereknek a lényege, az emberi korlátok



legyőzése, a csökkentett számú emberi beavatkozással való működés megvalósítása, a balesetmentes, gazdaságos és hatékony működés végrehajtása. [44] [45]



1.2.1. ábra. Az ember által elkövetett cselekvési hiba hatásmechanizmusa [46]

Rejtett veszélytényezők közé soroljuk azokat az okokat, amelyeket nem tudunk pontosan meghatározni. Ezeket előre jelezni, csakhogynem lehetetlen, így kivédésük, konkrét kockázatként való megfogalmazásuk nem lehetséges az objektív vagy a szubjektív veszélytényezők kapcsán bevált módszerekkel. [44] [45] Az ilyen rejtett tényezők vizsgálatára használhatjuk az adatbányászat módszerét, amely a rendszerről gyűjtött adatok elemzését valósítja meg, segíti elő, például a prediktív karbantartást. [47]

A veszélytényezők csökkentésére törekszünk a műszaki rendszerek tervezésekor is, hogy a hibaesemény alkalmával (és persze a rutin/normál működés során is) a rendszer ne okozzon balesetet vagy anyagi kárt, ne veszélyeztesse a rendszert használók egészségét, életét, illetve a környezetre se legyen káros hatással. A biztonságkritikus rendszerek esetében erre különösen figyelemmel kell lenni. A biztonságkritikus rendszerek közé soroljuk az űrtechnológiai, repülési, illetve a vasúti rendszereket is.

A **biztonságot** alapvetően **befolyásolja** a tervezési metódus a „**tervezési filozófia**”, amivel a rendszert létrehozták. Ha tervezési koncepciók tekintetében keressük a fogalmak kialakulásának gyökereit, akkor a repüléstechnika tudományának a fogalmaihoz jutunk el. Ezeknek a fogalmaknak a kialakulása a repülésbiztonságot befolyásoló, anyagfáradásos (törésmechanikai) jelenséggel kapcsolható össze. Grandt háromféle tervezési módot említ a fáradásos jelenségek kivédésére és a repülésbiztonság megtartására. Az első a „Infinite – Life” tervezési koncepció, a második a „Safe – Life” tervezési koncepció, a harmadik pedig a „Damage – Tolerant” tervezési koncepció. „Damage – Tolerant” koncepción belül említi a „Safe Crack Growth” és a „Fail-Safe” tervezési koncepciókat. [48]

Summerville már – vasúti terminológiát tekintve is jobban alkalmazható – a rendszerek megbízhatósága szerint csoportosítja a különféle tervezési koncepciójú, és **hiba esetén** más-más **működésű** rendszereket. [49]

- „Fail-operational” rendszer esetében a felügyeleti rendszerének működési hibája esetén is tovább működik. (pl.: liftek, gázérzékelők) [49]
- „Fail-safe” rendszer esetében rendszerhiba hatására a rendszer biztonságos állapotba kerül, így azzal nagyobb problémát nem tud okozni. (pl.: orvosi berendezések: infúziós pumpa, vasúti biztosítóberendezések) [49]
- „Fail-secure” rendszer esetében a rendszerhiba során is fenntartja a maximális biztonságot a rendszer. (pl.: labor biztonsági ajtók, széfek ajtaja) [49]
- „Fail-passive” rendszer esetében a rendszer működése folyamatos a hiba esetén is, így a rendszerhiba nem okozhat kárt. (pl.: robotpilóta nem vezet rossz irányba a gépet) [49]
- „Fault-tolerant” rendszer esetében a rendszerben lévő alrendszerek meghibásodása egy meleg tartalék, illetve párhuzamosan működő alrendszer működését váltja ki. (pl.: nukleáris reaktor irányító- és felügyeleti rendszere) [49]

*Másrészről egy fail-safe rendszer esetében mégis mért kell számolnunk a balesetek bekövetkezésével?* Reason vizsgálata szerint a **hiba evolúciója** és a hibá(k) **balesetté** való összerendeződése a **svájci sajt modell** szerint képzelhető el. A Reason-féle svájci sajt modell (lásd. 1.2.2. ábra.) azt mutatja, hogy a **veszély** és az azt **kiváltó ok** már a tervezésnél belekerülhetnek a rendszerbe. A balesethez vezető út a hibáknak teret engedő rendszerelemeken és szinteken halad át mindaddig, amíg valami/valaki idő előtt fel nem fedti azokat. Arra is rávilágít, hogy a baleset bekövetkezése nem egy ok miatt fog megtörténi, hanem a sajt szeletek együtt állása, vagyis több minden közrejátszása miatt következhetnek be. Ezek az okok többek között a tervezésből, a berendezések állapotából, az előírásrendszer korlátaiból és az egyének oktatottságából is fakadhatnak. Természetesen az oktatás nem állhat önmagában. A rendszerrel kapcsolatban lévőknek megfelelő szintű tudásra és annak szükségszerű használatára is képesnek kell lenniük. Sok esetben probléma a rutinból vagy rutintalanságból fakadó baleseti helyzet. [45] [50]

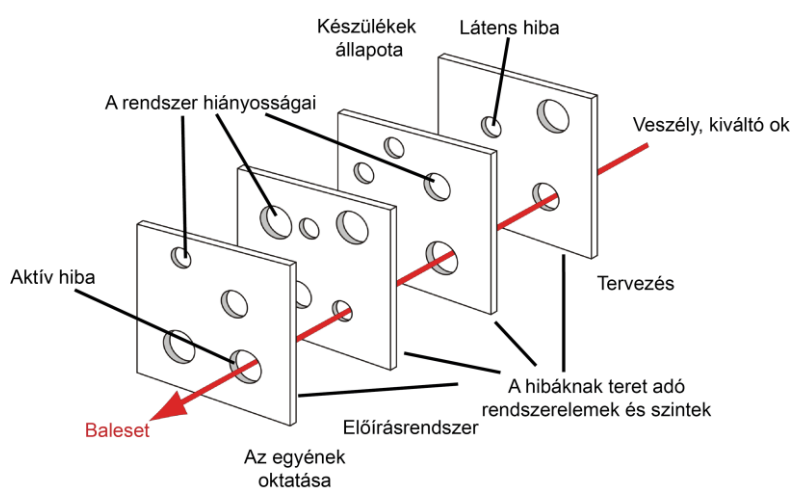
A **baleset számos értelmezése** ismert. Vasúti területen az alábbi értelmezés elfogadott<sup>17</sup>: a 2016/798 vasútibiztonságról szóló irányelv szerint a „baleset: olyan nem kívánatos vagy nem szándékos váratlan esemény, illetve ilyen események sajátos láncolata, amelynek káros következményei vannak; a balesetek a következő kategóriákra oszthatók: ütközés, kisiklás,

---

<sup>17</sup> A későbbiekben még a baleset fogalmának értelmezésével foglalkozom.

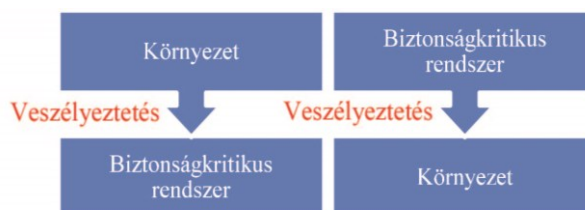
baleset vasúti átjáróban, mozgó gördülőállománnyal összefüggésben okozott személyi sérülés, tüzeset és egyéb baleset.” [51]

„Súlyos baleset<sup>18</sup>: vonatok összeütközése vagy kisiklása, amely legalább egy halálos áldozattal, illetve öt vagy több személy súlyos sérülésével, vagy a gördülőállomány, az infrastruktúra vagy a környezet jelentős károsodásával jár, valamint bármely más, ugyanilyen következményekkel járó baleset, amelynek nyilvánvaló hatása van a vasútbiztonsági szabályozásra vagy a biztonságirányításra; a fent említett „jelentős károsodás” olyan kár, amelyről a vizsgáló testület azonnal megállapíthatja, hogy az összesen legalább 2 millió eurót tesz ki.” [51]



1.2.2. ábra. Reason-féle „Svájci sajt modell” a balesetek bekövetkezésének vizsgálatára [50] [52]

Például egy biztonságkritikus rendszer esetében, amit fail-safe elvű működésre terveztek a **biztonság értelmezését** többféleképpen tehetjük meg. Az egyik változat, hogy a biztonságkritikus rendszert ne érje veszélyeztetés a környezetéből (pl.: szándékos szabotázs). A másik értelmezés szerint a biztonságkritikus rendszer ne veszélyeztesse a környezetét és az ott tartózkodókat. [53] A biztonság fogalma vasút rendszerben a MSZ EN 50128:2001 szerint „a biztonság (safety) az elfogadhatatlan kockázatoktól való mentesség. A **kockázat** (risk) egy meghatározott veszélyes esemény bekövetkezési gyakoriságának, valószínűségének és követelményeinek kombinációja.” [54]



1.2.3. ábra. A biztonság értelmezési módjai vasúti rendszerben alkalmazott biztonságkritikus rendszer esetében [53]

<sup>18</sup> Európai szinten.

A műszaki rendszerek üzemeltetése során a biztonságot befolyásolja az üzemeltetést végző szervezetek **biztonság kultúrája**, ami jelentős hatással lehet a kialakult biztonsági helyzetre. A balesetek alkalmával az egyén felelőssége mellett mindig a teljes rendszerre kiterjedő vizsgálatot kell lefolytatni. Nem szabad tartózkodni a magasabb szintű felelőségi körök, szabályrendszerek baleset kialakulásában betöltött szerepének vizsgálatától sem. [55]

Ezért is célom az IIVR projektben folytatott munkám során a komplex biztonság szempontú rendszertervezés és fejlesztés bevezetése.

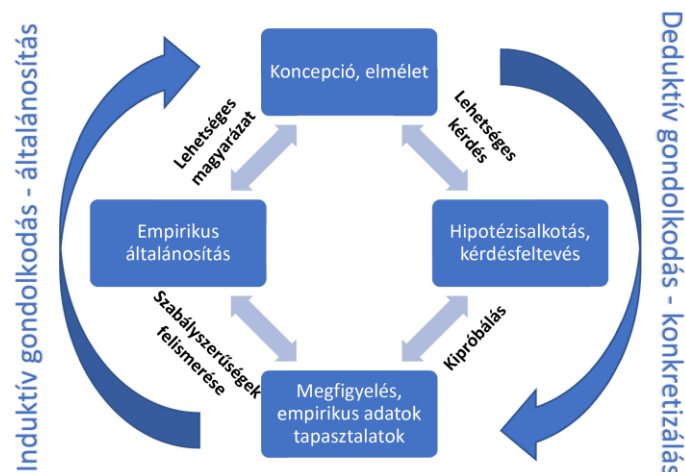
### 1.3. TUDOMÁNYOS PROBLÉMAFELVETÉS, KUTATÁSI KÉRDÉSEK

Általánosságban a probléma egy olyan feladat, illetve kérdés, melynek a megoldását vagy megválaszolását nem tudjuk azonnal nyilvánvalóan megtenni. A tudományos probléma felvetését kutatási kérdések feltevésével valósítom meg disszertációmban.

A tudományos kutatásom lényege, hogy a vasúti világunk megismerését és megértését vigyem véghez. A **megismerési-folyamat** során, az összefüggések keresésére, szabályszerűségek és törvényszerűségek feltárására törekszem: egy **tervszerű**, a vasúti kutatási témám lehetőség szerint minden körülményét szisztematikusan figyelembe vevő folyamatban. A fő műszaki probléma, hogy ma Magyarországon nincsen vasúti rendszer tervező iskola, tudományos műhely, a biztosítóberendezés tervezés is kiveszőben van. A biztosítóberendezés a műszaki tervezés szempontjából egy összetett gép, berendezés. Korábban jelfogós berendezéseket svájci licenc alapján gyártották Budapesten a Telefongyárban és később a Baján, a Ganz Villamossági Művek Bajai Készülékgyárában. A hazai tervezés a speciális berendezés tervezésre korábban ki volt alakítva. Ma már ezt is kevés helyen művelik. Viszont a **generikus megoldások** már régebben is csak elvétve fordultak elő, inkább a meglévő rendszerstruktúra adaptációjáról beszélhattünk.

A **berendezés tervezés** tudományos alapjaival, a berendezés fejlesztéssel, és biztonságkritikus szoftverfejlesztéssel, termékesítés témakörével foglalkozom munkám során ehhez kapcsolódik kutatásom is. Legfőbb tudományos probléma, amivel foglalkozom az az intelligens gépek, berendezések **tervezéstudomány**, szorítkozva ez alkalommal a vasúti biztosítóberendezések speciális területére.

A következő elsődleges és speciális kutatási kérdésekre keresem a választ munkámban. Az elsődleges kutatási kérdések **három területet** érintenek. Ehhez kapcsolódóan minél több speciális kutatási kérdést teszek fel a témakörök, minél alaposabb vizsgálatának elősegítésére.



1.3.1. ábra. A kutatásom körfolyamata [56]

### 1.3.1. A KUTATÁSI KÉRDÉSEIM ELSŐ CSOPORTJA

Amely a **technikai rendszerek automatizálását**, azon belül is a vasúti automatizálás témakörét érinti.

#### K1. elsődleges kutatási kérdés:

Milyen kapcsolat áll fenn az **automatizálás**, a **digitalizáció** és az **intelligens közlekedési rendszerek** kialakítása között?

##### K1.1. speciális kutatási kérdés:

Milyen az intelligens közlekedési rendszerek kialakításának európai helyzete az okos városok kialakításával kapcsolatosan?

##### K1.2. speciális kutatási kérdés:

Van-e kapcsolat és milyen relációval jellemezhető a közlekedés automatizálás és az intelligens közlekedési rendszerek kialakítása között?

##### K1.3. speciális kutatási kérdés:

Mi a vasúti közlekedés automatizálásának időszerű fogalma?

##### K1.4. speciális kutatási kérdés:

Mit érthetünk a vasúti rendszer digitalizációja alatt?

### 1.3.2. A KUTATÁSI KÉRDÉSEIM MÁSODIK CSOPORTJA

Amely a **gépi rendszerek intelligenciájának** kutatásának témakörét érinti.

#### K2. elsődleges kutatási kérdés:

Mit jelent és mérhető-e, meghatározható-e a gépi **rendszerek intelligenciája** (MIQ) a vasúti automatika rendszerek tekintetében?

##### K2.1. speciális kutatási kérdés:

Van-e a relevanciája a gépi intelligencia alkalmazásának az intelligens közlekedési rendszerekben?

### **K2.2. speciális kutatási kérdésem:**

Meghatározható-e a vasúti rendszerek gépi intelligenciája?

### **K2.3. speciális kutatási kérdésem:**

Értelmezhető-e és hogyan az intelligens vasúti rendszer fogalma?

### **K2.4. speciális kutatási kérdésem:**

Vannak-e a mai hagyományos vasúti rendszerben intelligens elemek?

### **K2.5. speciális kutatási kérdésem:**

Hogyan alakítható ki, az intelligens vasúti rendszer? Tervezhető-e egyes részletei?

### **1.3.3. A KUTATÁSI KÉRDÉSEIM HARMADIK CSOPORTJA**

Amely a vasúti rendszer biztonságának növelésének témakörét érinti.

### **K3. elsődleges kutatási kérdésem:**

Van-e létjogosultsága az intelligens rendszerelemek alkalmazásának a vasúti közlekedési rendszerben a **biztonság növelésnek** szempontjából?

#### **K3.1 speciális kutatási kérdésem:**

Az intelligens rendszerelemek használata van-e hatással, és ha igen, akkor milyen hatással a vasúti rendszer működésre?

#### **K3.2 speciális kutatási kérdésem:**

Lehet-e hatása az intelligens rendszerelemeknek a vasúti kritikus infrastruktúra biztonságára?

#### **K3.3 speciális kutatási kérdésem:**

Van-e a jövőben létjogosultsága az intelligens rendszerelemek alkalmazásának a vasúti rendszeren belül?

### **1.4. KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK – MEGVALÓSÍTANDÓ EREDMÉNY**

Disszertációm missziója<sup>19</sup>: Meghatározni az intelligens vasúti rendszert.

A céljaim megfogalmazása során meghatároztam a disszertációm főbb irányvonalait, vagyis a célkitűzésekkel az elérni kívánt eredményeket vetítettem előre. [57]

A kutatásom három területből tevődik össze. Egyrészről vizsgálom a vasúti rendszer automatizáltságát. Kiindulva a vasúti rendszer analíziséből, a társtudományok eredményeinek szakmaorientált explicit módú adaptációja útján a vasúti infrastruktúra automatizálására, modernizációjára, fejlesztésére teszek javaslatokat.

Másodsorban a műszaki szervezés és tervezés módszereivel intelligens vasúti rendszer létrehozására teszek javaslatot.

---

<sup>19</sup> Nem egy egyszerű cél. A szakma szeretetéből alapuló tudományos és szakmai felelősségből fakadó küldetéstudat.

**Harmadsorban** vizsgálom a **vasúti kritikus infrastruktúra biztonságát**, azáltal, hogy a vasúti rendszer elemzését a védelem szemszögéből közelítem meg. Melynek során számos elméletet integrálok (általános rendszerelmélet<sup>20</sup> [58] [17] [59] [60] [61], információelmélet<sup>21</sup>[62] [60], mesterséges intelligencia<sup>22</sup> [63], szemantikus rendszerek (tudásbrázolás szemantikus hálóval<sup>23</sup>) [64] stb.) vasúti kutatásomba<sup>24</sup>. Elemzem a vasúti rendszer intelligens elemekkel való bővítésének hatását a teljes rendszer biztonságára tekintettel.

#### 1.4.1. C1. FŐ CÉLKITŰZÉSEM

Nemzetközi vizsgálat<sup>25</sup> során az iparági trendnek megfelelően meghatározni és összegezni a **vasúti automatizálás** időszerű **fogalmát**. [65] [66]

##### C1.1. részcelkitűzésem:

Az okos városok okos mobilitási alappilléreinek elemzése az intelligens közlekedési rendszerek kialakításának szempontjából. [67] [68] [69] [70]

##### C1.2. részcelkitűzésem:

A közlekedés automatizálás és az intelligens közlekedési rendszerek közötti kapcsolat vizsgálata. [67] [68] [69] [70] [71]

##### C1.3. részcelkitűzésem:

Meghatározni a vasúti automatizálás időszerű fogalmát. [71]

##### C1.4. részcelkitűzésem:

Meghatározni és összegezni a vasúti rendszer digitalizációjának lényegét. [72]

#### 1.4.2. C2. FŐ CÉLKITŰZÉSEM

Vizsgálat útján meghatározni a **gépi intelligencia fogalmát** és elemezni használatának lehetőségeit a vasúti közlekedésben. [73] [74] [75] [76]

##### C2.1 részcelkitűzésem:

A gépi intelligencia alkalmazásának lehetőségeinek feltárása az intelligens közlekedési rendszerekben. [73] [74] [75] [76]

##### C2.2 részcelkitűzésem:

A vasúti rendszerben a gépi intelligencia meghatározásához szükséges javaslatok, módszerek, eljárások keresése és megfogalmazása. [73] [74] [75] [76]

---

<sup>20</sup> Ludwig von Bertalanffy (1948): Das Weltbild der Biologie.; Kenneth E. Boulding (1956): General systems theory: The skeleton of science.

<sup>21</sup> Claude Shannon (1948): A Mathematical Theory of Communication.

<sup>22</sup> Alan Mathison Turing (1950): Computing Machinery and Intelligence.

<sup>23</sup> M. Ross Quillian (1968): Semantic Memory.

<sup>24</sup> Lásd a Rendszerelméleti bevezetés – filozófiai iskolák fejezet

<sup>25</sup> Szakirodalom, szabadalom, piacvezetők termékeinek vizsgálata.

### **C2.3 rész célkitűzésem:**

Definiálni az intelligens vasúti rendszer fogalmát, kereteit meghatározni. [57] [61] [77]

### **C2.4 rész célkitűzésem:**

Az intelligens vasúti rendszer létrehozásához szükséges követelmények elemzése és definiálása. [57] [61] [77]

### **C2.5 rész célkitűzésem:**

Az intelligens vasúti rendszer megvalósítása, néhány lehetséges módjának feltárása és vizsgálata. [57] [61] [77]

## **1.4.3. C3. FŐ CÉLKITŰZÉSEM**

A **vasúti kritikus infrastruktúra védelmének**<sup>26</sup> kiterjesztése új módszerek, eljárások keresésével. [61] [73] [78]

### **C3.1. rész célkitűzésem:**

Az új intelligens rendszer elemek hatásának vizsgálata alkalmazhatóságuk útján.

### **C3.2 rész célkitűzésem:**

Az új intelligens rendszer elemek hatásának vizsgálata a kritikus infrastruktúra védelem szemszögéből.

### **C3.3 rész célkitűzésem:**

Az új intelligens rendszer elemek jövőbeni hatásának vizsgálata.

A vasúti rendszer intelligenssége tétele különleges helyzetéből adódóan további szakterületek integrálását teszi szükségessé kutatásomban: komplex rendszerek elmélete, biztonság tudomány, intelligens közlekedési rendszerek<sup>27</sup>, robotika, automatizáció, intelligens vezérlés, irányító rendszerek elmélete, megbízhatóság-elmélet, mesterséges intelligencia, ember-gép rendszerek, biztonságkritikus szoftver fejlesztése, hardver és interfészek tervezése, beágyazott rendszerek, kiber-fizikai rendszerek, okos városok, energiaellátó rendszerek, okos hálózatok, kommunikációs rendszerek stb.

## **1.5. KUTATÁSI HIPOTÉZISEIM – IGAZOLÁSRA VÁRÓ ELV**

**Az előzetes kutatásaim alapján felállított elképzelésem, hogy megvalósítható egy olyan műszaki rendszer a vasúti rendszert tekintve, amely magasfokú automatizáltságot biztosít és a kitűzött célokat pl. a vasúti közlekedés biztonságát növeli, a nagysebességű közlekedést biztosítja, az európai szintű közlekedés menedzsmentjét és a**

---

<sup>26</sup> Módszer: rugalmas infrastruktúra, intelligens infrastruktúra, ITS kialakítása.

<sup>27</sup> ITS - Intelligent Transportation System



**fenntarthatóságát támogatja. Amely rendszer eleme az európai kooperatív intelligens közlekedési rendszereknek.**

Az alaphipotézist **3 fő hipotézisre** bontom.

### **1.5.1. H1. FŐ HIPOTÉZISEM**

A közlekedés automatizálás, az európai vasúti ipart érintő digitális átalakulás mozgatta fejlődés kimutathatóan befolyásolja az intelligens közlekedési rendszerek létrejöttét, működését és ez hatással van a vasúti közlekedésre és annak automatizálására is.

#### **H1.1 alhipotézisem:**

Az okos városok okos mobilitási alappilléreinek bizonyíthatóan része lehet az intelligens közlekedési rendszer.

#### **H1.2 alhipotézisem:**

A közlekedés automatizálás és az intelligens közlekedési rendszerek közötti kapcsolat azonosíthatóan fennáll.

#### **H1.3 alhipotézisem:**

A vasúti automatizálás időszerű fogalma meghatározható.

#### **H1.4 alhipotézisem:**

Az európai vasúti ipar digitális átalakulása folyamatban van és a vasúti rendszer digitalizációja hosszútávon hatással lesz a vasúti fejlesztésekre.

### **1.5.2. H2. FŐ HIPOTÉZISEM**

Egy komplex több szintű rendszerben az elosztott intelligenciának helye van. Az intelligencia közlekedési rendszerben való alkalmazása összefüggésben van a közlekedési rendszer automatizációjával és annak szintjével.

#### **H2.1 alhipotézisem:**

A gépi intelligencia alkalmazásának módja meghatározható az intelligens közlekedési rendszerek esetében.

#### **H2.2 alhipotézisem:**

Megfogalmazhatóak olyan eljárások, módszerek, amelyek segítségével a vasúti rendszerben meghatározhatóak a gépi intelligencia indikátorai.

#### **H2.3 alhipotézisem:**

Meghatározható az intelligens vasúti rendszer fogalma és keretei.

#### **H2.4 alhipotézisem:**

Definiálható az intelligens vasúti rendszer létrehozásához szükséges követelmények egy része. (informatikai és biztonsági szempontból)

### **H2.5 alhipotézisem:**

Az intelligens vasúti rendszer megvalósításának gyakorlati vonatkozásai feltárhatóak a magyar vasúti rendszer tekintetében.

### **1.5.3. H3. FŐ HIPOTÉZISEM**

A vasúti infrastruktúra adaptivitásának, rugalmasságának növelésével kitettsége csökkenthető.

#### **H3.1. alhipotézisem:**

Az adaptivitás, rugalmasság megvalósítása intelligens rendszerelemek alkalmazása útján történhet meg.

#### **H3.2 alhipotézisem:**

A rendszerelemek adaptivitása létrehozható. Az adaptivitással rendelkező elemek integrálása a rendszerbe, megfelelő rugalmasságot ad a rendszernek.

#### **H3.3. alhipotézisem:**

Elméleti - logikai kutatási módszerek felhasználásával beazonosítható a vasúti rendszer fejlesztésének jövőbeli iránya. Létrehozható a vasúti digitalizációs stratégia.

## **1.6. A TUDOMÁNYOS KUTATÁSRÓL, FEJLESZTÉSRŐL ÉS INNOVÁCIÓRÓL KAPCSOLÓDÓAN AZ IIVR PROJEKTHEZ**

„A kutatás és kísérleti fejlesztés olyan módszeresen folytatott alkotómunkát jelent, amely a meglévő ismeretanyag bővítésére szolgál beleértve az emberről, a kultúráról és a társadalomról szerzett ismereteket is, valamint arra, hogy ezt az ismeretanyagot új alkalmazások kidolgozására használjuk fel.” [79] Kutatásomban módszeresen áttekintem a meglévő vasúti rendszer kiválasztott strukturális alrendszereit, az ismeretanyag összegyűjtésével, rendszerezésével és kiegészítésével egy új jelző és biztosítóberendezés tervezését és létrehozását kívánom támogatni, meghatározni. A 2014. évi LXXVI. törvény 3. § így fogalmaz az „alkalmazott kutatás: tervezett kutatás vagy célzott vizsgálat, amelynek célja új ismeretek, tudás és szakértelem megszerzése új termékek, eljárások, technológiák vagy szolgáltatások kifejlesztéséhez, vagy a létező termékek, eljárások vagy szolgáltatások jelentős mértékű továbbfejlesztésének elősegítéséhez.” [80]

Célunk a **kutatócsapatban végzett munka** végeredményeképpen egy új struktúrájú elosztott logikát és döntési mechanizmust magába foglaló generikus vasúti biztosítóberendezési alrendszer létrehozása. Ezt a berendezést egy piaci terméként szeretnénk létrehozni, ezért a fejlesztés során a specifikus piaci termékfejlesztés szempontrendszerét is kialakítjuk. Valamint ezt a fejlesztés során figyelembe vesszük. A vasúti biztosítóberendezések piaca meglehetősen zárt, ezért a piacra jutási **stratégia kettős**. Egyfelől a magyarországi berendezés gyártás

újjaélesztése és ezen a téren az ország kitéttiségének csökkentése nemzeti érdek. Másfelől a hazai infrastruktúra üzemeltetők elvárása, illetve a belső fejlesztési késztetése a mellékvonalak versenyképesé tételét célozza.

A „kísérleti fejlesztés: a meglévő tudományos, technológiai, üzleti és egyéb vonatkozó ismeretek és szakértelem megszerzése, összesítése, megosztása, alkalmazása és felhasználása új, módosított vagy javított termék, eljárás vagy szolgáltatás terveinek létrehozása vagy megtervezése céljából.” [80] Azaz a kísérleti fejlesztés során „az új termékek, eljárások és szolgáltatások fogalmi meghatározását, megtervezését és dokumentálását célzó tevékenységeket” folytatunk le. [80]

Az új elosztott logikájú intelligens **biztosítóberendezés tervezése** során a már ismert hazai berendezések sajátosságainak figyelembevételével és a vizsgált nemzetközi példák által inspirált koherens, moduláris, megfizethető biztonsági berendezés tervezési módszertanának és terveinek létrehozása a célunk. A kutatásom lényegi része, hogy nemzetközileg is elfogadottan definiálom az intelligens vasúti rendszer fogalmát. A rendszer létrehozáshoz szükséges alkotóelemek (új termékek és szolgáltatások) meghatározásával és megtervezésével egyetemben a szabványokban meghatározott dokumentációs eljárás betartásával.

A kísérleti fejlesztés „olyan tevékenységek, amelyek magukban foglalják tervezetek, tervrajzok, tervek és egyéb dokumentációk előállítását is, feltéve, hogy azokat nem kereskedelmi felhasználásra szánják.” [80] A vasúti biztonságkritikus rendszerek **tervezésének dokumentációs kritériumai meghatározásra**<sup>28</sup> kerülnek a kutatói munkám során. A kísérleti fejlesztésben engedélyezett az, hogy ha „a kereskedelmileg felhasználható prototípusok és kísérleti projektek kifejlesztése abban az esetben, ha a **prototípus** szükségszerűen maga kereskedelmi végtermék, és előállítása túlságosan költséges ahhoz, hogy az kizárólag demonstrációs és hitelesítési céllal történjen.” [80] Tervezetten a kutatás-fejlesztési projekt eredményeként létrehozott működő prototípust Moha vasútállomáson fogjuk próbaüzem alá vetni. A IIVR prototípus költségei nem teszik lehetővé azt, hogy csak kizárólag demonstrációs és hitelesítési céllal hozzuk létre. Ugyanakkor a projekt egyik eredményterméke a szimulációs modell, amelynek megépítése segíti a nagyobb anyagi ráfordítást igénylő valós prototípus sikeres létrehozását. A szimulációs modell demonstrációs és hitelesítési céllal épül, melynek a projekt fenntartási időszakában jelentős szerepe lesz a biztonságkritikus rendszerek fejlesztésének egyetemen történő oktatásában.

---

<sup>28</sup> A tervezés során készítendő dokumentumok.

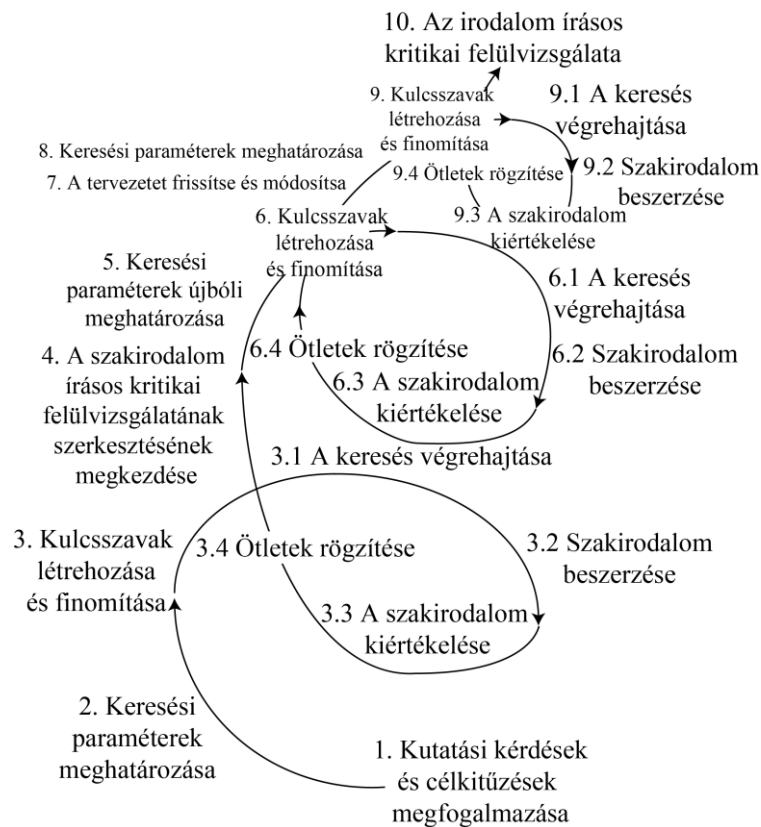
## 1.7. KUTATÁSI FOLYAMAT, KUTATÁSFILOZÓFIA, KUTATÁSI METODOLÓGIA, KUTATÁSI STRATÉGIA, KUTATÁSELRENDEZÉS, KUTATÁSI MÓDSZEREK

„A tudományos kutatás: a megismerés útja, valamely probléma megoldása hipotézis-alkotással és annak induktív vagy deduktív bizonyításával. Tudományos kérdések megoldása, összefüggések feltárása érdekében folytatott tevékenység.” [81] Vagy, másképpen: „A tudományos kutatás adott helyen, időben, tudományterületen és vizsgálati szinten az a tervszerűen végzett, és az adott vonatkozásban rendelkezésre álló, eddigi tudományos ismereteken alapuló emberi tevékenység, amelynek célja új, az eddigi ismeretek rendszeréhez kapcsolódó (azt kiegészítő, általánosító vagy helyettesítő), adott területen hosszabb vagy rövidebb távlatban általános érvényű adat, összefüggés, hatás vagy kölcsönhatás megállapítása, vagy létrehozása.”[81]

Általánosságban. A kutatási módszer egy olyan alkalmazási mód, amelyet a kitűzött kutatási célok elérése – azaz a disszertáció missziójának megvalósítása - érdekében tudatos módon felhasználunk. A kutatási eredményének elérésének gyakorlati módja, azaz az eljárás, amellyel a kutatási feladatot végrehajtjuk. A kutatásom során a valóságot strukturálok és lehatárolom. A kutatásom részfolyamatainak nevet adok. A tudományos probléma meghatározása során **megfogalmazok kutatási kérdéseket** és ezek alapján hipotéziseket állítok fel. A kutatási kérdésekből nyert hipotéziseimet próba alá vetem. A próba alatt azt értem, hogy a vizsgálataim során azt keresem, hogy bármilyen okból el kell-e vetnem a feltevésemet. A releváns hazai és nemzetközi szakirodalmi forrásokból, szabadalmakból, szabványokból indulok ki. A vizsgált, megfigyelt vasúti rendszerről adatok, információk és gyakorlati ismeretek összegyűjtésével foglalkozom. A megtalált, összegyűjtött adatok és ezekből feltárt információk elemzésével, vizsgálatával, megvitatásával, megmagyarázásával módszeresen áttekintem az összegyűjtött ismereteket. A kutatásom során feltárom a fogalmak tartalmát.

A fenti gondolatmenet átlátása után megfogalmazom konklúziómat, amelyet munkámban érvelés során alátámaszok, bizonyítok a kutatási témához kapcsolódó megfelelő érvek felvonultatásával. Végül pedig következtetéseket vonok le tézisek formájában. A következtetéseimet ellentmondás mentesen megfogalmazva többszörösen ellenőrizve a hazai és nemzetközi szakmai és tudományos közélet kontrollja mellett fogalmazom meg. [82]

A kutatási projektek többségénél a szakirodalmi kutatással kezdődik a munka. Az általam alkalmazott szakirodalmi felülvizsgálatot szemlélteti az alábbi felfelé irányuló spirál.

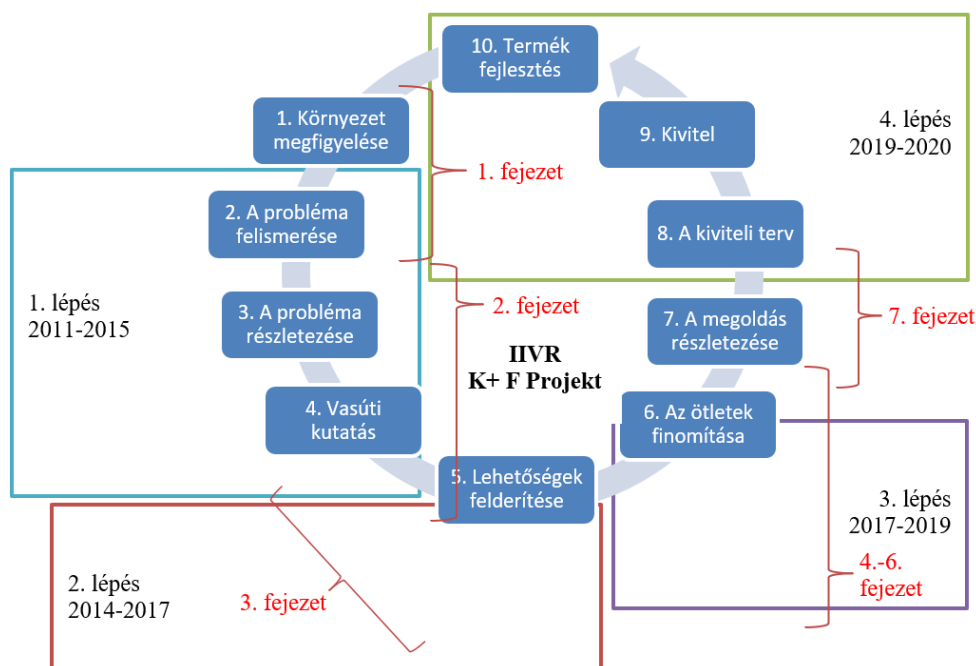


1.10.1. ábra. A disszertációm megírása és az IIVR projekt során általam alkalmazott hélix szerű irodalomkutatás módszertana [83]

Az IIVR projekt tapasztalatai szerint ez a keresés jelentős ideig folyamatosan fennállt a projekt lebonyolítása során. Ez a folyamat csak akkor fejeződhet be, ha az szakirodalom írásos kritikai felülvizsgálata megtörténik. A **kritikai vizsgálat** a kutatási kérdések és célkitűzések meghatározásával kezdődik. A kérdések alapján meghatároztam néhány keresési paramétert, majd kulcsszavakká alakítottam. A több éves keresés során számos szakirodalmat tekintettem át, melyek értékelését is megtettem. Ezután a kutatási témámmal kapcsolatos ötleteimet rögzítettem és a szakirodalom írásos felülvizsgálatának vázlat szerű megfogalmazását hajtottam végre. Ezt a folyamatot többszörösen megismételve és finomítva jutottam el a vasúti rendszerek fejlesztésével kapcsolatos szakirodalom átfogó írásos kritikai vizsgálatához, melynek eredményét a további fejezetekben fogom bemutatni.

Továbbá, mindezt kiegészítve, az InnoTrans 2018 világkiállításon gyűjtött anyagok elemzésével is módszeresen meghatározom a tudomány jelenlegi állását kutatási területemre nézve.

Vasúti környezet megfigyelésével töltött hét év után egy a vasúti rendszerre vonatkozó és megoldásra váró problémakört ismertem fel. Amely probléma a kutatási kérdésekben reprezentálódik. A kutatási kérdésekre keresem disszertáciomban és kutatásomban a válaszokat a célkitűzéssel koherens egységben. Minél több lényegi kutatási kérdést fogalmazok meg, mellyel a legnagyobb mértékben leszűkítem a kutatási területem.



1.10.2. ábra. A tudományos problémamegoldás folyamata<sup>29</sup> az IIVR K+F+I Projekt kapcsán [84]

Az előző alfejezetben való részletes leírásával megalapoztam saját kutatásomat. A disszertáció írása során olyan lehetőségeket kerestem, amely segítségével a kutatási kérdések megválaszolhatók. Ennek során is alkalmazom az irodalomkutatás eszközét és a fogalomalkotás módszereit is.

Az összehasonlító módszerrel elemzem a meglévő vasút automatika rendszereket. A tervezésre vonatkozó ötleteim kidolgozásával, finomításával egy részletes megoldási javaslatot fogalmazok meg a vasúti rendszer tervezésére (intelligens biztosítóberendezés) vonatkozólag, mely alapjául szolgálhat a rendszer kiviteli terveinek létrehozásához.

A fejlesztési és kivitelezési szakaszt a következő években egyetemi K+F+I projekt keretében hajtom végre, kollégáimmal közösen. A disszertációm írása során és az IIVR projektben alkalmazott tudományos módszerek között említhető, a vasúti rendszerrel kapcsolatos ismeretek szisztematikus megszerzése során felhasznált eljárások. A probléma felismerés és részletezése, a problémához kapcsolódó adatgyűjtésből fakadó hipotézis felállítása és ellenőrzése. [84]

Az analógiás gondolkodás segítségével - amely a hasonlóságokon alapuló következtetés módszeres alkalmazása - az intelligens rendszerek működésének és alkalmazhatóságának mikéntjét a vasúti rendszerekre vonatkoztatom.

A szakirodalom kritikai felülvizsgálata és a célkitűzésekkel kijelölt új célrendszer közötti kapcsolatot állítok fel. [85] Összehasonlítom a tanulmányomban kidolgozott koncepciót és a fellelhető elméleti és gyakorlati példákat.

<sup>29</sup> „Kutatásielrendezés: a kutatási folyamat szakaszolása, az egyes szakaszok sorrendjének felállítása.” [81]

Valamint empirikus kutatási módszerek használatával előkészítem és megtervezem a már megfigyelt területen végzendő több kísérletet (elméleti, gondolati, logikai kísérlet), ezeknél szem előtt tartva a téma nem diszjunkt<sup>30</sup> **kompetenciaterületeit**<sup>31</sup>. A kísérlet során a megfigyelt tények válnak ellenőrizhetővé a későbbiekben.

Elméleti-logikai kutatási módszerek felhasználásával készítem el a vasúti rendszerek analízisét<sup>32</sup>. Az egyes esetek tapasztalatainak indukciójának<sup>33</sup> és a kapott általánosítás dedukciójának<sup>34</sup> szintézisével<sup>35</sup>, a vasúti és más közlekedési rendszerekben is alkalmazható (pl.: intelligens közlekedési rendszerek) analógia<sup>36</sup> feltárásával és az általánosítás tudományos módszerével határozom meg a hipotéziseimmel kapcsolatos konklúziókat.

A disszertációban hipotéziseket állítok fel, amelyek a kutatói munkám során igazolásra vagy cáfolatra kerülnek. Megállapításaimat a munkám végén összegzem.

A táblázatban feltüntetett négy lépés közül a disszertációmban csak az 1-3. lépések megvalósítását fogom bemutatni, a 4. lépés előkészítésével és megtervezésével.

Az ismertett módszerekkel arra törekszem, hogy a kutatás és kísérleti fejlesztés ismérveit szem előtt tartva a folyamatához megfelelően járjak el, azaz olyan alkotómunkát hajtsak végre, amely a meglévő ismeretanyagot kibővíti és ezt a tudást új alkalmazások kidolgozására használom fel. [86]

Kutatási és fejlesztési lépés	A tudományos problémamegoldás fázisa	Választott kutatási módszer
1. lépés	1. – 3. fázis	általános módszerek
2. lépés	4. – 5. fázis	összehasonlítás módszere irodalomkutatás, tartalom elemzés analízis (elméleti- logikai)
3. lépés	6. – 7. fázis	fogalomalkotás tapasztalati indukció, dedukció, általánosítás, modellalkotás
4. lépés	8. – 10. fázis	empirikus kutatási módszerek, kísérlet, pilotprojekt

1.10.1. táblázat. A kutatás során választott kutatási módszerek

## 1.8. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS FELÉPÍTÉSE

Rövid bevezetés után a kutatási témám időszerűségét vizsgálom. Majd a kutatási témát és biztonsgtudományt kötöm össze pár gondolattal. Megfogalmazom az előzetes kutatásom során feltárt tudományos problémát. Célkitűzéseket állítok fel és kialakítom a kapcsolódó hipotéziseimet. Kutatási módszereket választok a kutatási kérdések megválaszolásához és a hipotézisek vizsgálatához.

<sup>30</sup> elkülönült

<sup>31</sup> illetékességi kör

<sup>32</sup> vizsgálat, elemzés

<sup>33</sup> egyedi esetekből való következtetés az általánosra

<sup>34</sup> az általánosból való következtetés az egyedi esetekre

<sup>35</sup> egységbe foglalás

<sup>36</sup> hasonlóság, egyezés

A technológia és a kutatások jelenlegi állását vizsgálom világ, Európa és hazai szinten. Keresem a vasút szerepét a hálózatosodás megatrendjébe illetően az okos városok közlekedése, az intelligens közlekedési rendszerek kialakulása kapcsán. Foglalkozom vasúti infrastruktúra fenntarthatóságával, védelmének szemszögéből. A védelem intelligens rendszerekkel való kiterjesztése mellett érvelek. A fejezet második felében részleteiben említettem meg az európai innovációs programokat, kapcsolódóan a vasúti ipar digitalizációjához. A hazai vasúti rendszer strukturális és funkcionális elemzését teszem meg az automatizálás szemszögéből.

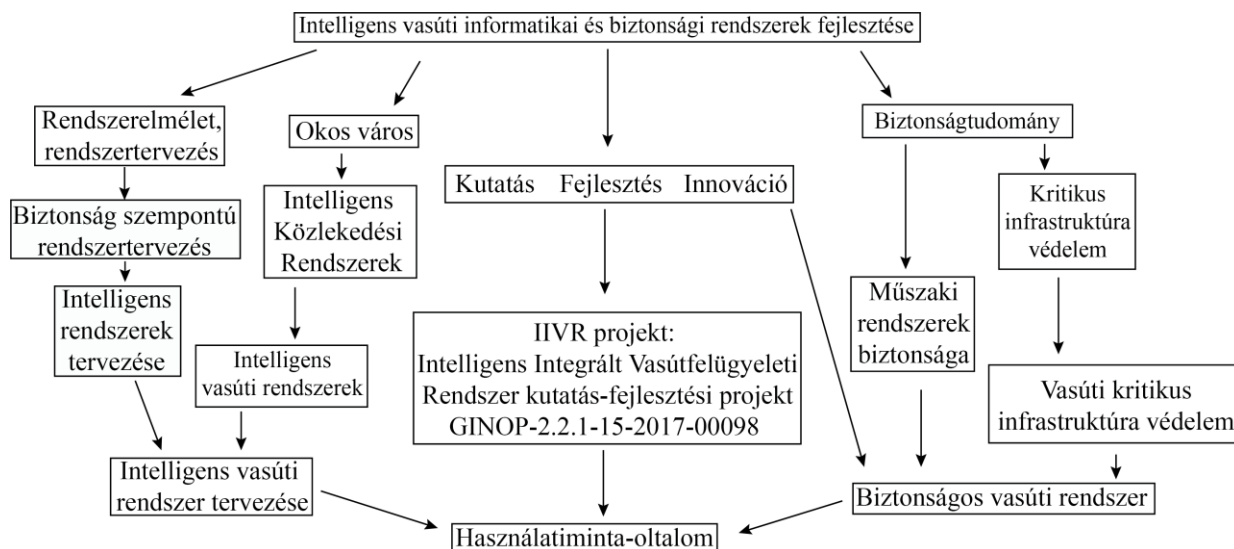
A rendszertervezéssel általánosabb módon és áttekinthető jelleggel foglalkozom. Majd a mai digitalizáció eszközével a 3D pontfelhő technológia hathatós alkalmazása útján mutatom be a digitalizáció vasúti rendszertervezésre, rendszerüzemeltetésre, karbantartásra való sikeres felhasználást.

Az integrált intelligens vasútfelügyeleti berendezés tervezésével foglalkozom az európai szinten alkalmazott szabványok alapján és az intelligens rendszer tervezés szemszögéből.

A komplex rendszerek intelligenciájának tervezési kérdését vizsgálom. Az okos gépek gépi intelligencia, használhatóság és környezeti teljesítmény szerinti tervezésével foglalkozom, ennek kapcsán fogalmazom meg az okosság elméletet és okosság hányadost. Valamint a vasúti rendszer intelligencia indikátoraira teszek javaslatot.

Azután összefoglalom munkámat. Igazolom, vagy elvetem hipotéziseimet. Megfogalmazom az új tudományos eredményeimet. Javaslatot teszek az elért eredmények hasznosítására és előre vetítem a kutatás folytatásának lehetőségét, néhány nyitott kérdés megfogalmazásával.

A fejezet után található az irodalomjegyzék és a mellékletek. A disszertációm logikai felépítését az 1.11.1. ábra szemlélteti.



1.11.1. ábra. A disszertációm logikai felépítése



## **2. A TECHNOLÓGIA ÉS A KUTATÁSOK JELENLEGI ÁLLÁSA, KUTATÁSOM HELYE A VILÁGBAN**

Ebben a fejezetben azt vizsgálom, hogy a tudományos kutatásom milyen relevanciával rendelkezik világszinten, Európában és hazai viszonylatban. A kutatási, fejlesztési és innovációs folyamatok hogyan alakulnak a választott témám tekintetében. A fejezetben a hálózatosodás világtendenciájának hatását a teljes kutatási–fejlesztési projektekre vonatkozólag figyelembe veszem. A hálózatosodás okozta összeköttetések a különféle infrastruktúrák interdependenciáinak kialakulása nyilvánvaló. A kölcsönös függőség a mai magyar infrastruktúrák kapcsán is jelen van. A létfontosságú hazai vasúti infrastruktúra védelmének újszerű módszerére az intelligens rendszerek alkalmazásának bemutatására is kitérek. Mindehhez kapcsolódóan elemzem az európai vasúti közlekedési rendszer nemzetközi fejlesztési irányait azáltal, hogy bemutatom a Shift2Rail innovációs programokat elhelyezve ezzel a saját és egyetemi kutatásomat, kutatásunkat a nemzetközi innovációs környezetben. Majd végül, ismertetem a kulcsfontosságú alaptechnológiákat, amelyek kapcsán vizsgálom melyek alkalmazását tehetjük meg a kutatás-fejlesztés során.

### **2.1. HÁLÓZATOSODÁS MEGATRENDJE – OKOS VÁROSOK OKOS KÖZLEKEDÉSE**

*Mi a hálózat fogalma?*

Logisztikai hálózat, településhálózat, közlekedési hálózat, vasúthálózat, közúthálózat, csőhálózat, telefonhálózat. Számtalanszor használjuk nap mint nap a hálózat fogalmát. A magyar nyelv értelmező szótára szerint a hálózat, mint főnév többféle jelentéssel is bír. [87]

„1. Egymást átszelő egyenes v. görbe vonalak sűrű, szabályos szövedéke, rendszere. Körívek hálózata. a. Fonalakból, huzalokból, vékony rudakból alkotott ilyen alakzat, szerkezet, szövedék. Szeges drótok hálózata zárta el az utat.

2. Nagy területet behálózó műszaki (közlekedési, villamossági, hírközlő, csatorna- stb.) létesítmények összefüggő rendszere. Elektromos hálózat; közlekedési, távbeszélő, vasúti hálózat.

3. (átvitt értelemben) Egymással összefüggésben levő, hasonló v. azonos intézmények egységesen szervezett, kiterjedt rendszere. Iskolák hálózata; gépállomások, termelősövetkezetek hálózata. A törvénykezés roppant hálózata ... sohasem lehet ... finom szálakból szöve. (Eötvös József)” [87]

*Mi a hálózatosodás?*

Szabó Lajos „A kötőtpályás hálózatosodás kérdései a dunántúli régiókban” cikkében foglalkozik a kötőtpályás hálózatokkal gráfelméleti szempontból. [88] Azt gondolom, hogy a hálózatosodás egy folyamat, amely során fizikai, virtuális, logikai szövedék jön létre, ezzel

létrehozva az egyes elemek között valamilyen kapcsolatot, relációt. A definíciók szerint a városok és az azok közötti kapcsolatot teremtő egyéb hálózatok – ilyen a közlekedési hálózat is – a hálózatosodás folytán válnak komplex (skálafüggetlen<sup>37</sup>) hálózattá.

A **településhálózat és a közlekedési hálózat kapcsolatát** az alábbi módon fogalmazom meg: az okos városok tervezéseméleti megközelítését vizsgálva. Az okos városok céljainak elérésére olyan szemléletbeli javaslatokat és észrevételeket teszek, amelyekkel a társadalmi konszenzus szükségességét hangsúlyozom. A **közösségi tervezés** módszerével és a társadalmi struktúrában gyökerező ciklikus tanulási folyamat elősegítésével a város lakói közül minél többek számára elfogadható okos városi változatot érdemes létrehozni a helyi igényeknek megfelelően. (Lásd vasúti területen még Crossrail Innovation Forum [89]; vagy a 3C Crossrail innovációs stratégia [90])

Meglátásom szerint ilyen igény a közlekedés biztonsága is. Akkor válik elfogadhatóvá az okos városok létrehozásához kapcsolódó terv, ha ugyanazon információ és tudás birtokában ugyanazt hozzák létre a különféle városok esetében.<sup>38</sup> Azaz a terv lényegét tekintve egy generikus koncepcióalkotásról beszélhetünk. Mindez persze kiegészül a már említett sokak számára elfogadható eredménnyel. Esetünkben az okos város megvalósulásával. A tervezési folyamatot a helyi lakosság számára átlátható értékrendszer és egyértelmű értékválasztások jellemzik, hogy a város lakossága minél könnyebben elfogadja az okos városok létrehozásával járó változásokat. Ugyanakkor a tervezés azon oldalát is figyelembe kell venni, amikor a várost nem csak egy **társadalmi rendszerként** fogjuk fel, hanem egy **műszaki tervezés** elemeként is. Egyre több esetben előfordul, hogy az okos város, mint termék jelenik meg az egyes városfejlesztési koncepciókban. Az okos várossal kapcsolatos tudományos eredmények, tervezési elvek minél hamarabb kiállják a közvélemény és a nyilvánosság próbáját annál hamarabb válhatnak az okos városok kialakítására vonatkozó javaslatok kvázi-objektív tervezési elvekké, javaslatokká. [91] [92] Pár éve az Nemzetközi Távközlési Egyesület<sup>39</sup> összefoglaló tanulmányt készített az okos és fenntartható városokkal kapcsolatban. Melyben több mint száz különböző az okos városra vonatkozó definíciót gyűjtöttek össze. Általánosságban összefoglalva az okos fenntartható várost úgy határozták meg, mint egy olyan innovatív város, amely az infokommunikációs technológiák alkalmazásával javítja a városokban élők életminőségét, a **közművek és (köz)szolgáltatások hatékonyságát**. Ezzel hosszútávra megteremti a város versenyképességét és biztosítja a jövő generációk számára a szükséges gazdasági, társadalmi és környezeti feltételeket. A városok környezeti

---

<sup>37</sup> A hálózat csomóponti elemei között található kiemelt a többi csomóponti elemhez képest több kapcsolattal rendelkező elemek.

<sup>38</sup> Mellékletben felsorolom az aktuális okos város szabványokat.

<sup>39</sup> International Telecommunication Union

fenntarthatósága és az élhető város kialakítása során a természeti környezet a város szerves részét kell, hogy képezze, ezzel csökkentve az emberi tevékenységből fakadó emissziót, zajt, port stb. [67][70][93][94] A város hatékony üzemeltetése fontos tervezési szempont. Így például az újrahasznosításra és a termelődő hulladék mennyiségének csökkentésére az okos városban számos automatizmussal találkozhatunk. Amelyek természetessé teszik a városlakók számára a hulladékokkal kapcsolatos tevékenységeket. [67] [92]

Az okos városok tervezése, **kommunikatív és kollaboratív tervezési folyamatban** a városlakó, azaz a **felhasználó tervezésben való részvétele** központi gondolat. Az elv szerint az emberek alapvető joga, hogy a velük kapcsolatos változások irányának és céljának megtervezésében szerepet vállalhatnak. Vagyis az okos városok tervezése során a fejlesztést végző szakértőkkel együttműködhetnek. [95] [96]

A technológiai fejlődés (pl.: autonóm légijárművek fejlesztése [7], robotika [9], IoT, felhőtechnológiák [97], okos mobilitás [98], okos anyagok [99]), a klimatikai hatások [93] [94] a geopolitikai erők [100] világszintű változásokat hoznak. A fejlettebb országokban a társadalom digitális átalakulása új, még kevésbé ismert kihívások elé állítja az embereket. Az okos **város alappillérei közötti kapcsolatok**, mint például az okos környezet és az okos mobilitás viszonyában sem a személyes részvétellel járó egyeztetések dominálnak a digitális korban. Ahhoz, hogy a kollaboráció, a társadalmi egyeztetés folyamatos módon megvalósuljon egy olyan hosszú folyamat során, mint például egy hagyományos város okos várossá való átalakulása, szükség van nyílt **közösségi innovációs műhelyekre**. A műhelyeknek nem csak fizikai, hanem virtuális/ kiber vetülete is van. Ezekben a műhelyekben a város életében lévő kihívásokra, fejlesztési célokra közösségi megoldások találhatóak.

A crowdsourcing<sup>40</sup> technika segítségével nem csak a közösség ötleteit integrálhatjuk be a fejlesztésbe, hanem a feladatokat is megoszthatjuk a városlakóival, ezzel egy újabb hálózatot létrehozva a városfejlesztéshez. A városfejlesztők dönthetnek úgy, hogy az ötletek alapján online formában kiszerveznek egyes feladatokat a tervezés, a fejlesztés vagy akár a későbbiekben az üzemeltetés során. A létrejövő ideiglenes kooperációk eredményes lezárásához mind kétfél számára előnyös állapot létrehozására kell törekedni. Ezért például már a tervezés során is a városi lakossággal kapcsolatos szociális tényezőket is figyelembe kell venni. A tervezés és a fejlesztés folyamán a társadalmi összefüggéseket is vizsgálni kell, mert ennek hiányában az okos városfejlesztés nem érheti el kitűzött célját. A folyamat során az egyes résztvevők közötti kommunikációban a közös nyelv megtalálása meglehetősen nehéz feladat, de szükséges a projektek sikerességének érdekében. A közös munka nehézségei közé tartozik

---

<sup>40</sup> Egy probléma megoldási modell, amely során az adott feladatot kisebb egységekre bontják és online formában kiszervezik. A feladat megoldására a „tömegek” segítségét veszik igénybe. [280]

az, hogy egy átlagos városlakó nem rendelkezik átfogó tudással az okos városokról. Így a közös gondolkodás beindítását megfelelő előadásorozatokkal katalizálni érdemes, mint egy irányt kijelölve az okos város kialakításával kapcsolatban. Ezzel a lépéssel kettős hatás is elérhető. Nem csak a fejlesztők feladata válhat egyszerűbbé azáltal, hogy az ismeret hiányon alapuló felhasználói passzív magatartás ellen tehetünk, hanem a tervezett fejlesztések elutasításának lehetőségét is csökkentjük. [96][101][102]

A felhasználók fejlesztésbe való bevonása kisebb projektek esetén egyszerűbb. Viszont a hosszútávú városfejlesztési projektek sikerességének is a kulcsa a felhasználó központú, azaz a városlakó központú kollaboratív tervezés. Az okos város tervezésének fundamentuma az, hogy minden tevékenységünket úgy határozzuk meg, hogy mi az, amire a városlakónak szüksége van. Nem célravezető a fejlesztésekhez igazítani a felhasználói igényeket. Sokkal inkább okos megoldás, ha a fejlesztéseket igazítjuk az emberekhez és igényeikhez. Érdemes azon is elgondolkodni, hogy a helyi közösségek alkotómunkáját akár a crowdsourcing módszerével bevonjuk a folyamatba. A **változások könnyebb elfogadását** teszi lehetővé az, ha a közösség is kiveszi szerepét a munkából. Nem csak a tervezés során, de az egész fejlesztési folyamatban vizsgálni kell a felhasználók igényeit. A városlakók és a fejlesztésben résztvevők javaslatait iterációs módszerrel újra és újra tesztelni kell a közösségen. [102]

Az okos város több alappillére közötti kölcsönös összefüggések tovább növelik az okos városok tervezésének nehézségét. A digitalizáció és az okos város alrendszerek interdependenciái felvetik a biztonsággal való foglalkozás igényét, már tervezési szinten is. A biztonságos társadalmak létrehozását a városoknál kell küzdenünk. A városokban lévő infrastruktúrák védelme kiemelt szerephez jut az okos városok tervezése során. Mindazonáltal a biztonságos társadalmak kialakítása a pl.: Horizont 2020 stratégiában foglaltak szerint a katasztrófavédelemet, a bűnözés- és terrorellenes küzdelmet, a külső határőrizetet, a védelempolitikát és akár a digitális biztonságot is magába kell, hogy foglalja az okos város tervezés során is. A kiber és fizikai biztonság összekapcsolódik az egyre nagyobb számú kiber-fizikai rendszer alkalmazásával. [97] [103] [104] [105] [106] [107] [108] [109]

Az infrastruktúrák és az azokban található kiber-fizikai rendszerek működésével összefüggő zavarok közvetlen módon befolyásolják a városok biztonságát és a városlakók biztonságérzetét. Megbénításuk a **hat Cohen féle pillér (ebből csak egy az okos közlekedés)** koherens működését is felboríthatja, ezért az okos városok biztonságával a tervezéstől kezdődően érdemes foglalkozni. Vagyis tervezési szempontok között kell, hogy szerepeljen a biztonság a város és a városi alrendszerek esetében is. [70] [106] [110]

## 2.2. INTELLIGENS KÖZLEKEDÉSI RENDSZEREK ÉS A VASÚTI KÖZLEKEDÉS KAPCSOLATA

„Az intelligens közlekedési rendszereknek a közúti közlekedés területén történő kiépítésére, valamint a más közlekedési módokhoz való kapcsolódására vonatkozó keretről” címmel 2010-ben jelent meg az az irányelv, amely főképp a közúti közlekedéssel kapcsolatos. A közlekedési módok együttműködése kapcsán gondolhatunk vasúti vonatkozásokra is. [111]

Ezen az európai iránymutatáson alapul a 2013-as októberi Nemzeti Közlekedési Stratégia, melynek részeként szerepel a közösségi közlekedés, azon belül is maga a vasúti infrastruktúra üzemeltetése és a vasúti árfuvarozás, valamint a személyszállítás. [112]

Az előzőekben egy új fogalom jelenik meg, amely az intelligens közlekedési rendszerek. Az infokommunikációs technológiák használata útján a különféle közlekedési struktúrák integrált működésének kifejlesztését célozzák meg. Az ITS rendszerek főbb célkitűzései a minél **környezetbarátabb** közlekedési módok, a megfelelő **hatékonyságú** közlekedés megvalósítása és a közlekedés**biztonság** kiterjesztése. [113]

Az Európai Unión belül Magyarország számottevő vasúti infrastruktúrával rendelkezik. Ezen infrastruktúra jelentősége nem elhanyagolható a személy és teherszállítás területén. Az intelligens közlekedési rendszerek kialakításában nagy szerepet vállaló vasúti iparág nem csak, hogy történelmi, hadászati és gazdasági értéket képvisel az ország számára, hanem egy fenntartható **mérsékelt károsanyag-kibocsátású** nagy kapacitású, **biztonságos** közlekedési módot is jelent. A vasúti közlekedés károsanyag-kibocsátása jelentősen kisebb, a többi közlekedési módhoz képest. Ezért is lehet a vasúti közlekedés jelentősége meghatározó a magyarországi viszonyok között. [114]

Megállapítható, hogy bár szükségesnek ítélik a vasúti infrastruktúra ITS-be való bevonását, ezt nem igen teszik meg – talán sajtóságos helyzete miatt. Mindazonáltal explicite<sup>41</sup> helye van a vasútnak az intelligens közlekedési rendszerben. Az igazsághoz hozzátartozik, hogy az Európai Parlament a vasút szempontjából az ERTMS-t helyezi középpontba, ha az intelligens közlekedési rendszerekről van szó. [115] [116]

A közlekedési rendszerek egymásra hatása nyilvánvaló, ha csak a vasúti kontra autóbuszos személyszállítást vagy akár vasúti és közúti teherszállítás esetét említjük csak. Ilyen a kooperatív közlekedési rendszerek létrehozása is ETSI<sup>42</sup>szerint [117].

---

<sup>41</sup> Egyértelmű

<sup>42</sup> European Telecommunications Standards Institute

## 2.3. AZ INTELLIGENS RENDSZEREK ÉS A KRITIKUSINFRASTRUKTÚRÁK VÉDELME NEK KAPCSOLATA

Alapvető feltevés, hogy ha egy kritikus infrastruktúrát képező rendszert intelligens elemekkel egészítünk ki vagy építünk fel, akkor annak rugalmasságából és egyéb ebben a fejezetben bemutatott tulajdonságaiból (lásd.: A kritikus infrastruktúra elemek rugalmasságát meghatározó összetevők és változók táblázata és azok általános ábrázolása.) adódóan megfelelő önvédelmi mechanizmusokkal rendelkező rendszert hozhatunk létre, ami pedig a kritikus infrastruktúra védelmét támogatja és segíti elő. (Azaz a kritikus infrastruktúra védelem egyik módja lehet az infrastruktúra és a hozzáadott intelligens elemekkel való intelligens infrastruktúra létrehozása.) Az intelligens rendszerek meghatározó funkciója az önvédelem és az adaptáció. Egy rendszer akkor adaptív, ha rugalmasan képes viselkedni az őt érő hatások kapcsán és a hatások ellenére működése eredeti céljainak megfelelően alakul (lásd.: A kritikus infrastruktúra rugalmassági ciklusa.)

*Hogyan értelmezhető a rugalmasság fogalma?*

Az UKCIP<sup>43</sup> szerint egy nemzet akkor rugalmas, ha „fenntartható módon kezeli az erőforrásokat, megbízható infrastruktúrát üzemeltet, ami a természet és az ember által okozott fenyegetések leküzdésének képességét biztosítja a polgárok számára.”[118]

Jovanović A. szerint a modern társadalmak rugalmassága, ellenállóképessége a kritikus infrastruktúrájuk ellenálló képességétől függ. [119] Ugyancsak Jovanović A. fogalmaz úgy, hogy az infrastruktúra rugalmasságának vagy ellenálló képességének jelentése – beleértve akár a működés folyamán megjelenő lehetséges káros események előrejelzésének lehetőségét is – az, hogy az infrastruktúra működésének vagy egyes funkcionalitásának megzavarására, lehetetlenné tételére való felkészülés, hatásai elleni ellenállás, az okozott kár helyreállítása, illetve a zavarokhoz való működésben való alkalmazkodást foglalja magába. [119]

Az európai „SmartResilience: Indicators for Smart Critical Infrastructures” projekt keretében meghatározásra kerültek azok az indikátorok, amelyek legfőképpen jellemzik a rugalmas okos infrastruktúrát. [120] [121] [122] Ilyen például a rugalmassági mátrixban meghatározottak is. [123] Kutatásaim szerint nem csak a rugalmasság, ellenálló képesség<sup>44</sup> jellemezheti a rendszer működését.

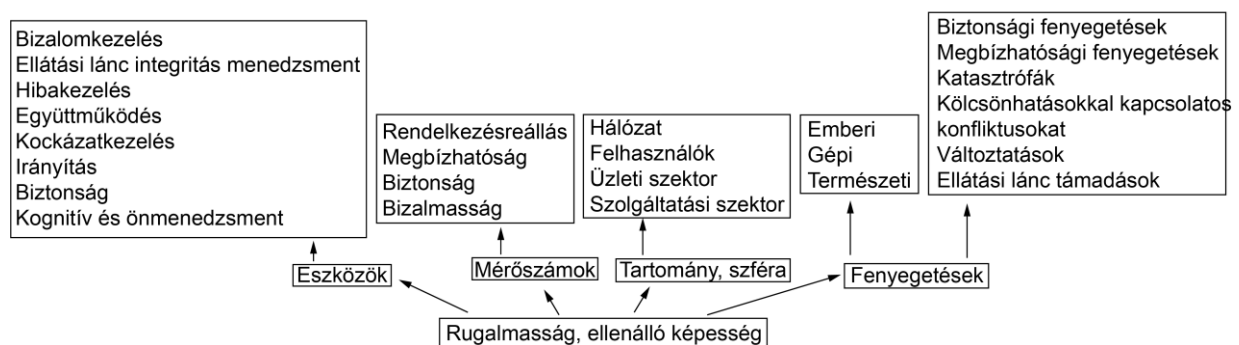
*Mi az antifragilitás?* „A törékeny (fragile) fogalom ellentéte nem a robusztus (robustus), hanem az antifragilis (antifragile), magyarázza Taleb.” [124] „Antifragilis, aki még profitál is az őt érő negatív hatásokból.” [125] Rugalmasságot megközelíthetjük abból a szempontból is,

---

<sup>43</sup> UK Climate Impacts Programme

<sup>44</sup> Resilience

mellyel a természetes összetett rendszerek a kockázatot és a bizonytalanságot kezelik ezzel megteremtve egy természetes ellenállóképességet, rugalmasságot. Az ellenállóképesség, a rugalmasság megértésével és fejlesztésével a kockázat és bizonytalanság csökkentésével foglalkozom rendszertervezés területén. A természetben több példát találunk antifragilis (anti-törékeny) rendszerekre<sup>45</sup>, amelyek képesek alkalmazkodni a kezdetektől nem azonosított fenyegetésekhez. Vagyis az ökoszisztémában egy aktív, reagálni képes résztvevőként működnek. Az élő rendszerek differenciáltak és elosztottak. Amennyiben az infrastruktúra rendszerek konstrukciójakor betervezzük a természeti rendszerekhez hasonlatos működést, akkor feltételezhetően a különféle fenyegetések esetén biztosítható a rendszer megfelelő rugalmassága a fenyegetésekkel szemben. Példának okáért egy olyan közlekedési rendszer, ahol több alternatív útvonal áll rendelkezésre két csomópont összekapcsolására, és ezek az útvonalak egymástól függetlenül kezelhetők, szintén egy bizonyos mértékű rugalmasságot ad a rendszernek a működése során. [126] Egy rendszer rugalmasságát, ellenálló képességének mértékét a rendszer rendelkezésre állásának, megbízhatóságának, biztonságának, bizalmasságának, integritásának és karbantarthatóságának kombinációja fejezi ki. [127]



2.3.1. ábra. Magasszintű áttekintése a rugalmasság ontológiának<sup>46</sup> [127]

A komplex mérnöki rendszerek kapcsán a University of Sheffield kutatói a következő területeket sorolják a komplex mérnöki rendszerek tervezéséhez: A berendezések meghibásodásának és következményének előrejelzése a kritikus infrastruktúra rendszerekben. Továbbá, a kockázati regiszter kidolgozása heurisztikus adatok alapján, amellyel a szisztematikus ellenállóképesség fejleszthető. Valamint az egymástól függő rendszerek rugalmasságának javítása a komplex rendszerek bonyolultsága és fragilitása (törékenysége) közötti összefüggések feltérképezése stb. [128]

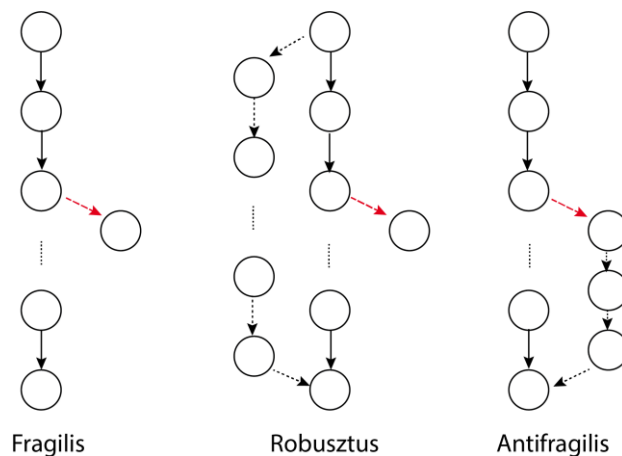
*Mi a rugalmasság, a robusztusság és az antifragilitás közötti különbségek műszaki rendszerek esetében?*

<sup>45</sup> Anti-fragile systems

<sup>46</sup> Ontológia: a felfogás, értelem leírása azaz a fogalmak leírása, felsorolása egy adott fogalmi modellhez.

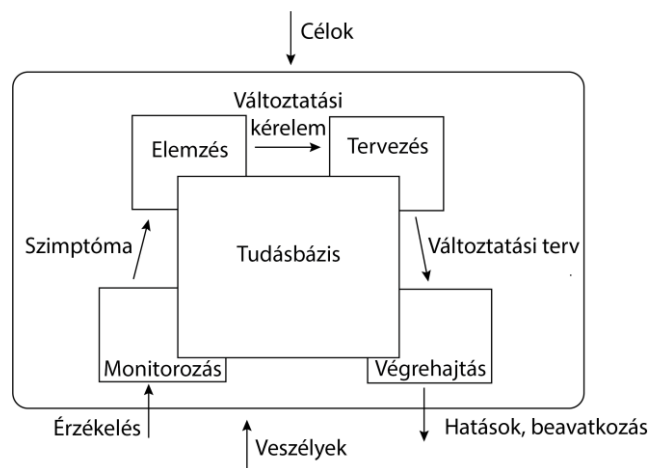
Azokat a rendszereket, amelyek külső veszélyek (vagy stresszhatások) hatására viselkedésük során romlanak, törékeny rendszereknek nevezzük. A robusztus rendszerek bizonyos veszélyekkel szembeni toleranciát mutatnak egy előre meghatározott szintre koncentráltan, és a teljesítményükben nem változnak erre vonatkozólag. Ha a veszély nagysága meghaladja ezt a szintet, a rendszer teljesítménye gyorsan romlik.

A robusztus rendszer példája egy olyan épület, amelyet úgy terveztek, hogy ellenálljon egy adott nagyságrendű földrengésnek. A rugalmas rendszereket a veszélyek befolyásolják, de zavaró esemény hatásának a kimaradás után visszatérnek a normál teljesítményhez. (lásd.: IBM antifragilis intelligens rendszer)



2.3.2. ábra. Műveletek sorozata a különféle intelligens rendszer modellek [129]

A robusztus és rugalmas rendszereket széles körben tanulmányozták annak érdekében, hogy az intelligens rendszerek megbirkózzanak a veszélyekkel, ilyen rendszerekben azonban a teljesítmény a legjobb esetben megtartja eredeti viselkedését. [130]



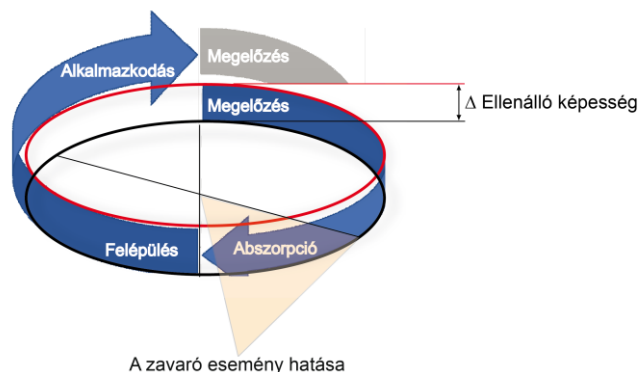
2.3.3. ábra. Rendszer modell: az IBM antifragilis intelligens rendszert MAPE-K<sup>47</sup> architektúrája [129] [131]

Az antifragilis intelligens rendszert és annak tervezését az IBM által kifejlesztett rendszer modell automatikus számítási architektúráis felépítése látható a 2.3.3. ábrán. [129] [131] Ez az

<sup>47</sup> Monitor, Analyse, Planning and Execution - Knowledge



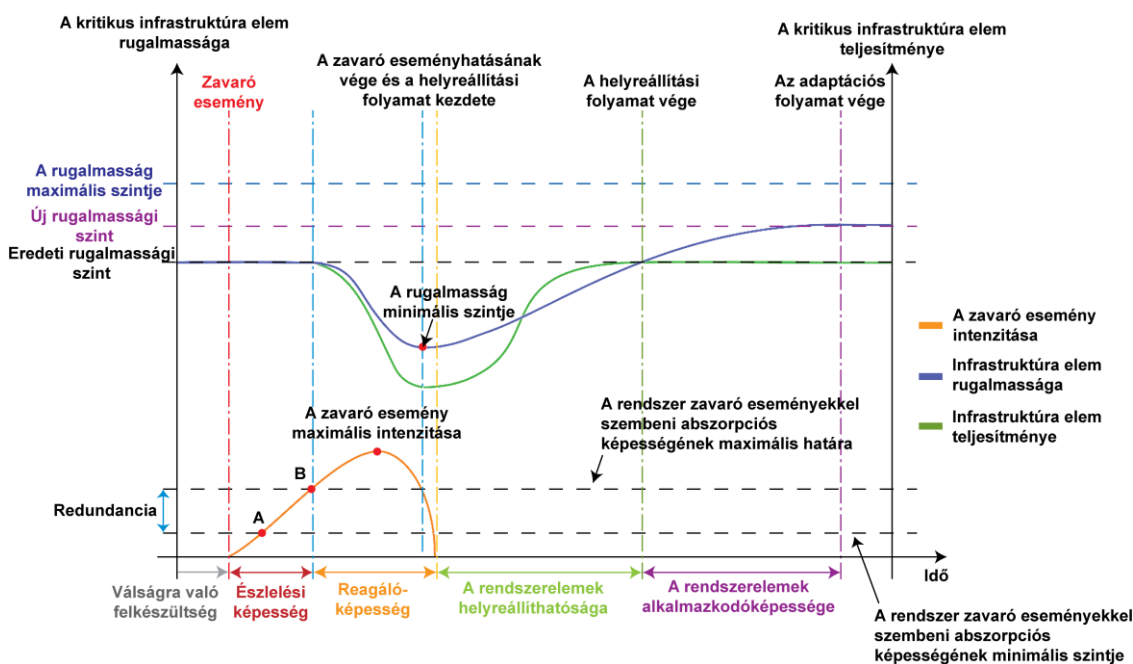
architektúra önkonfigurációra, öngyógyításra, önoptimalizálásra, önvédelemre is alkalmas. Az automata rendszer monitorozza és a gyűjtött adatok alapján szimptómát állít fel, amelyet elemez, majd létrehoz egy változtatási kérelmet a tervezéshez és a tudásbázis alapján egy változtatási tervet készít, majd azt végrehajtja. Így az érzékelt veszélyek hatását működésére vonatkozóan csökkenti. Amennyiben egy ilyen struktúrát alkalmazunk a kritikus infrastruktúra rendszerek elemeinek létrehozáshoz, akkor a bemutatott várható működést tapasztalhatjuk.



2.3.4. ábra. A kritikus infrastruktúra rugalmassági ciklusa [132]

Technikai (műszaki) és fizikai rugalmasság		Szervezeti ellenálló képesség
A rendszerelemek robusztussága:	A rendszerelemek helyreállíthatósága:	Alkalmazkodóképesség:
válságra való felkészültség	anyagi erőforrások	kockázatkezelés
redundancia	pénzügyi források	innovációs folyamatok
észlelési képesség	emberi erőforrások	oktatási és fejlesztési folyamatok
reagálóképesség	helyreállítási folyamatok	
fizikai ellenállás		

2.3.1. táblázat. A kritikus infrastruktúra elemek rugalmasságát meghatározó összetevők és változók. Műszaki és szervezeti aspektusból. [132]



2.3.5. ábra. A műszaki rugalmasságot meghatározó összetevők és változók általános ábrázolása [132]

Tehát a biztonság növelésének eszköze az intelligens infrastruktúra. Az intelligens infrastruktúra fogalma még nem kiforrott dolog a műszaki terminológiában. Keverednek az értelmezések 'okos'<sup>48</sup> illetve 'intelligens' fogalmak tekintetében is. Úgy fogalmazhatjuk meg, hogy mi is az az intelligens infrastruktúra, hogy egy olyan integrált rendszer, amely a teljes városi és városok közötti hagyományos infrastruktúrát magában foglalja és azokról (érzékelők útján) adatokat gyűjt, és az adatok kiértékelésével segíti az üzemben tartás hatékonyságát, biztonságát. Optimalizálja és fenntartja a város működését, segíti a környezetvédelmi törekvéseket. Ez a rendszer a gyűjtött adatok alapján képes arra, hogy a balesetek megelőzésében segítséget nyújtson az ember számára. Ez a tulajdonság a rendszerben lévő hibák időelőtti feltárásával valósulhat meg, amely a rendszerről gyűjtött és elemzett Big Data<sup>49</sup> kiértékelésén alapszik. Illetve a rendszerben rejlő 'tanulóképesség' folytán felismerhet olyan sémákat, amelyek a rendellenes működés felé vezetnek. Az intelligens infrastruktúra alapja az okos városnak. Az intelligens infrastruktúra nem csak a települések belsejére korlátozódik. Ez a rendszer kapcsolja össze a különböző okos városokat is. A Siemens mérnökei úgy képzelik el az intelligens infrastruktúrát, mint a vezetónélküli vasút, a teljesen automatizált épületek és az okos energiahálózatok összességét. Értve ez alatt az okos városokban megtalálható intelligens közlekedési rendszereket, intelligens épületeket és intelligens infrastrukturális hálózatokat. Ennél magasabb fokú intelligenciával bíró rendszert is említene. Ez már a teljesen integrált intelligens infrastruktúra, amely már integrált valós idejű optimalizálásra és esemény menedzsmentre is képes valamennyi infrastruktúrát érintően. [133]

Cambridge-ben némiképpen másképp képzelik el a smart infrastruktúrának nevezett rendszert: IoT<sup>50</sup> és a Big Data, az Épületinformációs Modellezés (Building Information Modellig), a beágyazott érzékelő hálózattokat és a magas minőségű gyártási technológia (HVM<sup>51</sup>) összességéről mondják mindezt. Okos város, okos energiahálózatok, intelligens közlekedési rendszerek eddig a felsorolásban lévő elemeket különálló, egyedi megoldásoknak gondoltuk. Ha fel is merült az, hogy az okos városban integrált módon működjenek az egyes infrastrukturális elemek az sem volt teljes mértékben formalizált együttműködési megoldás. Az intelligens infrastruktúra fogalmának bevetésével viszont ez a probléma megoldódik. Az intelligens infrastruktúra létrehozásához a környezetünkbe telepített érzékelő hálózatok, a rendszerek közötti kommunikáció, a különböző rendszerstruktúrák aktív együttműködése során jöhet létre. A rendszerben rejlő lehetőségek maximális kiaknázása a gyűjtött adatok elemzése segítségével és az világunkat leíró tudásreprezentációs módszerek alkalmazásával a műszaki

---

<sup>48</sup> smart

<sup>49</sup> nagy adat

<sup>50</sup> dolgok, tárgyak internete

<sup>51</sup> High Value Manufacturing

rendszer biztonsága tovább növelhető azáltal, hogy az emberi faktor szerepét csökkentjük. A világon és a vasúti környezetben is számos lehetőség adódik a rendszerbiztonság növelésére a különféle technológiák (Big Data, ágensek, szakértői rendszerek, ontológiák<sup>52</sup>, mesterséges intelligencia) integrált alkalmazásával.

Az okos infrastruktúra meghatározása: az okos rendszer olyan visszacsatolási ciklust használ, amely bizonyítékot szolgáltat a megalapozott döntéshozatalhoz. A rendszer figyel, mér, elemzi, kommunikál és cselekszik az érzékelők útján szerzett információk alapján. Segíti az emberi szereplőt a döntések meghozatalában. Ilyenek a forgalmi rendszerek, amelyek észlelik a torlódásokat és a járművezetőket tájékoztatja. [134]

## 2.4. A VASÚTI KRITIKUS INFRASTRUKTÚRA

A vizsgált hálózat kulcstulajdonságai: 2019-ben közzétett vasúti infrastruktúrával kapcsolatos adatok a Pályavasúti Üzletág weboldalán található. A magyar vasúti vonalhálózatban 4259 km fővonal, 3037 km mellékvonal, (ebből 2633 km villamosított), és 1180 km hosszúságú kétvágányú pálya van. Az összes vonalhossz 7297 km. A vonalhálózaton található 597 személyzettel ellátott állomás és 665 megállóhely és megálló-rakodóhely. Összességében ugyanakkor 1561 db szolgálati hely található az országban az üzemeltetett, a személyszállítást ideiglenesen szüneteltetett és sajátcélú vasúti pályák mentén. Továbbá 5838 db szintbeli útátjáró, melyből 3196 db biztosítatlan. [135]

A gépesítés, az automatizáció életünk minden apró pillanatát érinti. Ezért a kényelmes és biztonságos életért hatalmas árat kell fizetnünk. A technológiai függőségünkéből adódóan kiszolgáltatottak vagyunk. Már pár órányi áramkimaradás, egy-egy közlekedési dugó is jelentősen megzavarhatja életünket. *Gondoljunk csak bele például, milyen hatással volna, ha a vasúti személy és áruszállítás napokig megállna, vagy a járatok jelentősen késnének?* A „kritikus közlekedési infrastruktúrát befolyásoló főbb veszélyek” ábra a kritikus közlekedési infrastruktúrát befolyásoló főbb tényezőket szemlélteti.

Szükséges tehát az egyes életünket nagymértékben meghatározó infrastruktúrális rendszerek megóvása. A városi infrastruktúrák, vagy éppen a közlekedési infrastruktúrák védelme is idetartozik.

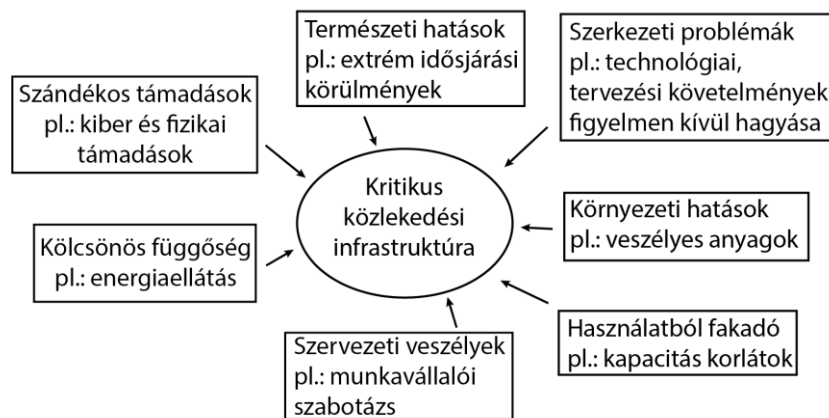
Az Európai Unió kritikus infrastruktúrákat érintő Zöld Könyve<sup>53</sup> jó kiindulási alap a témában végzett kutatásokhoz. Emellett érdemes áttanulmányozni az egyik hazai viszonyok között jelentős tanulmányt „A kritikus információs infrastruktúrák meghatározásának módszertana”

---

<sup>52</sup> Pl.: Siemens Ontology-based Data Access System [202]

<sup>53</sup> EPCIP, Green Book

címmel. Az információs infrastruktúrák a legfőbb alapját képezik társadalmunknak és a civilizációs vívmányok működéséhez elengedhetetlenek. [136]



2.4.1. ábra. A kritikus közlekedési infrastruktúrát befolyásoló főbb veszélyek [137]

A Zöld Könyv az első jelentős Uniós dokumentum, amely lényeges definíciókat fogalmaz meg, mint például: *Mi is az a kritikus infrastruktúra?* A kritikus infrastruktúra jelentése a régebbi, ámde igen átfogó megfogalmazás szerint a következő: „Kritikus infrastruktúrák alatt olyan, egymással összekapcsolódó, interaktív és egymástól kölcsönös függésben lévő infrastruktúra elemek, létesítmények, szolgáltatások, rendszerek és folyamatok hálózatát értjük, amelyek az ország (lakosság, gazdaság és kormányzat) működése szempontjából létfontosságúak és érdemi szerepük van egy társadalmilag elvárt minimális szintű jogbiztonság, közbiztonság, nemzetbiztonság, gazdasági működőképesség, közegészségügyi és környezeti állapot fenntartásában. Kritikus infrastruktúrának minősülnek azon hálózatok, erőforrások, szolgáltatások, termékek, fizikai vagy információtechnológiai rendszerek, berendezések, eszközök és azok alkotó részei, melyek működésének meghibásodása, megzavarása, kiesése vagy megsemmisítése, közvetlenül vagy közvetetten, átmenetileg vagy hosszútávon súlyos hatást gyakorolhat az állampolgárok gazdasági, szociális jóllétére<sup>54</sup>, a közegészségre, közbiztonságra, a nemzetbiztonságra, a nemzetgazdaság és a kormányzat működésére.” [138]

*Hány és milyen szektora van a kritikus infrastruktúránk?*

A kutatás szempontjából jelentős elemeket tárgyalom a kritikus infrastruktúra tizenegy darab fő szektorából. A két kiemelt az „Információs és kommunikációs technológiák” és a „Szállítás” szektora. A szállításon belül is a 30. alcsoporttal – a „Vasúti szállítással” – foglalkozom. A Zöld Könyv által általánosan megfogalmazott irányokat a tagországok saját adottságaik alapján formálják át, adaptálják saját viszonyaikra nézve. Ezért Magyarországon a 2012. évi CLXVI. törvény<sup>55</sup> 10 fő ágazatot nevez meg kritikus infrastruktúrának, melyből a II. fő ágazat a

<sup>54</sup> Well-being, Human Development Index: születéskor várható élettartam, oktatási index, GDP index. Az automatizálás hatása a GDP-re lásd.: [281].

<sup>55</sup> A létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről szól törvény.

„Közlekedés” és a VII. az „Infokommunikációs technológiák”. A közlekedésen belül található 2. alágazat a „Vasúti közlekedés”. Az „1. § f) pontja szerint a létfontosságú rendszerelem: a törvény 1-3. mellékletében meghatározott ágazatok valamelyikébe tartozó **eszköz, létesítmény vagy rendszer olyan rendszerleme**, amely elengedhetetlen a létfontosságú társadalmi feladatok ellátásához - így különösen az egészségügyhöz, a lakosság személy- és vagyonbiztonságához, a gazdasági és szociális közszolgáltatások biztosításához -, és amelynek kiesése e feladatok folyamatos ellátásának hiánya miatt jelentős következményekkel járna. A g) nemzeti létfontosságú rendszerelem: e törvény alapján kijelölt olyan létfontosságú rendszerelem, amelynek kiesése a létfontosságú társadalmi feladatok folyamatos ellátásának hiánya miatt jelentős hatása lenne Magyarországon.” [139] A „Közlekedés” az 1-es számú melléklet része, az „Infokommunikációs technológiák” pedig a 3-as számú mellékleté. A mellékletek hatályba lépésének ideje időben differenciáltan történtek meg az utolsó 2014. január 1-jével lépett hatályba. A törvény a rendszerlemek védelmével kapcsolatban is tesz megállapításokat. Az „1. § e) pontja a létfontosságú rendszerelem védelméről tájékoztat: a létfontosságú rendszerelem funkciójának, folyamatos működésének és sértetlenségének biztosítását célzó, a fenyegetettség, a kockázat, a sebezhetőség enyhítésére vagy semlegesítésére irányuló valamennyi tevékenység.” [139] Ebből következik, hogy a vasúti infrastruktúra része a kritikus infrastruktúrának, ezért megfelelő működésének fenntartása létfontosságú a társadalom egészére nézve. Védelmét elő kell segítenünk, mivel számos veszélyforrással számolhatunk működőképességének fenntartása során.

Társadalmunk alapját adó információs rendszerek között is találunk kiemelten fontos elemeket. Ezek a létfontosságú információs rendszerek és létesítmények. Meghatározásuk a következő: „Létfontosságú információs rendszer és létesítmény: a társadalom olyan hálózatszerű, fizikai vagy virtuális rendszerei, eszközei és módszerei, amelyek az információ folyamatos biztosítása és az informatikai feltételek üzemfolytonosságának szükségességéből adódóan önmagukban létfontosságú rendszerlemek, vagy más azonosított létfontosságú rendszerlemek működéséhez nélkülözhetetlenek.” [140]

Az európai vasúti infrastruktúrát tekintve hat kritérium vizsgálatát kell elvégezni a kritikus infrastruktúra elemek beazonosítása kapcsán. Vizsgálni kell a rendszer, szolgáltatás zavarának társadalmi hatásait, vagyis, hogy számszerűen mekkora az érintett lakosság. Foglalkozni kell a gazdasági következményekkel és meg kell határozni a közvetlen és közvetett károk mértékét. Fel kell tárnunk, hogy van-e valamilyen környezeti hatása az adott eseménynek. Jelentős szempont még a politikai hatás, ami lényegében az állami apparátus működőképességének, megbomlásának eshetőségét és a stratégiaiilag fontos közszolgáltatások működésében való zavarok lehetőségét jelenti. Számba kell venni az esemény bekövetkezése során fennálló

emberi sérülések, illetve áldozatok számszerűsített lehetőségét is. Mindezek értékelése kevés, mivel a mai viszonyok között az infrastruktúrák egymásra hatása és függőségei különösen fontos tényezővé váltak. Vasúti példát hozva, a szállítási tevékenység elvégzéséhez szükség van az energiaellátás zavartalanságának biztosítására is. Ugyanakkor lehet a vasút is hatással az energiaszektorra, gondoljunk csak a továbbított kőolaj vagy cseppfolyósított földgáz szállítmányokra. [141] A vasúti piac liberalizációját követően a vasúti infrastruktúra használatát egyre több szereplő igényli.

A kritikuság meghatározásának nemzeti szintje: a vasúti infrastruktúrát tekintve a rendeletalkotó a kritikus elemek beazonosítására országos szinten öt kritériumot fogalmazott meg.



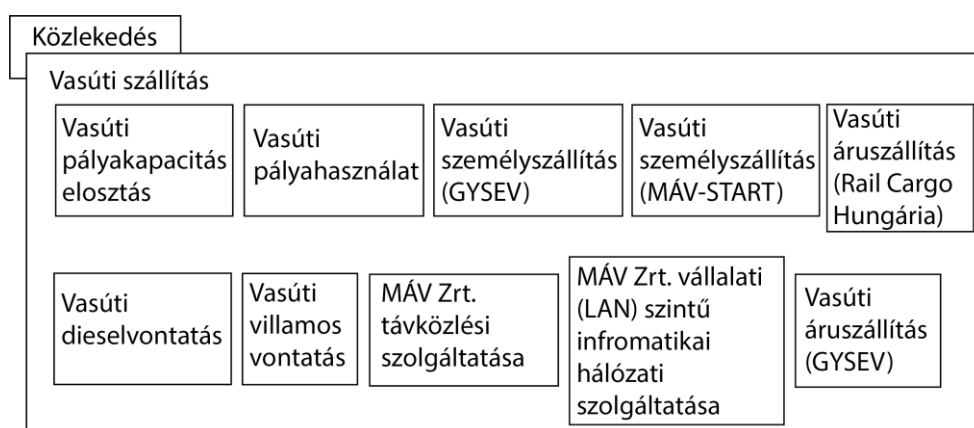
2.4.2. ábra. A kritikus infrastruktúra elemek védelmének menedzsmentje [132]

A vasútvonalakkal kapcsolatosan a 168/2010. (V. 11.) Korm. rendelet által meghatározott hálózati szerepét, a sérülés utáni helyreállítási időt (30 nap), a kiesés esetén való helyettesíthetőséget, illetve az ezzel együtt járó többletjeljesítmény igényét és az esemény közbiztonságra gyakorolt hatásának kritériumait veszik figyelembe. Ezen kritériumokat befolyásoló tényezők társadalmi, gazdasági, környezeti, politikai, közegészségügyi és interdependens hatásokkal is rendelkeznek. Az európai és nemzeti szempontból kritikus vasúti infrastruktúrákat tekintve, nem csak az egyes transzeurópai vasútvonalak számítanak sebezhető pontnak, hanem azok összes berendezése is (pl: vasúti pálya, vasúti híd, biztosítóberendezés, távközlő hálózat, erősáramú ellátottság stb.). Egy hálózat kitettséget azon elemének sebezhetősége határozza meg, amely a rendszer védelemének szempontjából leggyengébb elemnek számít, ez befolyással bír a hálózat komplex kritikusságára. [141]

A vasúti közlekedés alapvető célja a személyek és áruk „A” pontból „B” pontba való minél gyorsabb eljuttatása épségben és biztonságban. A kritikus infrastruktúrák védelmének szempontjából az említett célok bármilyen fokú és módú megsértése számítanak veszélyforrásnak a vasúti közlekedésben. Összetevői többféleképpen csoportosíthatók pl.: műszaki, emberi eredetű, vagy komplex típusú veszélyek. Tipikus eset egy műszaki problémára pl.: a sínpálya hiba. Emberi eredetű veszély mondjuk a terrorista támadás veszélye pl.: egy csomóponti vasúti híd megsemmisítése. Egy komplex veszélyforrást lehet pedig egy emberi rásegítéses műszaki problémával párosult természeti esemény pl: egy hegyoldalon az emberi tevékenységből fakadóan kitermelik a fát, nagy esőzések idején a föld megcsúszik és ráfolyik

a vasúti infrastruktúrára, ami megakadályozza a közlekedést. A 2.4.3. ábrán a vasúti szállításon belüli olyan résztvevőket látjuk, amelyek működése nélkül a vasúti közlekedés fenntarthatóság jelentősen sérülne. Az alábbi elemeket azonosítottam vizsgálataim alapján:

- Vasúti pályakapacitás elosztás jelenti a MÁV Zrt. által üzemeltetett vasúti infrastruktúrához való független hozzáférés biztosítását a VPE Kft.-n keresztül.
- A vasúti pályahasználat a használhatóság fenntartását, a karbantartást, üzemzavar elhárítását végző MÁV leányvállalatok jelentőségét emeli ki.
- A vasúti dieselvontatás aránya csökken, viszont a villamos vontatás zavara esetén megfelelő feltételek teljesülése mellett alternatívaként számolhatunk vele.
- A vasúti villamos vontatás jelenősége nő a vasútüzemben. A villamos energiaellátás zavara esetén nem csak maga az effektív szállítási tevékenység zavartatásáról van szó. A biztosító- és távközlő berendezések, a váltófűtés működésének megszűnésével is számolnunk kell.
- A MÁV Zrt. távközlési szolgáltatása és a MÁV Zrt. informatikai hálózata a szervezeten belüli kommunikáció és adatforgalom biztosítását hivatott megvalósítani. A kommunikáció lényeges eleme a vasúti közlekedés biztosításának (engedélykérések, értekezések stb.). A kiépített optikai hálózatot szerződés alapján közcélú szolgáltató is igénybe veszi.
- A vasúti személy- és áruszállítás három meghatározó eleme a MÁV START Zrt. a GYSEV Zrt. és a Rail CARGO Hungária Zrt., melyek mellett számos másik kis cég végez áru fuvarozást. A veszélyes áruk szállítása különösen kritikus momentum a szállítási tevékenységek sorában.



2.4.3. ábra. A közlekedési szektor vasúti szállítás szempontjából meghatározó elemei (saját szerkesztés)

A befolyásoló tényezők társadalmi, közegészségügyi, politikai, gazdasági, környezeti és interdependens hatásainak szem előtt tartása mellett, a kritikus infrastruktúráként való beazonosítás jár egy bizonyos kötelezettséggel, amely anyagi és erkölcsi szinten is jelentős. A

beazonosításuk megfelelő kivizsgálás eredménye. Hangsúlyoznunk kell, hogy nem csak az egyes transzeurópai vasútvonalak számítanak sebezhető pontnak. Értelmszerűen az összes már meghatározott létesítmény, minden működés szempontjából fontos alkotórésze is létfontosságú elem lehet (pl.: vasúti pálya, vasúti híd, biztosítóberendezés, távközlő hálózat, erőáramú ellátottság stb.). Egy hálózat sebezhetősége azonban annak leggyengébb elemétől függ és kihatással bír a hálózat komplex kritikusságára. Az említett kritériumrendszer alapján a MÁV Zrt. Biztonsági Igazgatóság szervezete beazonosította a vasúti közlekedéssel összefüggő kritikus infrastruktúrákat. A vasúti pályával kapcsolatosan a 2.4.1. táblázat felsorolt infrastruktúra elemeket jelenti. [141]

Nemzetközi korridor szintű kritikus infrastruktúra	Kritikus csomópontok
IV. korridor Hegyeshalom/Rajka Budapest vonal	Záhony átrakó körzet
IV. korridor Ferencváros Duna-híd	Budapesti fejpályaudvarok
IV. korridor Budapest – Szolnok-Lökösháza vonal	Üzemirányító Központ
IV. korridor Szolnoki Tisza híd	Budapesti körvasút fontosabb állomásai
V. korridor Bajánsenye - Zalalövő - Boba - Székesfehérvár - Budapest vonal	Ferencváros állomás
V. korridor Budapest - Miskolc - Nyíregyháza - Záhony vonal	<b>Egyéb</b>
5/B korridor Budapest - Dombóvár - Gyékényes vonal	(Pusztaszabolcs) - Dunaujváros - Mezőfalva - Paks vonal
5/B korridor Dombóvár - Pécs - Magyarbóly vonal	
X/C. korridor Budapest - Kelebia vonal	

2.4.1. táblázat. A magyarországi vasúti pálya kritikus pontjai [141]

## 2.5. A VASÚTI KÖZLEKEDÉSI RENDSZER EURÓPAI FEJLESZTÉSI IRÁNYAI - DIGITALIZÁCIÓ

Az európai fejlesztések fő motivációja a teljes vasúti átjárhatóság európai szinten való megvalósítása. Ehhez kapcsolódóan az Európai Vasúti Ügynökség javaslata szerint és a kapcsolódó Európai Unió előírások és átjárhatósági műszaki előírások<sup>56</sup> (ÁME) kidolgozása során **strukturális és funkcionális** területekre bontották a vasúti rendszert. [142] *Melyek ezek a területek?* **Strukturális**<sup>57</sup> területek közé sorolják az infrastruktúrát, az energia alrendszert, a pályamenti ellenőrző-irányító és jelző alrendszert, a fedélzeti ellenőrző-irányító és jelző alrendszert, a gördülő állományt. **Infrastruktúrába** (INF) sorolják a vasúti pályát, kitérőszerkezeteket, műtárgyakat, állomási infrastruktúrát, azaz a peronokat, állomási és kiszolgáló létesítményeket. Az **energia** (ENE) alrendszert a villamos alállomások,

<sup>56</sup> Technical Specifications for Interoperability

<sup>57</sup> Felépítéssel kapcsolatos



felsővezetéki berendezések és a hozzájuk kapcsolódó egyéb berendezések építik fel. A **pályamenti ellenőrző-irányító és jelző alrendszer** tartalmazza a gördülő állomány biztonságos közlekedéséhez, mozgásának érzékeléséhez, irányításához, védelméhez szükséges összes eszközt, berendezést. A **fedélzeti ellenőrző-irányító és jelző alrendszer**hez tartozik a járművek fedélzetén megtalálható olyan eszközök, amelyek a járművek biztonságos mozgásával kapcsolatba hozhatók. A **járművek** (WAG, LOC, PAS) vagy gördülőállományi alrendszer tartalmazza a vonatjárműveket, vagonokat és azok szerkezeti elemeit, áramszedők, forgóvázat, karosszériát stb. **Funkcionális**<sup>58</sup> **területek közé** tartozik a **forgalomüzemeltetés és -irányítás** (OPE) normál és rendkívüli üzemi helyzetben történő fogalomirányítás, forgalom szervezés, forgalom tervezés, vonatfelvétel és összeállítás, határátmeneti forgalom szervezése. **Karbantartási** alrendszer a vasúti rendszer teljesítményét hosszútávon garantáló megelőző karbantartásokat, javításokat, főjavításokat strukturáló és karbantartási készletet nyilvántartó, valamint a logisztikai folyamatokat irányító és segítő rendszer. A **telematikai alkalmazások** alrendszere a személyszállítási és áruszállítási tevékenységhez kapcsolódó informatikai rendszerek szolgáltatásait tartalmazza, többek között az utazással kapcsolatos információkat, helyfoglalási és jegyrendszerek, csatlakozások más közlekedési módokhoz vagy éppen a fuvarszervezéssel kapcsolatos tevékenységeket támogatja, valósítja meg. [142]

A gazdaság és a társadalom digitális átalakulása hatást gyakorol az európai közlekedési rendszer és ezáltal az európai vasúti rendszerre is. Ez a hatás észrevehető a strukturális és funkcionális területek fejlesztési irányainak megfigyelése, elemzése alkalmával. A közlekedési szolgáltatások piacán piacvezető Németország a digitalizációban rejlő lehetőségeket első helyen ismerte fel. Így például új jármű és járműrendszerek kialakítását támogatja és az összekapcsolt, automatizált járművek elterjesztését szorgalmazza. Vasúti területen is egyre inkább az automatizált rendszerek létrehozása a cél, a különféle informatikai és automatikai rendszerek integrálásával, összekapcsolásával. Az automatizált rendszerekben generálódó adatmennyiségek sosem látott ütemben növekednek. Ezek az adatok olyan információkhoz juttatnak bennünket, amellyel könnyebben és gazdaságosabban tudjuk üzemeltetni a vasúti rendszert. Németországban tizenkét pontos akcióprogram született a 2025-ig megvalósítandó digitalizációra, amelyből egy programpontra a mobilitás digitálizálása. [143]

A **digitalizáció** hatással van a **közlekedési rendszerrel** kapcsolatos szabályrendszer átalakulására is. A fejlődés ösztönzésére, az európai digitalizációs törekvések segítségével az egységes digitalizációs szakpolitika kialakítására nyílt technológia-semleges iránymutatások

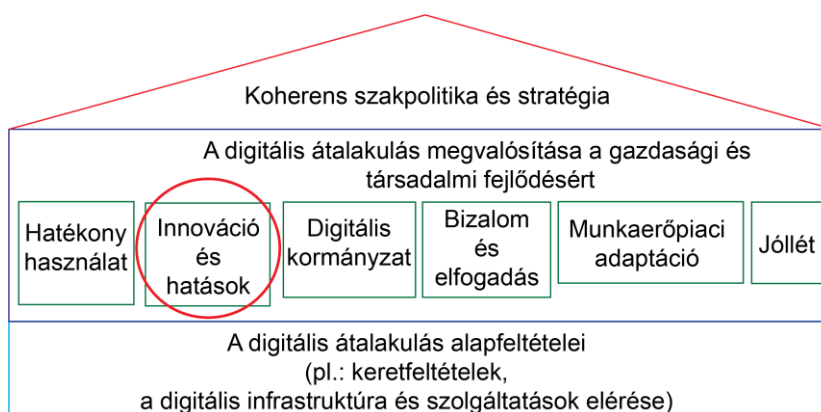
---

<sup>58</sup> Működéssel kapcsolatos

létrehozására van szükség. Ennek érdekében a közlekedési technológiai innovációk tapasztalatai alapján a kapcsolódó európai szabványok kidolgozása zajlik. [143]

„A **digitális átalakulás** integrált szakpolitikai és stratégiai keretrendszere a gazdasági növekedésért és a jólétért” című ábrán láthatók azok a kulcselemek, amelyek a digitális átalakulás alapfeltételei és az integrált szakpolitikai és stratégiai keretrendszere részei. Ezek a gazdasági növekedés és a jólét megvalósításában meghatározó elemek lehetnek. A digitális átalakulás alapfeltételeire (pl.: a digitális infrastruktúra és szolgáltatások elérésének színvonala) épül az átalakulás hat alappillére, amiből egy az **innováció**. A digitális átalakulás megvalósítása a gazdasági és társadalmi fejlődésért egy koherens szakpolitika és stratégia eredményeképpen valósulhat meg.

A digitális technológiák multiszektoriális, azaz több ágazatra kiterjedő hatást gyakorolnak, amellyel egy a szektorok közötti tovaggyűrűző hatást fejtenek ki és ezzel elősegítik a gazdasági növekedést. Az infokommunikáció releváns innováció, a digitális technológiák alkalmazása a közlekedési szektorban és a vasúti szektort érintően is szerephez jut. A közlekedési szektor versenyképes növekedésének megvalósításáért, az **alacsony széndioxid** és károsanyag kibocsátású, **fenntartható és éghajlat-álló infrastruktúra** kialakítására van igény.



2.5.1. ábra A digitális átalakulás integrált szakpolitikai és stratégiai keretrendszere a gazdasági növekedésért és a jólétért [144]

A zöld járművek létrehozása [145], alkalmazása stratégiai cél. Zöld járművek elterjesztése része az éghajlatváltozáshoz való alkalmazkodási- és ellenintézkedéseknek. Hosszú távú megelőző intézkedésekbe való befektetésre külön figyelmet kell fordítani a közlekedési rendszerek fejlesztése során. A közlekedési módok és a közlekedési infrastruktúra adaptálása az éghajlatváltozáshoz része a városok és Európa éghajlatváltozáshoz való **rugalmas alkalmazkodásának**. Például Magyarországon a vasúti infrastruktúra egy részét olyan töltésekre építették, amelyek egy esetleges áradás esetén az árvízi védekezésben is szerepet játszanak. Az éghajlatváltozás és a társadalmi-gazdasági kihívásokkal kapcsolatos lépések megvalósításáért a szakpolitikák kidolgozói, a közlekedési rendszer tervezők, üzemeltetők és a

felhasználók egyaránt felelősek. A közlekedési infrastruktúrákat fel kell készíteni a klímaváltozás hatásainak csökkentésére. Nem csak új infrastruktúrát kell építeni mert, annak költségei mérhetetlen terheket jelentenek, hanem a **meglévő infrastruktúrát** kell egy **folyamatos fejlesztési stratégia** alapján **adaptálni a változásokhoz**. Innovatív megoldásokkal **zöld infrastruktúrát** [146] hozhatunk létre. Az átalakítás sok mindenre hatással lesz, például vonzóvá válnak a városok közlekedésük fenntarthatóbb fejlesztésével. A közlekedés kollektív megváltoztatása olyan klímabarát tevékenység, ami javítja az emberek életminőséget. [147] A közlekedés területén a klímaadaptáció és az **infrastruktúra rugalmasságának megteremtésének** eszköze lehet a **digitalizáció** vagy akár az ezzel kapcsolatos intelligens rendszerek alkalmazása.

Az OECD szerint a digitális átalakulás néhány kulcsfontosságú technológiája, illetve alkalmazási példája lehet többek között az okostelefon, az IoT, a Big Data és adatanalízis, a mesterséges intelligencia alkalmazása, az intelligens rendszerek, a felhőtechnológia vagy akár az M2M kommunikáció. [144] Az említett technológiák alkalmazása a vasúti rendszerekben is megvalósítható.

Roland Berger szerint a digitális átalakulás négy alapvető folyamatra vezethető vissza mégpedig az **interkonnektivitásra**, a digitális adatokra, az **automatizációra** és a digitális felhasználói interfészre. A vasúti szegmens potenciális területei a digitalizáció kapcsán a vonatbefolyásoló rendszerek<sup>59</sup>, a karbantartás, az infrastruktúra és a gördülő állomány (járművek). Az interkonnektivitás jelentheti az értékláncba<sup>60</sup> beépülő mobil eszközök alkalmazásának lehetőségét. A digitális adatok feldolgozása, elemzése útján jobb előrejelzéseket, megfelelőbb döntéshozatalt valósíthatunk meg. Az automatizáció az autonóm és öntanuló kiber-fizikai rendszerek alkalmazását vetíti előre. A digitális felhasználói interfész pedig lehetővé teszi a közlekedési infrastruktúra és a kapcsolódó szolgáltatások direkt módú mobil vagy online folyamatos igénybevitelét a felhasználók számára a nap 24 órájában. [148]

A vasúti rendszer digitalizációja során felmerülő kihívások: az új technológiák magas adaptációs és megvalósítási költsége, az adatalapú működés megvalósítása és a helyes adatok folyamatos rendelkezésre állásának biztosítása, az adatbiztonság, a kevés képzett munkaerő az új technológia működtetéséhez, magas komplexitású napi működés, magas elvárások az operátorokkal szemben, az együttműködő rendszerek interoperabilitásának megvalósítása, az alkalmazott üzleti modellt befolyásoló gyors technológiai változások, más ágazatokkal szembeni versenyhátrány a gyors technológiai adaptációban, az ágazati konzervativizmus és az ipari szereplők fejlesztés terén megszokott természete. [148]

---

<sup>59</sup> Train control

<sup>60</sup> A vasút ipari vállalatok tevékenységének értékalkotó folyamat láncolata.

A vasúti digitalizáció előnyei az új vállalati stratégia és üzleti modellek felállításban (a digitális vállalat felé vezető út), új termékek és szolgáltatások kialakításában rejlenek. Az új lehetőségek több szolgáltatást, több kooperációt, több innovációt eredményeznek. Jó példák a digitális technikák alkalmazására: digitális termékek és technológiák, szenzorhálózatok, nagy adat<sup>61</sup>, vonatkésés perdikció, valós idejű infrastruktúra állapot monitoring, digitálisan összekapcsolt járművek<sup>62</sup>, autonóm vonatok, intermobilitás (mobilitási platform és applikáció, papírintes jegyrendszer), életciklus-optimalizálás, kölcsönös átjárhatóság, intenzívebb együttműködés és átláthatóság, fokozottabb energiahatékonyság és fenntarthatóság, fokozott termékminőség, költségcsökkentés, nagyobb termelési hatékonyság, folyamatos fejlődés, a munkavállalók nagyobb biztonságának megvalósítása. [148]

A vasúti innovációknak célja az, hogy a digitalizáció eszközével a kooperatív, összekapcsolt és automatizált mobilitást megvalósítsa Európában. A fejlesztések a vasúti rendszer elérhetőségének optimalizálására, költségek megfizethetővé tételére, utazási idő csökkenésére, a megbízhatóság és a komfort növelésére, a környezetbarát kialakítás megvalósítására, a hosszútávú értékteremtés, presztízs és biztonság kialakítására irányulnak. [148]

## **2.6. EGY LÉPÉSEL KÖZELEBB A DIGITÁLIS VASÚT FELÉ: SHIFT2RAIL, AZ EURÓPAI VASÚTI INNOVÁCIÓS PROGRAMOK**

A Shift2Rail egy európai szintű közös vállalkozás, amely a köz- és magánszféra között létrejött együttműködés. Célja, hogy a vasúti ágazat európai uniós kutatási és innovációs tevékenységeit összehangolja. Kapcsolódva a Horizont 2020 kutatási és innovációs programban megfogalmazott célokhoz világszinten versenyképessé tegye az európai vasúti ipart. Shift2Rail 2018. évi főmunkaterve a következő öt témakört és azok altémaköreiket foglalja magában. [149]

### **2.6.1. INNOVÁCIÓS PROGRAM 1: KÖLTSÉGHATÉKONY ÉS MEGBÍZHATÓ VONATOK, KÖZTÜK NAGY KAPACITÁSÚ ÉS NAGY SEBESSÉGŰ VONATOK**

A vasúti gördülő állomány állapota fontos szerepet játszik a vasúti közlekedés attraktivitásának megteremtésében. Mivel az utazási kényelem, a megfizethetőség és az egyszerűbb elérhetőség fontos szerepet játszik az utasok választásában. Ugyanakkor a vasúti járművek tervezésénél már megjelenik a szolgáltatók igénye arra vonatkozólag, hogy az utasok számára magas minőségű, költséghatékony szolgáltatásokat nyújthassanak. A versenyképesség azáltal válhat a vasúti járművek fejlesztése során mindennapivá, ha a jövőben a multi moduláris megoldások kerülnek előtérben. A személyszállító vonatok egyre inkább könnyebbek,

---

<sup>61</sup> Big Data

<sup>62</sup> Connected wagons

automatizáltabbak, energiahatékonyabbak kell, hogy legyenek úgy, hogy biztosítják a maximális utazási kényelmet, az összekapcsolódó, megbízható és megfizethető utazási lehetőségeket az utasok maximális biztonsága mellett. A programon belül hét további kutatási és innovációs területet fogalmaznak meg: vonataójárművek, vonatirányító és menedzsment rendszer, vasúti járművek karosszériája, meghajtások, fékek, ajtók és intelligens beléptető rendszerek. [149]

## **2.6.2. INNOVÁCIÓS PROGRAM 2: FEJLETT KÖZLEKEDÉSIRÁNYÍTÁSI ÉS ELLENŐRZŐ RENDSZEREK**

Vasúti ellenőrző és irányító rendszerek a vonatok biztonságos vezérlését, elkülönítését végzik az adott hálózaton. Egy flexibilis, valós idejű, intelligens integrált és automatikus forgalom menedzsmentet is végrehajtanak. Az ilyen típusú rendszerek és az egységes európai vasúti közlekedésirányítási rendszer (ERTMS)<sup>63</sup> is egyre nagyobb jelentőséggel bír világszinten a vasúti jelző és irányítórendszerek területén. Az európai tapasztalatokat más nem európai országok is felhasználják.

További lehetőség, hogy az ERTMS funkcionalitásának növelésével nagyobb versenyképesség érhető el. Jelenleg számos új technológia előnyeit nem használjuk ki. Az európai piaci megoldás még nem foglalja magába a műholdas helymeghatározást, a nagysebességű és nagykapacitású adat és hang kommunikációt (pl.: 4G/LTE), automatizáció magasabb szintű megvalósítását, a valós idejű adatgyűjtő, feldolgozó és kommunikációs rendszerek nyújtotta lehetőségeket. Ezek a technológiák alapozhatják meg egy új fajta jövőbeli európai vasúti közlekedés irányítási rendszer létrehozását. Ezen kívül számos kutatási terület válhat később fő csapásvonallá: prediktív és adaptív vonat mozgás szabályozáson alapuló menetengedély kiadás, infrastruktúra átbocsátóképesség növelő fejlesztések, vontatási energia hatékony felhasználása, széndioxid emisszió csökkentése a vasúti közlekedéshez köthetően, vasúti rendszer működési költségeinek csökkentése, rendszerszintű biztonság növelése, pontos, egységes prediktív utazási információ szolgáltatás. Hét kiemelt kutatási és innovációs területhez kapcsolódik a 2-es innovációs program: **okos, fail-safe kommunikáció és helymeghatározó rendszer**, forgalomirányítás fejlődése, **automatizálás**, Mozgó Blokk és vonat integritás, okos tervezés, működés és teszt, vasúti járművek virtuális csoportosítása (abszolút féktávolság), **kiber biztonság**. [149]

---

<sup>63</sup> European Rail Traffic Management System – ERTMS

### **2.6.3. INNOVÁCIÓS PROGRAM 3: KÖLTSÉGHATÉKONY ÉS MEGBÍZHATÓ NAGYKAPACITÁSÚ INFRASTRUKTÚRA**

A vasúti infrastruktúra tervezése, építése, működtetése és karbantartása biztonságos, megbízható, fenntartható, költséghatékony és utasbarát módon kell, hogy megvalósuljon. A vasúti piacnyitás és az ezt megelőző interoperabilitási törekvések csökkentették az életciklus költségeket a gördülő állomány és a fedélzeti ellenőrző -irányító berendezések tekintetében. Az interoperabilitás lényege az, hogy a hálózati inhomogenitást csökkentse azáltal, hogy a különféle vasúti infrastruktúra üzemeltetők között egységes, magas minőségű, átjárható infrastruktúrát valósítunk meg. Automatizáció útján ezek a folyamatok támogatják az infrastruktúra karbantartási költségek csökkentését. A megoldásoknak hatékonyan és gyorsan megvalósíthatónak kell lennie. Az infrastruktúra fejlesztése holisztikusan és intelligens módon valósuljon meg kihasználva az okos technológiák adta lehetőségeket vagy éppen a lean elveket a megvalósítás során. Ami hozzájárul a megbízható és utasbarát szolgáltatások létrehozásához, a kapacitás növeléséhez és a teljes vasúti közlekedés gazdaságosságához. A kompatibilitás a különféle infrastrukturális rendszerek között az interoperabilitás és a szabványosítás eszközével érhető el. A kompatibilitás hatékonyabb megvalósítására különböző területen törekednek. Az új fejlesztési irányok a kiterők és váltók esetében, innovatív vágányhálózat tervezés és okos anyagok felhasználásával, költséghatékony alagút és híd megoldásokkal, intelligens karbantartási rendszerekkel, energiahatékonyssággal, okos vasútállomások [150] létrehozásával foglalkoznak. [149]

### **2.6.4. INNOVÁCIÓS PROGRAM 4: INFORMATIKAI MEGOLDÁSOK A VONZÓ VASÚTI SZOLGÁLTATÁSOK ÉRDEKÉBEN**

Annak érdekében, hogy minél attraktívabb legyen a vasúti közlekedés az utazók szükségletinek figyelembevételével az ajtótól ajtóig való közlekedés megvalósításával és a különféle közlekedési módok egy közös összefüggő rendszerbe való integrálásával kell létrehozni a nemzeti és nemzetközi közlekedési struktúrát. Cél az interoperabilitás elérése a különféle közlekedési módok és szolgáltatások között, valamint a különféle régiók, városok és országok között is. A célok eléréséhez a vasúti ágazatban szükség van az ágazati szereplők összekötésére azáltal, hogy a rendelkezésre álló technológiák (pl.: globális műhold alapú navigációs rendszer, felhőalapú számítástechnika, nyílt és nagy adatok, Internet technológiák, közösségi média) új módszerű felhasználásával és analízisével további szinergikus együttműködések hozunk létre. Az együttműködések megvalósítása érdekében a vasúti rendszerben keletkező adatok megosztása során figyelemmel kell lenni a nyílt szabványok és előírások alkalmazására (pl.: Átjárhatósági műszaki követelmények) azért, hogy a fejlesztők és a felhasználók közös érdeke a vasúti rendszer nemzetközi használhatósága megvalósítható

lehesen. A nemzetközi átjárhatósághoz hozzájárul a multimodális (teljes körű) közlekedési rendszerek kialakítása, azaz a különböző utakhoz különböző közlekedési módok igénybevételével létrehozott utazás, amely pl. kiegészítve az ajtótól–ajtóig tartó utazástervezéssel, applikáció alapú jegyvásárlás lehetőségével európai megoldássá válhat. A városi intermodális (többféle közlekedési eszközt, közlekedési módot kombináló) megoldások fejlesztése során a városi, elővárosi vasúti, vasúti, légi, közúti stb. közlekedési lehetőségek közötti váltás és használat kényelmes és elérhető kialakítását célozzák. Azaz ezek a megoldások a többféle közlekedési mód egymáshoz illesztését valósítják meg egy utazási folyamat alkalmával. Ezért az ágazati menetrendi rendszerek összehangolása, integrálása révén nemzeti és nemzetközi szinten történnek előrelépések az utazások hatékonyságának növeléséért. A 4. innovációs program három fő témára koncentrálna: a technikai/ technológiai keretrendszerek kialakítása, utazói élmény mérésére és visszaigazolásához alkalmazható rendszerek, multimodális utazási szolgáltatások fejlesztése. [149]

#### **2.6.5. INNOVÁCIÓS PROGRAM 5: A FENNTARTHATÓ ÉS VONZÓ EURÓPAI ÁRUFUVAROZÁST ELŐSEGÍTŐ TECHNOLÓGIÁK**

2050-re jelentős arányú növekedést prognosztizálnak a 300 km feletti fuvarávolságok esetében a közúti áruszállításhoz képest a vasút viszonylatában. A szektor további feladata, hogy a túlterhelt közúti infrastruktúrát tehermentesítse. A vasúti teherszállítás költséghatékony, vonzó szolgáltatást nyújthat a fejlesztéséből adódóan. A logisztika területén egy fejlődő részterület az intermodális szegmens, ami a konténer vonatok közlekedtetésén alapszik és ahol a szektorális növekedés folyamatos. A fejlesztések között szerepel a teherszállítmányozás megbízhatóságának növelése, a szolgáltatások és a költségek átalakítása (pl.: a szerelvényhossz növelésével), jobb felszereltség megvalósítása, innovatív gördülő állományi jellemzők kialakítása, a nagyobb hozzáadott értékű szolgáltatások létrehozása (terminál szolgáltatások, valós idejű szállítmányozási információk biztosítása) a szállítási szolgáltatást igénybe vevők számára. Cél a jobb adatcsere elérése a fuvarozó és a fuvaroztatók között a szállítási láncban. A második piaci szegmens a nemzetközi egyedi kocsis fuvarozás [151] (szórt kocsis forgalom)<sup>64</sup> rendszerrel a vasúti teherszállítás nemzetközi megvalósítása válik könnyebbé az IT infrastruktúra segítségével. Tervezhetővé válik a tehervagonok európai közlekedtetése. Ez a megoldás automatikus vagonösszeállítást biztosít RFID technológia alkalmazása útján. [149] [152]

Az 5. innovációs program fő pontjai: stratégiai és üzleti analízis; teherszállításhoz kapcsolódó hálózat villamosítása; fék és telematikai rendszerek fejlesztése; hozzáférés és

---

<sup>64</sup> Single Wagon Load

működés optimalizálás; vagon tervezés digitalizálása, új modern terminálok, elosztó csomópontok, pályaudvarok létrehozása a megfelelő mennyiségű és vágánycsoporttal, új innovatív szállítójármű meghajtások; veszélyes áruk fenntartható vasúti szállítása, hosszú távú elképzelések a **teherszállítás teljes automatizálására**.

Összefoglalva a 2018. évi tervek szerint öt fő kiemelt kutatási és innovációs területet – hosszú távú szocio-gazdasági vasúti közlekedéssel kapcsolatos kutatási terület; okos anyagok és folyamatok; rendszer integráció, biztonság és interoperabilitás; energia és fenntarthatóság; humán erőforrás biztosítása – érintenek, amelyek **mindegyike érinti a digitális technológiák alkalmazását, az automatizációt és a biztonság kérdését**.

## 2.7. KULCSFONTOSSÁGÚ ALAPTECHNOLÓGIÁK<sup>65</sup>

Európai szinten célzottabb kutatási és fejlesztési irányok jövőbeni **versenyképessége** és az állampolgárok jóléte érdekében 2009-ben (lásd SEC(2009) 1257) [153] meghatározásra kerültek a **kulcsfontosságú alapterchnológiák**. Ugyanakkor az európai országok közötti egyetértés nem tökéletes a technológiák nevesítése kapcsán. A technológiák kiválasztásakor a világ élvonalához igazítottan jártak el. Ahhoz, hogy Európa továbbra is a világ élvonalához tartozzon átgondolt, széleskörű együttműködésre van szükség az ipari szektorok, az akadémiai szféra, a kormányzatok és a gazdaság egyéb szereplői között. A globális tudományos és piaci trendek alapján olyan **magas tudásintenzitású technológiák** kutatása a jelentős, amelyek a társadalmi kihívások megoldását megfizethető módon képesek megvalósítani. A kulcsfontosságú alapterchnológiák közé sorolják a nanotechnológiát, mikro- és nanoelektronikát, fotonikát, korszerű okos anyagok kutatását, biotechnológiát. [154] [155] [156]

A kulcsfontosságú technológiák közül több is érinti a közlekedési szektort. A korszerű okos anyagok alkalmazása a közlekedésben elősegíti a fenntarthatóság megvalósítását. Ezek az anyagok támogatják az újrahasznosítást, alkalmazásukkal csökkenhet az energiaszükséglet és a károsanyagkibocsátás. Ez különösen fontos az Európában ritka nyersanyagok éhségének csökkentése kapcsán is. Az intelligens mikro- és nanoelektronikai eszközök fejlesztése a közlekedési szektor számára a legkomolyabb fejlesztési irány lehet. Ami hatással lesz a közlekedési szektorhoz kapcsolódó számos interdependens területre: energia, a környezetvédelem, a gyártási technológiák stb. [154] [155][156]

„A Bizottság szerint a kulcsfontosságú alapterchnológiák „olyan tudásintenzív technológiák, amelyeket a **kutatás-fejlesztés** magas intenzitása, **gyors innovációs** ciklusok, nagy tőkekiadások és **jól képzett munkaerő** jellemeznek. Rendszerszintű fontosságuk révén a

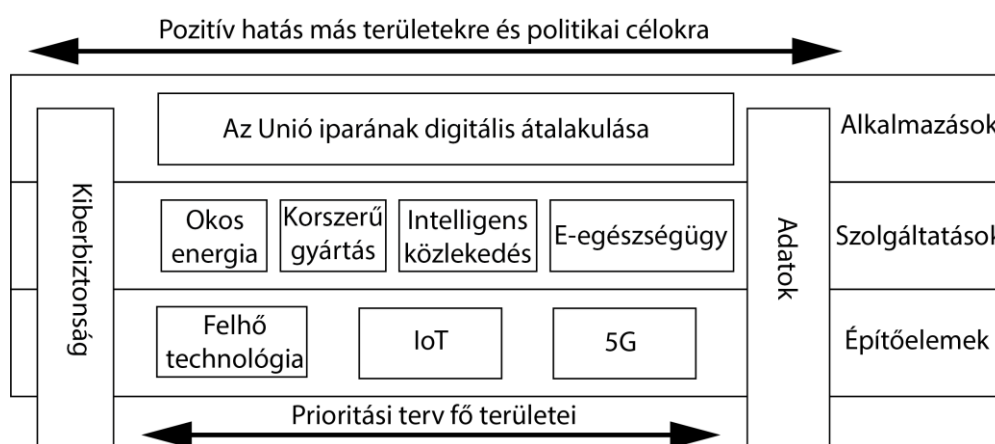
---

<sup>65</sup> Key Enabling Technologies/ Schlüsseltechnologien



gazdaság minden szintjén lehetővé teszik a folyamat-, termék- és szolgáltatásinnovációt. Ezenkívül multidiszciplinaritás jellemzi őket, valamint az, hogy számos technológiai területet átfognak, továbbá a konvergencia és az integráció irányába hatnak. A kulcsfontosságú alaptermológiák a technológia éllavasainak segítségével lehetnek abban, hogy a kutatásra fordított erőfeszítéseiket más területeken is kamatoztassák.”[156]

A digitalizáció és az innovációs programok összessége a kulcsfontosságú technológiák alkalmazásával, valósulhat meg vasúti területen is. [157] [158] A kulcsfontosságú technológiák között kapcsolatot teremt az információs és kommunikációs technológia, ami jelentős szerepet tölt be digitalizáció létrehozásában. Az „információs és kommunikációs technológiák szabványosítási prioritások a digitális egységes piac érdekében” című Bizottsági közleményben [158] az Európai Bizottság az alábbi prioritásokat jelölte meg: „5G kommunikáció, felhőalapú számítástechnika, az IoT, nagy adathalmazokra épülő technológiák és kiberbiztonság. Ezek a digitális egységes piac alapvető technológiai építőelemei.” [158] Az öt prioritási terület az IKT<sup>66</sup> szabványosítás építőelemei kapcsolódnak az intelligens közlekedési rendszerek kialakításához. Az európai intelligens összekapcsolódó közlekedési rendszer pedig célterülete az európai ipari digitalizációs törekvéseknek. (Lásd „az öt prioritási terület: az IKT-szabványosítás építőelemei” ábrán.) [158]



2.7.1. ábra. Az öt prioritási terület: az IKT-szabványosítás építőelemei [158] [159]

## 2.8. TECHNOLÓGIAI KÉSZÜLTSEGI FOK (TRL<sup>67</sup>)

A vasúti rendszer digitalizációs fejlesztése során technológiafejlesztést hajtunk végre. A mellékletben található indikatív ábrán a kulcsfontosságú alaptermológiákkal kapcsolatos K+F+I tevékenység lépcsőzetes felépülését láthatjuk. A technológiafejlesztés esetében a „technológiai érettségi szintek” skáláját használják az új technológiák (új anyagok, új

<sup>66</sup> Információs és kommunikációs technológiák

<sup>67</sup> Technology Readiness Levels

berendezések stb.), projektek készültségi fokának mérésére, klasszifikációjára. [154] [156] A TRL skálát alkalmazhatjuk a digitalizációs projektek esetében is.

A TRL skála kilenc lépcsős. Az alapkutatásra épülően három fő pillért alkot. Az IIVR projekt során az alapkutatás azt jelenti, hogy az alapvető működési elvek megfigyelését hajtjuk végre pl. a meglévő vasúti rendszer kapcsán. Az első pillér esetében a technológiai kutatás során a digitalizációs technológiai koncepció leírását végezzük el. Majd a koncepció igazolását tesszük meg kísérletekkel segítségével. A kísérleteken bizonyított technológiát egy laboratóriumi technológiahitelesítés során az első laboratóriumi alkalmassági ellenőrzésen vizsgáljuk meg. Ezzel egy időben egy a specifikus hitelesítési protokoll kidolgozását is megtesszük. [154] [156]

A második pillér esetében a termékdemonstráció során a **technológiahitelesítést** a megfelelő környezetben is elvégezzük. Ezt követően a technológia demonstrációt a megfelelő környezetben végezzük el. Majd a technológia demonstrációt a működési, ez esetben ipari és vasúti környezetben hajtjuk végre. Ezután kerülhet sor a teljes rendszer minősítésére (előzetes alkalmassági tanúsítvány). [154] [156]

A harmadik pillér már a sikeresen működő rendszerrel és annak gyártásával kapcsolatos. Az első gyártás után egy piaci alapokon működő versenyképes gyártás megvalósítása következhet, amely a kereskedelmi rendszer kialakításával és a teljes kereskedelmi szintű alkalmazás piaci pozicionálásával folytatódhat. [154] [156]

Az ötlettől a piacra jutásig a folyamatot például az Európai Beruházási Bank<sup>68</sup> az előzőekben leírtakra vonatkozólag más fogalmakat használ. Az ő olvasatukban a kutatás, fejlesztés és az innováció fogalmakkal írható le a teljes TRL skála. Az OECD<sup>69</sup> Frascati kézikönyvében ugyanez az alapkutatást, ipari kutatást és kísérleti fejlesztést jelent. [154] [156] Ez a kilenc fázis jellemzi a digitális technológiák piacra jutását, azaz a digitális átalakulást közlekedési terület esetében is.

## **RÉSZKÖVETKEZTETÉSEK - EURÓPAI FEJLESZTÉSEK ÖSSZEGZÉSE**

A Horizont 2020<sup>70</sup> stratégiában kitűzött cél, hogy a GDP<sup>71</sup> 3 % -át kutatás-fejlesztésre kell fordítani. Néhány kulcsfontosságú alaptermék terén az Európai Unióban a meglévő vasúti kutatási-fejlesztési kapacitások ellenére a kutatási eredményeket késztermékeken és szolgáltatásokon keresztül való piacra jutása meglehetősen csekély. Pedig a stratégiában

---

<sup>68</sup> European Investment Bank (EIB)

<sup>69</sup> Gazdasági Együtműködési és Fejlesztési Szervezet / Organisation for Economic Co-operation and Development

<sup>70</sup> A 2014-2020 közötti időszakban az Európai Unió kutatás-fejlesztési, innovációs szakpolitikát meghatározó program

<sup>71</sup> Bruttó hazai termék/ Gross Domestic Product

kiemelt helyen szerepel a társadalmi kihívások között az intelligens, környezetkímélő és integrált közlekedés. Ahhoz, hogy ezen a helyzeten javítani tudjunk, a kutatás, az innováció és a tökéletesítés terén átgondoltabb európai szintű stratégiára volna szükség. Arra vonatkozóan, hogy miként lehetne ezeket a kulcstechnológiákat, ezen belül is a digitalizációt jobban kibontakoztatni a vasúti ipar és a vasúti közlekedés, az egységes vasúti térség javára fordítani, nincs európai szintű koherens stratégia. [155] A **Digitális Vasúti Stratégia** központi gondolata a **kutatás-fejlesztés**be való investíció. A modernizáció és a digitalizáció nem azt jelenti, hogy minden vonaton és állomáson legyen ingyenes WLAN<sup>72</sup>. Sokkal inkább jelenti azt, hogy európai szinten automatizált vasúti infrastruktúrát<sup>73</sup>, autonóm vasúti járművek fejlesztését, digitális tervezési eljárásokat, módszereket honosítunk meg. Az ötlettől a termékig, az alapkutatótól a piacra bevezetésig, számos nehézség állhat a digitalizációs törekvések megvalósításának útjában. Az európai iparpolitika, a vasúti ipart érintő stratégiák esetében a közös cél az európai szintű társadalmi kihívások kezelése is. Ennek okán a vasúti fókuszú kutatás és innováció európai szinten támogatott kérdés. [160] 2050-ig egy európai szakpolitikai döntés alapján, az 1990-es szinthez képest 60 %-kal kell csökkenteni a szén-dioxid-kibocsátást, ezért fontos, hogy a digitális technológiák révén való fejlődést felhasználva a közlekedés területén is ennek a célnak az elérését célozzuk. [160] A kutatásalapú közlekedési szakpolitika és stratégiai tervezés támogatására ma mindennél jobban szükség van a versenyképes és fenntartható európai közlekedési rendszer létrehozásáért. A közlekedési fejlesztések az európai „Intelligens városok és községek” kezdeményezés sikeres előmozdításában is szerepet játszanak. Éppen ezért a karbonszegény társadalom felé tartó átalakulásban döntő jelentősége van a közlekedési rendszerek digitális átalakításának. A társadalom igényeihez igazított technológiai fejlődésre van szükség. Az igények kutatása a fejlesztések folyamatossága mellett kell, hogy megvalósuljon. A közlekedési infrastruktúra, rendszer fejlesztésért folytatott kutatások – pl.: intelligens mobilitási rendszerek: SESAR<sup>74</sup>, ERTMS, SafeSeaNet<sup>75</sup>, RIS<sup>76</sup>, ITS<sup>77</sup> – eredményeinek gyors gyakorlati adaptációját a digitális technológiák alkalmazása és az ezzel kapcsolatos innovációs és megvalósítási stratégiák alkalmazása gyorsíthatja. [161] Az egységes európai vasúti térség digitális fejlesztésére egyértelmű európai példákat találhatunk, ilyen például a Space4Rail [162] jövőbe mutató tematikája is, a műholdas helymeghatározás (GNSS<sup>78</sup>) alkalmazása a vasúti közlekedésben. [163] A kutatás, fejlesztés és innováció

---

<sup>72</sup> Wireless Local Area Network/ vezeték nélküli helyi hálózat

<sup>73</sup> autonomus rail

<sup>74</sup> The Single European Sky Air Traffic Management Research

<sup>75</sup> vessel traffic monitoring system

<sup>76</sup> River Information Services - traffic management infrastructure on the inland waterway network

<sup>77</sup> Intelligent Transportation Systems

<sup>78</sup> Global Navigational Satellite System/ globális helymeghatározást és a navigációt szolgáló rendszerek

jelentősen hozzá fog járulni a célok eléréséhez szükséges megoldások kialakításához és elterjesztéséhez az intelligens, környezetkímélő és integrált közlekedés megvalósításával. Az európai vasúti rendszer fejlesztése évekre meghatározható programok, a magyar vasúti rendszer fejlesztésének irányát meghatározzák. A disszertációmban a magyar fejlesztések alapvető irányának vizsgálatánál magam is figyelembe veszem.

### **3. MEGLÉVŐ KOMPLEX VASÚTI KÖZLEKEDÉSI RENDSZER ELEMZÉSE - AUTOMATIZÁLÁSÁNAK KÉRDÉSE ÉS A DISZJUNKT ALRENDSZEREINEK LEÍRÁSA**

Ebben a fejezetben a vasúti rendszer megismerésének lehetőségeivel foglalkozom. A vasúti rendszert strukturális és funkcionális alrendszerekre bontották. Szakterületemhez tartozóan vizsgálom az energia alrendszer és az ellenőrző-, irányító, jelző és biztosítóberendezési alrendszert. Az alrendszerekben zajló folyamatok, összefüggések, szabályszerűségek törvényszerűségek felismerése és azok tudományos igényű megfogalmazása érdekében.

#### **3.1. RENDSZERELMÉLETI BEVEZETÉS – FILOZÓFIAI ISKOLÁK ÉS IRÁNYZATOK, A RENDSZERMÉRNÖKI TUDOMÁNY**

A rendszerelméleti filozófiai iskolák történetét Arisztotelészig vezethetjük vissza. Arisztotelész<sup>79</sup> megállapítása, hogy „az egész valami több mint a részek összessége”. [60] René Descartes<sup>80</sup> már a 17. században redukcionizmust<sup>81</sup> képviselte, amely az „összetett jelenségek elemzését és leírását egyszerű vagy alapvető alkotóelemei alapján”[60] határozta meg. Nicolas Léonard Sadi Carnot<sup>82</sup> szerint (1824) a „termodinamikai munkájában nyilvánvalóan fogalmazta meg a rendszer értelmét”. Rudolf Julius Emanuel Clausius<sup>83</sup> (1850) tovább bővítette a Carnot féle rendszer fogalmát és már a rendszer és annak környezete is szerepel munkájában. Karl Ludwig von Bertalanffy<sup>84</sup> fogalmazza meg az általános rendszerelméletet<sup>85</sup> (1948). Ezután Norbert Wiener<sup>86</sup> (1948) és William Ross Ashby<sup>87</sup> (1956) a letéteményesei a kibernetikának (Cybernetics). James Grier Miller<sup>88</sup> (1978) az élő rendszerekkel foglalkozik (Living System). Peter M. Allen<sup>89</sup> (1986) és John Henry Holland<sup>90</sup> (1995) a komplex adaptív rendszereket<sup>91</sup> írja

---

<sup>79</sup> Görög tudós és filozófus, élt Kr. e. 384-től 322-ig.

<sup>80</sup> Francia filozófus, élt 1596-től 1650-ig.

<sup>81</sup> Komplex fogalmak egyszerűbb tényekre visszavezetése.

<sup>82</sup> Francia fizikus, matematikus, mérnök, élt 1796-től 1832-ig.

<sup>83</sup> Német fizikus és matematikus, élt 1822-től 1888-ig.

<sup>84</sup> Osztrák biológus, élt 1901-től 1972-ig.

<sup>85</sup> General System Theory

<sup>86</sup> Amerikai matematikus, élt 1894-től 1964-ig.

<sup>87</sup> Brit pszichiáter, élt 1903-től 1972-ig.

<sup>88</sup> Amerikai biológus, rendszertudós 1916-től 2002-ig.

<sup>89</sup> Elméleti fizikus, komplex rendszer kutató

<sup>90</sup> Amerikai villamosmérnök, élt 1929-től 2015-ig.

<sup>91</sup> Complex Adaptive Systems

le. Stafford Beer<sup>92</sup> fogalmazza meg az életképes rendszer modellt<sup>93</sup>, Peter Checkland<sup>94</sup> definiálja a puha rendszerek módszertanát<sup>95</sup>, Peter Michael Senge<sup>96</sup> pedig megalapozza a rendszergondolkodást<sup>97</sup>. Kurt Gödel<sup>98</sup> (1931), Alan Turing<sup>99</sup> (1940) és Claude Elwood Shannon<sup>100</sup> (1948) alapozzák meg az elméleti számítástudományt<sup>101</sup>, amely később a rendszer mérnöki<sup>102</sup> tudományok kialakításához vezet. [60] [164] [165]

A rendszertechnika, a rendszer mérnöki tudományok olyan transzdiszciplináris és integráló megközelítést jelentenek, amely lehetővé teszik a megtervezett nagy léptékű és összetett mérnöki rendszerek sikeres megvalósítását, használatát vagy akár későbbi megszüntetését a tudományos és technológiai módszerek felhasználásával. „A **rendszer** egymással kölcsönös kapcsolatban álló dolgok meghatározott együttese” [166], amelyek jól definiált (bár valószínűleg rosszul megérthető) viselkedéssel vagy céllal rendelkeznek. A koncepció szubjektív abban a tekintetben, hogy az, ami egy ember számára rendszer, nem tűnik rendszernek a másik számára. [17] „**Komplex rendszernek** tekintünk minden rendszert, amelyet egyidejűleg több tulajdonság alapján minősítünk.” [166] A komplex rendszerek számos összetevővel és összekapcsolással, kölcsönhatásokkal vagy kölcsönös függőségekkel határozhatók meg, amelyeket nehéz leírni, megérteni, megjósolni, kezelni, megtervezni, megváltoztatni. [17] A következő alfejezetben további alapfogalmakkal foglalkozom. Illetve a későbbiekben definiálom a vasúti rendszer fogalmát, az alrendszerek fogalmát, az automatizálás fogalmát és a vasúti automatizálás fogalmát.

Komplex kutatás során elkerülhetetlen, hogy a rendszerben való gondolkodást véghez vigyük. A kutatásomban transz- és multidiszciplináris megközelítéseket alkalmazok és a biztonság tudományi, villamosmérnöki, informatikai tudományterületeket művelem. A tudományterületek résztudományai közül sorra veszem azokat, amelyek fontos szerepet játszanak munkámban. Ha a **vasút automatizálás** kérdéskörében végzünk feltérképezést, azzal szembesülünk, hogy a **kibernetika** lényegi része az eddigi vasúti fejlesztéseknek. Ashby azt írja Norbert Wiener-re hivatkozva, hogy a kibernetika az **irányítás tudománya**, „az élőszerkezetben és gépben történő irányítás és kommunikáció elmélete”<sup>103</sup>. [167] A vasúti

---

<sup>92</sup> Angol kibernetika kutató, élt 1926-tól 2002-ig

<sup>93</sup> Viable System Model

<sup>94</sup> Brit menedzsment tudós, született 1930-ban.

<sup>95</sup> Soft systems methodology

<sup>96</sup> Amerikai rendszer tudós, született 1947-ben.

<sup>97</sup> Systems thinking

<sup>98</sup> Osztrák matematikus, tudományfilozófus, élt 1906-tól 1978-ig.

<sup>99</sup> Brit matematikus, élt 1912-től 1954-ig.

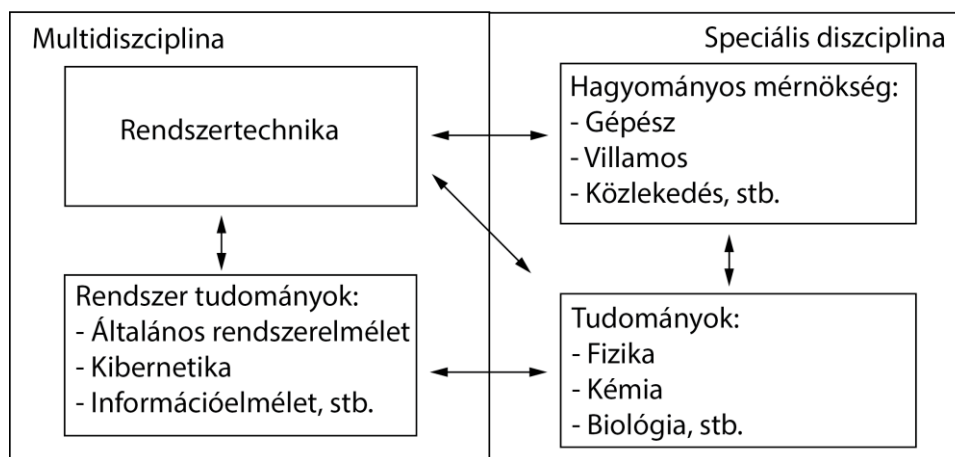
<sup>100</sup> Amerikai matematikus, az információelmélet megalapítója, élt 1916-tól 2001-ig.

<sup>101</sup> Theoretical Computer Science

<sup>102</sup> System Engineering

<sup>103</sup> Norbert Wiener 1946-ban alkotja meg a kibernetika szót, az Ashby-öt idézi annak jelentése kapcsán.

rendszerben az ember–gép, gép–ember és a gép–gép kommunikáció a közlekedés működésének alapja. Kétségtelen az is, hogy a mai információs társadalmunk és ennek vasúti leképeződésének, megértéséhez szükségünk van a rendszerelmélet és az információelmélet axiómáinak<sup>104</sup> alkalmazására is, ha egy olyan komplex rendszert szeretnénk vizsgálni, mint a vasút. A 3.1.1. ábrán láthatjuk, hogy a fentebb említett összefüggések között milyen kapcsolatok állnak fenn Faust szerint.



3.1.1. ábra. A rendszertechnika helye a kutatásban (Átdogozott ábra) [168]

### 3.2. ALAPFOGALMAK, KONCEPTUALIZÁLÁS<sup>105</sup>

Westsik szerint „egy vagy több ismérv alapján összetartozó, egymással valamilyen kapcsolatban lévő elemek jól körülhatárolt csoportját” jelenti a **rendszer általános definícióját**. Az alkotóelemek közötti kapcsolatokat **relációknak** nevezzük. A rendszereket céllal hozunk létre. A közlekedési rendszerek célja ennek okán úgy fogalmazható meg, hogy áruk és személyek helyváltoztatásának biztonságos, gyors és hatékony megvalósítása. A rendszer egésze lehatárolható annak **környezetétől**. A rendszer közvetlen környezetét úgy határozhatjuk meg, hogy azoknak az elemeknek az összessége, amelyek jelentős ráhatással, befolyással bírnak a rendszer működésére, továbbá azok az elemek, amelyekre a rendszer hatással van. [169]

Hubka által tett javaslatoknak megfelelően a rendszertechnikai műszaki alkotást olyan rendszernek kell tekinteni, amelyik bemenő és kimenő mennyiségein keresztül tart kapcsolatot a környezetével. A rendszer szempontjából a **rendszerhatár** mindenkor egyértelműen megmutatja mi tartozik a rendszerhez. A bemenő és kimenő mennyiségek lépik át a rendszerhatárt. Ezzel az elképzeléssel, az absztrakcióval, felbontással vagy besorolással képezhető egy olyan rendszer, amely a mindenkori vizsgált célnak megfelel.” [170]

<sup>104</sup> Alapigazság az információelmélettel kapcsolatban: Shannon, hírközlés, adó, vevő, csatorna, információ, üzenet, kódolás, entrópia.

<sup>105</sup> Jelentéstartalom meghatározása

Véleményem szerint a rendszer és környezete **intelligens rendszerek** esetén nem olyan mértékben válik szét, mint egy hagyományos kialakítás esetében. A környezet és a rendszer közötti határvonal elmosódik a rendszer elosztottságából, tagoltságából következőleg. A **rendszer statikus struktúráját** különféle elemei, elemeinek számossága és azok meglévő, fix kapcsolatai szabják meg. Egy rendszer **dinamikus struktúráját** a rendszert statikusan alkotó különféle elemek a rendszer céljának beteljesítése során felvett konstellációja fogja meghatározni. Az **egyszerű** és **komplex rendszer**<sup>106</sup> különbsége abban rejlik, hogy míg az előző további alrendszerekre nem botható, addig a másik igen. A komplex rendszereken belül funkcionálisan kapcsolódó, céljuk okán összerendeződő elemek alkotják az egyes **funkcionális alrendszereket**. A nyílt rendszerek környezetükkel kapcsolatban állnak, míg a zárt rendszerek nincsenek kölcsönhatásban a világgal.

### 3.3. AZ AUTOMATIZÁLÁSRÓL ÁLTALÁBAN

Az emberek életszínvonalának szinten tartására és növelésére világszinten igény van, ezért napjainkban egyre erőteljesebb törekvések mutatkoznak az életszínvonal biztosítására és növelésére. Egyes területek túlszűfolttá válnak, mások elnéptelenednek az erőforrások elosztása egyre aránytalanabb. A technológiai fejlettség és ezáltal a különböző területek automatizálása összetett hatást gyakorol az emberiség egészére. Az automatizálás a társadalom számára kiemelkedő jelentőséggel bír, mivel alkalmazásával a folyamatokban szereplő emberi tényezőt oly mértékben csökkenthetjük, amivel biztonságosabbá, könnyebbé, gazdaságosabbá, gondtalanabbá tehetjük életünk számos területét. Az automatizálás már nem szimplán műszaki kérdés, hanem a társadalom egészére vonatkozó gazdasági és szociális ügy is. Egy teljes mértékben automatizált társadalom az emberek számára további időnyereséget jelent, amelyet akár tudományos és/vagy művészeti, illetve egyébként hasznos tevékenységekre is fordíthatnak. [171] [172] [173]

A fejezet alapkérdése az, hogy az automatizálás milyen szerepet tölt be ma és fog a jövőben betölteni az emberek életében és a közlekedési rendszerek, azon belül is kötött pályás közlekedés további fejlesztésében.

*Mióta beszélünk automatizálásról és egyáltalán mit is jelent?*

Az automatizálás gyökereit az automata szóban kereshetjük. Ez a szó görög eredetű és önműködő, azaz önmagától mozgó jelentéssel bír. Vajon mikor és ki készíthette az első automatát? Valószínűsíthető, hogy az ókorban oly félelmetesen hangzó mágia és persze az ezzel párhuzamba állított tudomány terméke lehetett az első ilyen szerkezet.

---

<sup>106</sup> Definíció a 3.1-es pontban.

„Az első önszabályozó gépezetet – egy vízi órát, amely olyan szabályozóval volt ellátva, hogy a víz átfolyását konstans, megjósolható értéken tartotta – az alexandriai Ktesibios (i. e. kb. 250) építette.” [174] Ettől kezdve már azt mondhatjuk, hogy az ember által konstruált gépek képesek voltak a környezetükben beálló változásokra működésüket korrigálni. [174]

Ez a fajta működés létrehozása a történelem során folyamatosan lekötötte a tudósok figyelmét. Így például ezzel kapcsolatosan egy középkori legenda nevesíti Albertus Magnus-t (később: Nagy Szent Albert), akit korának egyik jelentős tudósaként így emlegetnek: „Magnus in magia, major in philosophia, maximus in theologia” illetve „Doctor Universalis” névvel illették. Ő volt az, aki a legenda szerint több évtized alatt mechanikus működtetésű szolgálot készített magának. A szerkezet vesztéhez az vezetett, hogy amikor egyik volt tanítványa hozzá érkezett a „szolgáló” nyitott ajtót és a tanítvány látván a szerkezetet és hallván annak kérését, hogy várja meg gazdáját, ördöginek kiáltották ki azt. Vannak, akik a legenda befejezését máshogy tartják. Ők úgy vélik, hogy Magnus tanítványa Aquinói Tamás (később: Aquinói Szent Tamás) semmisítette meg mestere alkotását. Albertus Magnus többek között a tudósok védőszentje is. [175]

A sötét középkor után továbbra sem felejtették el a tudósok a gépek működésének emberi beavatkozás nélküli üzemét. A teljes automatizáláshoz való eljutás az idők során több mérföldkőből tevődött össze. Ilyen határpont volt – az ókor és a középkor utána – az első gőzgép és a hozzá tartozó centrifugálszabályzó (James Watt (1736–1819))[176]. Később a szabályozható villamos gépek megjelenése (Jedlik Ányos (1828) az első villámdelejes önforgony, azaz elektromotort konstruált, 1861-ben megadta az öngerjesztésű dinamó elvét). Ezek után következett a számítógépek térhódítása, amiket ma még nem is tudunk, hogy holnap milyen automatizálási feladatra fogunk használni. „Az első működőképes számítógép az elektromechanikus Heath Robinson volt, amit Alan Turing munkacsoportja 1940-ben épített azzal a kizárólagos céllal, hogy a német üzeneteket dekódolhassák.” [174]

Vagyis először a **gőz**, majd az elektromosság, ma pedig az **információ** megszelídítését célozzák az ember által létrehozott eszközök. A gépek használata és az automatizálás alkalmazása kiküszöböli az ember rossz vagy elégtelen tulajdonságait azokban a folyamatokban, amikben alkalmazásuk létjogosultságot nyer. Azáltal, hogy a gépek nem rendelkeznek önálló tudattal, a rájuk bízott feladatok végrehajtását „tudásuk szerint” a leggyorsabban és leghatékonyabban fogják végrehajtani. Nem zavarja őket a tudatlanság, a fáradtság vagy bármely emberi és fiziológiai szükséglet. Amennyiben a működésükhöz szükséges összes feltétel adott, feladatukat beteljesítik.

Ma már az **automatizáltság** szempontjából különböző szintekről beszélhetünk. **Részleges automatizáltság** esetén az emberi munkát, a mérő, az ellenőrző és irányító szerepet a rendszer



nem nélkülözheti. Működéséhez elengedhetetlen az ember jelenléte. A **komplex automatizáltság** esetén ezek a rendszerek teljes mértékben átveszik az imént említett feladatokat az embertől. A teljesen önműködő rendszerek felügyelete, fejlesztése, ellenőrzése, javítása és karbantartása lesz csak az ember feladata. [175] A mai **teljes automatizálás** megvalósításához a részleges gépesítésen, majd a komplex gépesítésen keresztül vezetett az út.

A hetvenes években az automatizálás jelentőségét az ipar szempontjából a termelékenység növelése kapcsán látták jelentősnek. Ma már ez nem csak az iparra korlátozódik. Azt kell, hogy mondjuk, az élet teljes vertikumára kiterjed az automatizálás jelentősége. Például azáltal, hogy nanorobotokat [177] készítünk és azokat állatok és emberek gyógyítására próbáljuk használni. Óriási lehetőségek elé néz a társadalom az automatizálás kapcsán, hogy az automaták egy érdekes ágát, a robotokat vagy az „emberszabású” robotokat, azaz androidokat már ne is említsük.

*Az automatizálás milyen műszaki-gazdasági előnyökkel jár, miért van fontos hatással emberi társadalmunkra?* A gépesítés később az automatizálás életszínvonal növekedést, munkaerő-takarékosságot, energia-megtakarítást, költségcsökkentést, munkafeltételek javítását, egészségvédelmet, minőségjavítást, selejtszűrést, üzembiztonság növekedést stb. jelentett.

Az emberiség szempontjából az automatizálás jelentőségét az **ipari forradalom** jelentőségéhez mérhetjük, illetve a gépesítés és később az automatizálás azok a fejlődési lépcsők, amik az ipari forradalmat végső soron meghatározták. [175]

Wolfgang Wahlster, a Német **Mesterséges Intelligencia** Kutatóközpont vezetője előadásában az Ipar 4.0-ról beszélt már 2013-ban. Lényegében meglátása szerint a 4. ipari forradalmat éljük, ami az ipari automatizálás tekintetében a **kiber-fizikai** rendszerek megvalósítását jelenti. [178]

A kiber-fizikai rendszerek automatizálásban betöltött szerepe a jövőben várhatóan egyre nagyobb jelentőséggel fog bírni, nem csak az ipari automatizálás tekintetében. Ez az **új ipari forradalom**, hatással van számos másik tudományterületre is. Így például a közlekedési rendszerek fejlesztésére.

Elértük az élet automatizáltságának azt a szintjét, ami lehetővé teszi azt, hogy például járműveink önálló módon „A” pontból „B” pontba biztonságban eljussanak. Gondoljunk csak itt az autonómműködésre képes gépjárművekkel kapcsolatos kutatásra. Természetesen ezeknek a rendszereknek is vannak keretfeltételei és korlátai, de egyre több feladatban egyre autonómabb működést mutatnak.

*A teljesség igénye nélkül, melyek azok a célterületek, ahol az automatizálást eddig alkalmazták?* Épületautomatizálás (pl.: intelligens épületek stb.): létesítmény típus szerint automatizáció (családi és társasházak, ipari létesítmények, kórházak, kereskedelmi létesítmény,

közületek), HVAC<sup>107</sup> rendszerek, világításvezérlés, épület biztonsági- és beléptető rendszer, energiamenedzsment rendszer stb. Ipari automatizálás (pl.: termelés, gyártás, folyamat stb.): mezőgazdasági automatizálás (pl.: öntözőrendszerek, etetőrendszerek stb.), energetikai rendszerek automatizálása (pl.: energetikai SCADA<sup>108</sup> stb.), adatgyűjtő rendszer és mérésautomatizálás stb. (pl.: ellenállás-, fény-, erő-, zajmérés stb.). Közlekedésautomatizálás (pl.: telematika stb.): közúti, vasúti, légi és vízi közlekedés automatizálása, forgalom felügyelet és irányítás, díjbeszedő rendszerek, jármű fedélzeti automatizálás stb.

### 3.4. A VASÚTI AUTOMATIZÁLÁS

Az automatizálás és annak tárgyköre, szűkebben véve a közlekedési rendszerek, konkrétan pedig a vasúti rendszer automatizálásával foglalkozom ebben a pontban. Az automatizálás tudománya számos másik tudományterülettel áll kapcsolatban. Ilyen például a matematika, fizika, villamosmérnöki, gépészeti, informatikai stb. tudományok. Ezért a teljes automatizálás eléréséhez sokrétű tudásra és a különböző szakemberek közös munkájára van szükség.

*Az automatizálás fogalmát eddig hogyan definiálták?*

Tóth szerint az „automatizálás az a tevékenység, amelynek eredményeképpen az ember irányítószerepét gépek, berendezések veszik át.” [179]

Goldberg szerint az automatizálás: „az automatizálással a hatékonyságot, a termelékenységet, a minőséget és a megbízhatóságot valósíthatjuk meg, elsősorban olyan rendszerek esetében, amelyek autonóm módon, gyakran strukturált környezetben<sup>109</sup>, hosszabb időn keresztül működnek. Automatizálással a környezet kifejezett strukturálására törekszünk.” [180]

Tehát az automatizálás az a folyamat, amivel a különféle rendszereket automatikus működésre bírjuk. A két említett definícióban az automatizálás olyan szerepét ismerhetjük meg, ami az emberi élet és az ezzel járó feladatok elvégzésének megkönnyítését teszi lehetővé. Az emberek számára az automatika hasznát a legegyszerűbb úgy tudom megfogalmazni, hogy az automatizmusok átveszik az emberi tevékenységek energia- és időigényes feladatait, hogy ezzel mentesítsék az embert olyan erőfeszítések alól, amik ránézve nem járnak különösebb „örömmel”. Az automatizálás akkor lesz valóban az ember hasznára, ha az élet oly területét érinti, amit az ember nem csinál szívesen, mert veszélyes, káros számára, illetve finansziális vagy éppen társadalmi haszonnal párosul annak a területnek az automatizálása. Természetesen találunk erre példát a már említett közlekedéssel kapcsolatban is. A közlekedés automatizálása

---

<sup>107</sup> Heating, Ventilation, Air Conditioning

<sup>108</sup> Supervisory Control and Data Acquisition

<sup>109</sup> A strukturált környezet alatt itt azt érthetjük, hogy szilárd határokkal rendelkező, felügyelt, korlátozott választási lehetőségekkel és jól definiált folyamatokkal és szabályokkal rendelkező közegek.

kapcsán fontos ok lehet a mentrendszerőség és az infrastrukturális átbocsátóképesség növelése vagy akár a balesetek számának csökkentése, kritikus közlekedési infrastruktúra rendszerek automatikus védelme.

A közlekedési rendszerek automatizálása (beleértve a vasútit is) nézőpontunkból tehát azt jelenti, hogy a közlekedési folyamatok komplex rendszerét az emberi rutinszerű feladatoktól mentessé tesszük. Ezt a közlekedési folyamatok emberekre gyakorolt hatásai és veszélyessége indokolja. Érthetjük ezt úgy is, hogy egy jól szervezett rendszerben optimális úthosszon csak szükséges mennyiségű üzemanyaggal/ villamosenergiával biztonságban és kellő gyorsasággal tudunk célba érni maximális komfort mellett. Mindez párosul az infrastruktúrák tökéletes kihasználtságával, a legkevesebb káros anyag és zajemisszióval. Persze ennek elérése némiképp mód utópisztikusnak tűnik, de **az intelligens közlekedési rendszerek, mint a mai tudásunk szerint a közlekedési rendszer legautomatizáltabb formája pontosan ezt célozza.**

*Hogyan definiálhatjuk a vasúti rendszer automatizációjának fogalmát?* A vasúti rendszer fogalmát a 2005. évi CLXXXIII. törvény a vasúti közlekedésről törvény alapján: 2. § 7.5. pontjában így definiálják: „vasúti rendszer: a hagyományos és a nagy sebességű vasúti rendszerek strukturális és működési alrendszereinek összessége, valamint ezek irányítása és üzemeltetése.” [181] **A vasúti rendszer automatizációja tehát azt jelenti, hogy a hagyományos és a nagy sebességű vasúti rendszerek strukturális és működési alrendszereinek rutinszerű működése emberi beavatkozás nélkül mehet végbe. Így az ember feladatai a teljesen önműködő rendszerek esetén végezendő feladatokra fognak korlátozódni.**

Az automatizáltság fokozata	A vasúti jármű működésének típusa	A vasúti jármű mozgásának irányítója	A vasúti jármű megfékezésének végrehajtója	A vasúti jármű ajtóinak működtetője	A működési zavarok elsődleges befolyásolója
GoA 1	ATP <sup>110</sup> rendszer vonatvezetővel	Vonatvezető	Vonatvezető	Vonatvezető	Vonatvezető
GoA 2	ATP és ATO <sup>111</sup> rendszerek vonatvezetővel	Automatikus	Automatikus	Vonatvezető	Vonatvezető
GoA 3	Vonatvezető nélkül	Automatikus	Automatikus	Vonat személyzet	Vonat személyzet
GoA 4	UTO <sup>112</sup>	Automatikus	Automatikus	Automatikus	Automatikus

3.4.1. táblázat. Az automatizáltság fokozatai földalatti vasúti rendszerek esetében az UITP<sup>113</sup> szerint [182]

<sup>110</sup> Automatic train protection

<sup>111</sup> Automatic train operation

<sup>112</sup> Unattended train operation

<sup>113</sup> Union Internationale des Transports Publics - Nemzetközi Tömegközlekedési Szövetség

A kötöttpályás közlekedési rendszerek kapcsán is van példa a teljesen önműködő rendszerre. A metróközlekedés és a szeparált működésű ultra gyors nagyvasutak (Tokaido Shinkansen) azok, amik a leginkább automatizált módon működnek világviszonylatban. Az alábbi táblázatban például a metróközlekedés automatizáltságának fokozatait láthatjuk.

*Jelenleg Magyarországon milyen vasúti rendszereket, **strukturális és működési (funkcionális)** alrendszereket érint a normál és emelt sebességű nagyvasúti, vasúti automatizáció?*

- Vasúti irányító és felügyeleti rendszerek (pl.: ERTMS, központi forgalomellenőrző (KÖFE) és forgalomirányító (KÖFI) berendezések stb.)
- Biztosítóberendezések (jelfogófüggéses és elektronikus állomási berendezések, vonali berendezések automata vonali sorompó, önműködő térközbiztosító berendezés stb.)
- Járműfedélzeti rendszerek (mozdonyfedélzeti berendezések, fedélzeti utastájékoztató stb.)
- Vasúti pálya felügyeleti és diagnosztikai rendszerek (pl.: Videós Pályafelügyeleti Rendszer (VPR) stb.)
- Vasúti távközlési rendszer (pl.: EIRENE - Egységes Európai Vasúti Integrált Rádióhálózat, GSM-R - Global System for Mobile Communications – Railway stb.)
- Erősáramú villamos berendezés felügyeleti és irányító rendszer (pl.: felsővezetéki energia távvezérlés (FET), helyi távműködtető berendezés (HETA) stb.)
- Európai Egységes Vonatbefolyásoló Rendszer (pl.: ETCS - European Train Control System)
- Járműdiagnosztikai rendszerek (pl.: hőnfutás- és szorulófékjelző berendezések, laposkerék-jelző berendezések, áramszedő-megfigyelő rendszer, rakszelvény-ellenőrző rendszer stb.)

Az automatizálás és a vasút kapcsolatára találunk utalást Arató Károly könyvében (Vasúti rendszertechnikai ismeretek). A vasúti automatákat így határozza meg: „A vasúti biztosítóberendezések a vasúti infrastruktúra olyan műszaki rendszerlemei, amelyek célja a vonatbalesetek és veszélyeztetések megakadályozása, továbbá a vonatok közlekedésének szabályozása.” [183] Rendszerezése szerint a vasúti rendszerben lévő automaták lényegében a **biztosítóberendezéseket** jelentik. Meglátásom szerint ez a kör egyre inkább kibővül, főleg a kooperatív intelligens közlekedési rendszerek létrejöttével. A már tárgyalt számos automatizált vasúti rendszeremet joggal említhetjük a vasút automatizáció elemének.

Hagyományosan az automatizálás egyike eszköze az irányítástechnika, így van ez a vasút esetében is. Az irányításelméletet két részre oszthatjuk, az egyik részterület a vezérlés, a másik

pedig a szabályozás. A vasúttechnikán belül számos példát tudunk hozni irányítástechnikai rendszerekre. Ilyen rendszer az imént említett biztosítóberendezés is.

Jochen Eickholt<sup>114</sup> szerint a jövő vasújtját a **digitalizáció** és az **automatizálás** fogja meghatározni. A vasút rendszerének megbízhatóságát a prediktív karbantartással, flexibilis menetrenddel és erőforrás menedzsmenttel, decentralizált biztosítóberendezésekkel és intelligens jegy és utasinformációs rendszerrel kívánják megvalósítani. Szerinte ezekből az alrendszerekből származó adatok elemzésével elérhetővé válhat a 99,98% rendelkezésre állás biztosíthatósága. [184]

A biztosítóberendezések fejlődésénél is megfigyelhetjük az automatizálás történetiségére jellemző lépcsőket. Ilyen jelentős szakasz volt a mechanikus<sup>115</sup>, elektro-mechanikus<sup>116</sup>, a jelfogós<sup>117</sup>, és az elektronikus biztosítóberendezések<sup>118</sup> létrejötte. Kijelenthetjük, hogy a mai viszonyok között a vasúti rendszer automatizáltsága kiterjed a távközlési, biztosítóberendezési, erősáramú, utastájékoztató és gördülőállományi rendszerekre az állomási és megállóhelyi épületautomatizálási rendszerekre.

A rendszer sérülékenységét az egyik fő részegység bemutatásával szemléltetem. A vasúti járművek helyzetének érzékelésének automatizációját (vágány foglaltságérzékelést) és az azzal kapcsolatos rendszerek működését röviden az alábbiakban bemutatom. Ma Magyarországon (többnyire világon is) a vasúti járművek érzékelése alapvetően sínáramkörök segítségével történik, melynek működése azon alapszik, hogy a vasúti kerékpár lényegében többek között a sínszalakból kialakított áramkört rövidre zárja. Ezáltal az adott szakaszon a vasúti jármű ottléte érzékelésre kerül a jelek kiértékelése után. A vasúti foglaltságérzékelés technikáin belül további megoldások is ismeretesek, ilyen a tengelyszámláló rendszer, aktív zárjelző figyelő rendszer, infra rendszer, ellenállás mérő rendszer, rádiós helymeghatározó rendszer, műholdas helymeghatározó rendszer. [183] A sínáramkörös rendszer hibáit az ágyazat szennyezése, sínkorona oxidációja, az esetleges hamis foglaltságot okozó fémtárgyak sínre kerülése vagy a szigetelt résznél a vasúti sínfejek összeverődése stb. okozhatja. A vasúti rendszer szabotálhatósága, működésének megzavarása könnyedén megvalósítható ennek az érzékelési módnak a szabotázsával. Az érzékelés zavartatásával vagy, hamis foglaltsági adatok rendszerbe való táplálásával a vasúti forgalom hosszabb ideig is késleltethető. Ha nem tudjuk meghatározni a vasúti járművek helyzetét a hálózaton, akkor azok irányítására nincs megfelelő automatizált módunk. Azért, mert a vasúti rendszer automatizáltsága jelentős. Sok esetben a vonat

---

<sup>114</sup> CEO, Siemens Mobility, 2016.01.27.

<sup>115</sup> Mechanical interlocking

<sup>116</sup> Electro-mechanical interlocking

<sup>117</sup> Relay interlocking

<sup>118</sup> Electronic interlocking

közlekedése váltja ki például a jelzők, sorompók működését a hálózaton, ehhez pedig szükséges a járművek helyzetének ismerete is. A kommunikáció megléte a vasúti járművezető és a forgalom irányítója között még nem elegendő a biztonságos, gyors és nagy kapacitású közlekedéshez. Egy ilyen kis részlet ismertetése után már láthatjuk, hogy mennyi apró, de fontos tényező alakítja a vasútüzem és a mai automatizálás kapcsolatát.

A brit Network Rail a sínáramkörök hibáinak csökkentésére összetett programot dolgozott ki távfelügyeleti rendszert valósított meg a sínáramkörök meghibásodásának előrejelzésére, karbantartási és felújítási programot hirdetett és korszerű szigetelt illesztéseket alakítanak ki a minél megbízhatóbb vasúti közlekedés érdekében. [185]

Kijelenthető, hogy az automatizálás egyik fő célja az emberi tényező csökkentése és a balesetek megakadályozása. Természetesen a vasúti rendszer kapcsán az erre optimalizált formát alakították ki. Ennek ellenére mégis történnek súlyos balesetek. A balesetek nem csak emberi életet követelnek, de pénzügyi szempontból is hátrányosak mind a vasúttársaságok, mind pedig a teljes társadalomra nézve. Éves szinten az Európai Unió GDP-nek 1 %-a veszteség képpen realizálódik a közlekedési rendszerekben kialakuló forgalmi zavarok okán. [186] 2014-ben az Európai Unió 28 tagállamának GDP-je elérte a 13900 milliárd eurót. Ennek az egy százaléka 139 milliárd euró. A torlódással járó költségek a vasúti teherszállítás esetében átlagosan 0,1 euró/ tonnakilométer (2008). De ez az érték a különböző országokat tekintve 0,1 - 0,5 euró/ tonnakilométer között is lehet. [187] Magyarországon 2014-ben hozzávetőlegesen 10 milliárd tonnakilométert szállítottak, ehhez képest Németországban pedig több mint 112 milliárd tonnakilométert. [188] Ezekből az adatokból csak következtetni lehet a gazdasági hatásokra, amit a közlekedésen belül a vasúti rendszerben lévő zavarok okozhatnak.

Ahhoz, hogy valóban előnyös legyen számunkra a vasút automatizálás, szükséges a vasúti rendszerben lévő inkonzisztenciák<sup>119</sup> csökkentése. Inkonzisztencia a mai automatizált rendszerek és a biztonságos vasútüzem megvalósítása között áll fenn. Az automatizáltság és a balesetek közötti inkonzisztenciának okára a következő alfejezetben statisztikai adatokban és esettanulmányaiban keressük a válaszokat. [189]

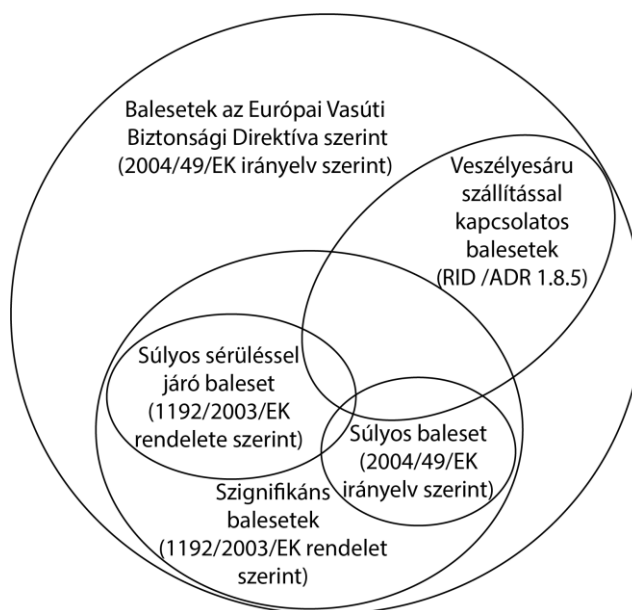
### **3.5. A VASÚTI AUTOMATIZÁCIÓ ÉRTÉKELÉSE A BALESETI HELYZETEK TÜKRÉBEN**

Legfőképpen a balesetek okait vizsgálom és azt, hogy automatizálás segítségével csökkenthető-e hazai és európai szinten a balesetek bekövetkezése. A terminológiát áttekintve maga a baleset fogalma is más-más tartalommal bír (lásd.: Doménspecifikus baleset definíciók összefüggései). Vizsgálataim a vasúti rendszert üzemeltető emberi erőforrást és a vasúti

---

<sup>119</sup> Ellentmondások

rendszer műszaki részét az infrastruktúrát, a gördülőállományt, biztonsági berendezéseket érintik.



3.5.1. ábra. Doménspecifikus baleset definíciók összefüggései [190]

Két fontosabb definíciót idézek egyiket a vasúti biztonsági irányelvből, a másik pedig európai szintű vasúti statisztikai adatokkal kapcsolatos irányelvből.

„„Súlyos baleset”: vonatok összeütközése vagy kisiklása, amely legalább egy halálos áldozattal, öt vagy több személy súlyos sérülésével, illetve a járművek, az infrastruktúra vagy a környezet jelentős károsodásával jár, valamint más hasonló baleset, amelynek nyilvánvaló hatása van a vasút-biztonsági szabályozásra vagy a biztonsági irányításra; „jelentős kár”: olyan kár, amelyről a vizsgáló testület azonnal megállapíthatja, hogy az összesen legalább kétmillió eurót tesz ki” [191]

A „súlyos baleset: minden olyan baleset, amely legalább egy mozgásban lévő vasúti járművet érint, és legalább egy személy halálát vagy súlyos sérülését idézi elő, vagy jelentős kárt okoz a járműállományban, a pályában, egyéb berendezésekben vagy a környezetben, vagy jelentős forgalmi zavart okoz. Nem tartoznak ide a műhelyekben, raktárakban és jármű telephelyeken történő balesetek;” [192] Van némi átfedés a két fogalom között, de nem az egy az egyben fedik egymást. Ennek alapján az utóbbi definícióra koncentrálna néztem át a vasúti balesetekkel kapcsolatos európai adatokat.

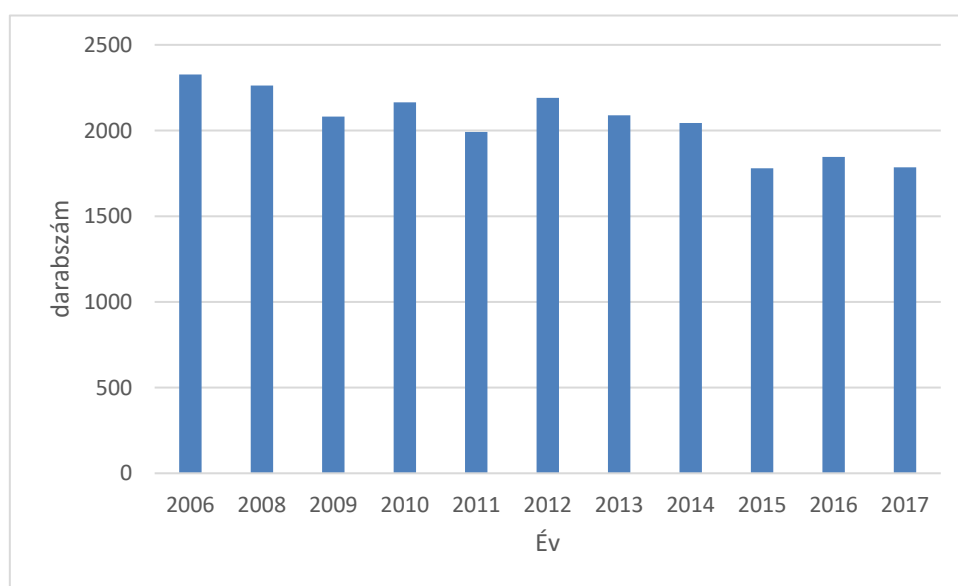
*Milyen statisztikai tényeket ismerünk a vasúti balesetekkel kapcsolatban?*

A vasúti balesetek 77,2% -át (2013, UIC<sup>120</sup>) harmadik fél okozza (külső ok) másodsorban pedig 7,3%-ban a humán faktor felelős a balesetekért (2013, UIC) (vasút szempontjából belső

<sup>120</sup> UIC: Union Internationale des Chemins de fer - Vasutak Nemzetközi Szövetsége

okok). Az UIC biztonsági jelentése külső oknak nevezi a harmadik feles<sup>121</sup> baleseti okokat, valamint az időjárás és a természeti környezet által okozott eseményeket. Ezek az okok a balesetek több mint 80 %-át okozzák. A harmadik feles balesetek esetében 47,1 %-ban az engedély nélküli átjárást említi okként, valamint még jelentős 24,8 % a szintbeni útátjárókban történt járművek (ez a magasabb, 17,2 %) és gyalogosok (7,6 %) elütésének aránya is. A belső okok esetében az infrastruktúra, a gördülő állomány, a humán faktor (csak vasutasok) és a vasutat (utazásra) használókat említi. A belső okok a balesetek közel 20 % - áért felelősek. Itt a legnagyobb arányt a humán faktor (7,3 %) teszi ki, majd a gördülő állomány (4 %), a vasutat használók (3,9 %) és végül az infrastruktúrával (3,4 %) kapcsolatosan felmerülő okok. [193]

A fenti adatokból megállapítható, hogy a vasúti balesetek 88,4 %-a közvetlenül az emberek tevékenységéből adódik (tiltott helyen való átjárás, jelzések figyelmen kívül hagyása stb.). A hibák 7,4 %-a műszaki jellegű (közvetetten emberi), amelyek esetében is az emberi tevékenység valamely tökéletlenségéből adódó probléma áll a balesetek hátterében (tervezési hiba, kivitelezési hiba, karbantartási hiba stb.). Az esetek legkisebb hányadát (3,5 %) a véletlen vagy vis maior események okozta balesetek teszik ki (időjárási és környezeti hatások). [193]



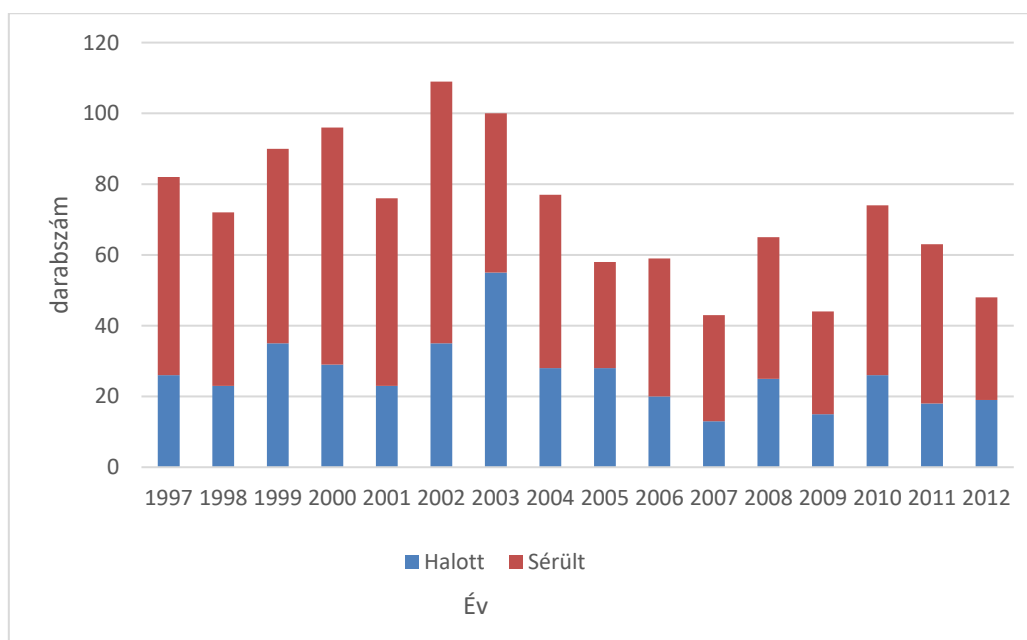
3.5.2. ábra. Jelentős vasúti balesetek Európában [190], [193]–[201]

Az emberi tényező csökkentése a teljes közlekedési folyamat kapcsán reális baleseti statisztikai javulást eredményez.

Évenkénti bontásban jelentős mennyiségű személy sérül, illetve hal meg a szintbeni közút-vasút keresztezésekben Magyarországon. Ennek statisztikai adatai láthatók a következő diagramon 1997 és 2012 közötti időszakban. (Lásd az 3.5.3. ábrán.)

<sup>121</sup> Harmadik fél az aki nem utas és nem is vasúttüzem lebonyolításában résztvevő.





3.5.3. ábra. 1997 és 2012 között vasúti átjáróban történt járműelütések személyi következményei a MÁV Zrt. hálózatán [193]

A balesetek alkalmával a vasúti járművek meghibásodásából adódó problémák is jelentős károkat okoznak. Az emberi élet értékét megbecsülni sem lehet. Mindemellett egy baleset esetén jelentős anyagi kár is keletkezik. A kár keletkezhet mind a járművekben, mind az infrastruktúrában. A 3.5.1. táblázat a hőnfutás<sup>122</sup> miatt bekövetkezett balesetek kárértékeit szemlélteti.

Dátum	Helyszín	Kárérték	
		folyó áron (HUF)	2015-ös áron (HUF)
1998.07.17	Kistelek	4 300 000	11 490 000
2001.09.01	Bp. Kelenföld	47 000 000	90 820 000
2001.12.08	Balatonlelle	100 000 000	193 200 000
2002.10.10	Dömsöd	350 000	620 000
2003.06.02	Tata	24 000 000	40 330 000
2006.12.27	Lébénymiklós	120 000 000	171 100 000
2014.04.06	Ferencváros	Pályában 40 000 000	40 000 000
2014.06.10	Mezőkövesd - Füzesabony	Pályában 97 000 000	97 000 000
Összesen:			<b>647 560 000</b>

3.5.1. táblázat. Hőnfutás miatt bekövetkezett balesetek a MÁV Zrt. hálózatán 2014-ig [193]

A balesetek elkerülésére és a vasúti rendszer további fejlesztésére **két lehetőség** mutatkozik. Az **első eset**, hogy a meglévő rendszerbe további szenzorokat, diagnosztikai berendezéseket új részelemeket iktatunk be. Ezzel mintegy tökéletesítve az automatizált vasútüzemet. Az 3.5.2

<sup>122</sup> „Vasúti járműveknél a tengelycsap és a csapágy között fellépő erős súrlódás következtében mértéken felüli csapágyemelegedés és ennek következményeként futóműsérülés keletkezik. A hőnfutás oka túlnyomórészt az elégtelen kenés és a helytelen szerelés. Kezdeti fokán a fűtülő hangról ismerhető fel. A hőnfutott járművet a vonatból ki kell sorozni.” [282]

táblázatban konkrét már ma is alkalmazott példákat látunk. Nemzetközi példát hozva ilyen a Network Rail Intelligent Infrastructure programja. [202]

Vasúti átjárók biztonságának növelése	Közlekedő vonatok rendellenességeinek kiszűrése	Videós pályafelügyeleti rendszer
Biztosítottóságának javítása	Hőnfutásjelző [203][204]	Úrszelvény mérés és vizsgálat [204]
Vonatervezékelésének javítása	Dinamikus kerékterhelés és laposkerék jelző berendezés [203][204]	Ultrahangos sínvizsgálat [204]
Videokamera megfigyelőrendszer [203]	Rakománycsúszást ellenőrző berendezés [204]	Vágánygeometriai mérés [204]
	Nyomkarima ellenőrző berendezések [204]	Mérműki létesítmények (hidak, átvezetők, alagutak, stb.) felügyelete [204]
	Áramszedő megfigyelő berendezések [204]	Vonalbeutazás automatizálása [204]
	Gyalogbejárás automatizálása [204]	Kiterővizsgálatok és mérések [204]

3.5.2. táblázat. MÁV Zrt. közlekedésbiztonsági projektjei során a magyar vasúti rendszerbe illesztett új „intelligensnek” mondott elemek (saját szerkesztés)

A **másik módszer** pedig a **rendszer működésének új alapokra történő helyezése** lehet. Erre példa pedig a **kommunikáció alapú** vasúti közlekedés megvalósítása (a kommunikáció alapú vasút irányítás<sup>123</sup>, EGNOS<sup>124</sup> - szatellit alapú vasúti helymeghatározás). [205] Mindkettő megoldásra látunk példát Európában is. [206] [207]

### 3.6. A VASÚTI RENDSZER ENERGIAELLÁTÁS (ENE) STRUKTURÁLIS ALRENDSZERÉNEK ELEMZÉSE

*Mi a rendszer célja? Milyen funkcionalitással, szolgáltatásokkal rendelkezik az adott rendszer? Hogyan épül fel a rendszer, milyen elemi vannak?*

Az energiaellátás, mint strukturális alrendszer két fő elemből áll az egyik a vasúti villamos felsővezetéki rendszer, a másik pedig a térvilágítási rendszer. 103/2003. (XII. 27.) GKM rendelet, az Országos Vasúti Szabályzat I. kötete szerint [208] ezek az alrendszerek a következő képen definiálhatók. A vasúti villamos felsővezeték: „A villamos felsővezeték kapcsolókkal áramkörökre osztott olyan vezetékrendszer, amely a villamos vontatójárművek részére sebességtől és a pályaviszonyoktól függetlenül folyamatos, villamos ívképződéstől és jelentősebb szikrázástól mentes áramszedést biztosít.” [208] A térvilágítás: „A vasúti térvilágítás a vasútüzem különleges követelményeit kielégítő olyan megvilágítást biztosít, amely kápráztatás, zavaró árnyékképződés mentes, a vasútüzemi fény- és alakjelzők és egyéb üzemi szempontból fontos létesítmények megfigyelhetőségét segíti, azok jelzéseit nem zavarja.” [208] A továbbiakban a térvilágítással nem foglalkozom a disszertációm terjedelmi

<sup>123</sup> Communications-based train control

<sup>124</sup> European Global Navigation Satellite

keretei végett. „A vasúti közlekedési rendszerben az energiaellátást a villamos alállomások biztosítják<sup>125</sup>. A villamos alállomások által táplált felsővezetékrendszer látja el az energiaátviteli és elosztó feladatokat a helyhez kötött és mozgó fogyasztók irányába és egyben speciális kialakításánál fogva lehetővé teszi a fogyasztói szerepet betöltő villamos mozdonyok - mozgás közbeni - áramszedős energiavételezését.” [209]

Az energiaellátási strukturális alrendszer felsővezetéki és alállomási szempontból való elemzése, részelemekre bontása [210] [211]:

- Villamos alállomások (pl.: helyi működtetésű és távvezérelt; transzformátorok, kapcsolóberendezések, védelmi és jelző segédüzemi berendezések stb.).
- Sodronyok, vezetékek, kábelek. (pl.: tápvezeték, megkerülő vezeték, földági visszavezető sodrony stb.).
- Visszatérő áramkörök. Sínszál (mint a visszatérő áram vezetője), vágánykötések (pl.: Z-kötés, Heveder-átkötés stb.).
- Felsővezetéki berendezések:
  - Mezők<sup>126</sup>, speciális mezők<sup>127</sup>, hosszláncok (félkompenzált, kompenzált; A, B, B2, C típus; hossztartó sodrony, munkavezeték vezeték, függesztő sodrony, „Y” sodrony, szorítók, függesztékek, kötőelemek, feszítő szerkezeteket, összekötők stb.).
  - Tartószerkezetek (egyedi: főkar, segédkar, oldalkar, feszítőhuzal, támasztókar, szigetelők, rögzítő és csatlakozó elemek, szerelvények, csuklós tartóbakok, feszítő sodrony, orrfüggesztő, szélkifúvógátló függesztő; csoportos: keresztmezős vagy portálszerkezetes: kereszttartó, gerenda vagy portálszerkezet, lehorgonyzó berendezések, irányosodronyok, csomóponti függesztő huzal, szigetelők, irányosodrony himba, oldalkar, rögzítő és csatlakozó elemek, szerelvények).
  - Tartóoszlopok (fa – csak ideiglenes hibaelhárítási céllal; acél: T, F, K, KR, MKR típus, acél cső; betonacél: B, P és BM típus; funkciójuk szerint: egyszerű tartó oszlopokat; feszítőoszlopokat, keretállás rögzített oldali oszlopokat, keretállás tartó lengőoszlopokat).
  - Betonalapozások (befogott vagy hasáb alapok; lépcsős alapok; lemez alapok)
  - Szigetelők (szakaszszigetelő, válaszszigetelők, támszigetelők, kapcsoló álló/forgó szigetelők).

---

<sup>125</sup> A diesel meghajtású vontatást nem említi ennél a területnél az irodalom.

<sup>126</sup> A munkavezeték és a tartósodrony illetve tartószerkezet közötti feszültség alatt álló részek.

<sup>127</sup> Pl.: útátjáró feletti munkavezeték, mechanikai szakaszolás, váltó feletti keresztezések, semleges szakaszok.

- Szakaszoló és betápláló berendezések. Szakaszkapcsolók (egyedi vagy csoportos elhelyezésű: kapcsolókeret; kézi vagy motoros hajtású berendezések)
- Szikraközök és túlfeszültség levezetők.
- Földelő és védő áramkörök. Pl.: földelések (érintésvédelmi, üzemi, munkahelyi).
- Villamos szerelvény előfűtő berendezések
- A felsővezeteki hálózatról táplált transzformátorok
- Villamos váltófűtő berendezések
- FET központ (SCADA hardver, szoftver, távközlőberendezések)

### **3.7. A VASÚTI RENDSZER ELLENŐRZŐ-, IRÁNYÍTÓ-, JELZŐ- ÉS BIZTOSÍTÓBERENDEZÉSEK (CCS) STRUKTURÁLIS ALRENDSZERÉNEK ELEMZÉSE**

*Mi a rendszer célja? Milyen funkcionalitással, szolgáltatásokkal rendelkezik az adott rendszer? Hogyan épül fel a rendszer, milyen elemei vannak?*

Ellenőrző-, irányító-, jelző- és biztosítóberendezések strukturális alrendszereihez tartozik a vasúti jelző- és biztosítóberendezések, vasúti távközlő berendezések, vasúti informatika. Az utóbbi kettő alrendszerekkel lényegi módon nem foglalkozok munkámban, a disszertációm terjedelmi keretei végett. Vasúti jelző- és biztosítóberendezések: „Az ellenőrző-, menetirányító-, jelző- és biztosítóberendezéseknek, valamint – működésük során alkalmazott<sup>128</sup> - eljárásoknak lehetővé kell tenniük, hogy a vonatok a hálózat adott vonalára kitűzött céloknak megfelelő biztonsággal közlekedjenek, és a berendezések korlátozott üzemmód mellett is tegyék lehetővé az engedélyezett vonatok biztonságos közlekedését.” [208]

Biztosítóberendezési strukturális alrendszer elemzése, részelemekre bontása:

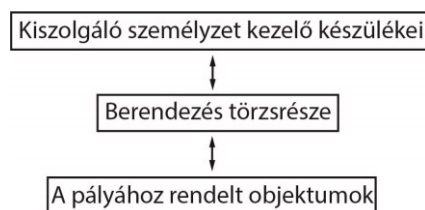
A. Állomási biztosítóberendezések („kulcsrögzítő berendezés, mechanikus biztosítóberendezés, fényjelzős mechanikus biztosítóberendezés, jelfogó-függéses biztosítóberendezés, elektronikus biztosítóberendezés”) [183])

- Belsőtéri szerkezeti részek
  - Kezelő és visszajelentő készülékek
  - Működtető, logikai döntést hozó, biztonsági ellenőrző elemek
  - Működtető szerkezetek
  - Áramellátó rendszer
- Külsőtéri szerkezeti részek

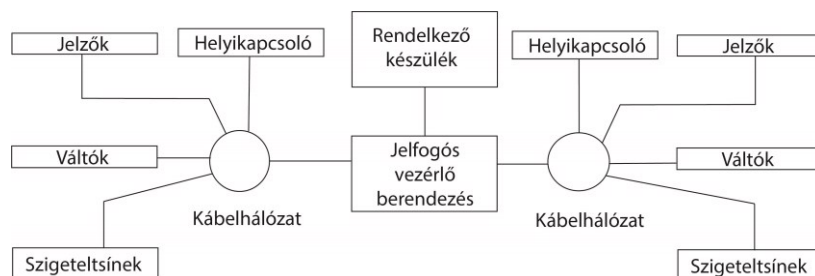
---

<sup>128</sup> Saját megjegyzés

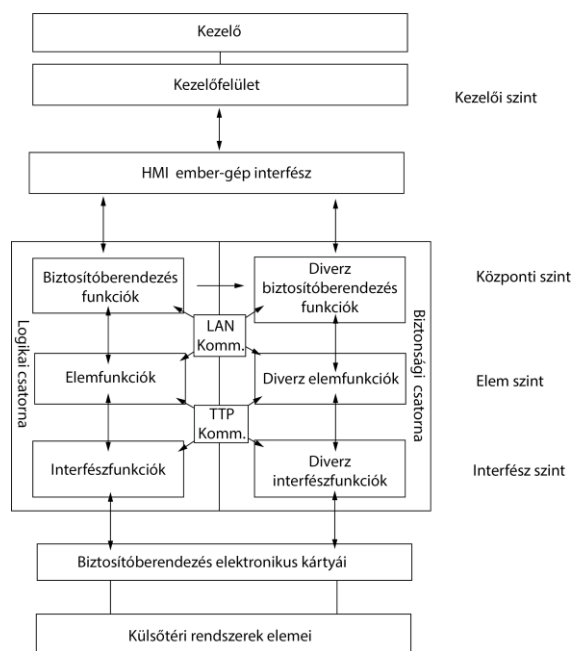
- Jelzők (pl.: fény, alak; bejárati, kijárati előjelző, ismétlőjelző, tolatási, gurítási térközjelző stb.)
  - Váltóállító, váltólezáró és váltóellenőrző készülékek
  - Vonatérzékelő berendezések (pl.: sínáramkörök, tengelyszámlálók, euro baliz stb.)
  - Oldalvédelmi berendezések (pl.: vágányzáró sorompó, kisiklasztó saru)
  - Kábelek
- B. Vonali berendezések („rendeltetésük szerint: állomásközi, kiágazási, elágazási berendezések; rendszerük szerint: vonatjelentő-óri jelzőberendezés, nem önműködő biztosítóberendezés, önműködő biztosítóberendezés” [208])
- Vonali jelző- és biztosítóberendezések
  - Térközbiztosító berendezésnek
- C. A közút-vasút szintbeli kereszteződését (vasúti átjáró) biztosítóberendezések („fény sorompó, félsorompóval kiegészített fény sorompó, teljes sorompó vagy a közút mindkét oldalát lezáró külön fény sorompó; vasúti jelző- vagy biztosítóberendezéssel kapcsolatban nem levő, vasúti jelző- vagy biztosítóberendezéssel kapcsolatban lévő”[208])
- Jelfeladás, vonatbefolyásolás, éberségellenőrzés.
  - Pályamenti alrendszer.
  - Járműfedélzeti alrendszer.



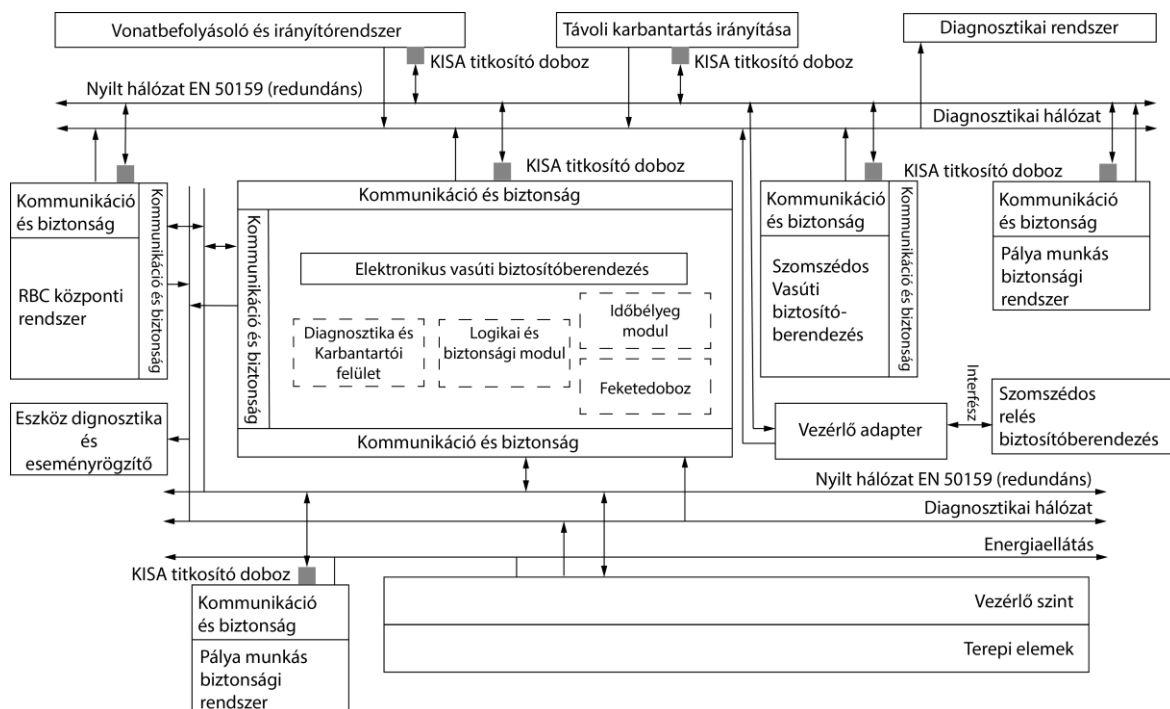
3.7.1. ábra. Biztosítóberendezések funkcionális modellje a vasúttechnika kézikönyv szerint [212]



3.7.2. ábra. A biztosítóberendezési elrendezés vázlatok jelfogós biztosítóberendezés [212]



3.7.3. ábra. Elektronikus biztosítóberendezés (Elektra2) rendszer architektúra [213]



3.7.4. ábra. Eulynx által kidolgozott biztosítóberendezési referenciamodell [214]

Amire jó példa a 2014-ben indult EULYNX projekt (13 vállalat), amelynek célja: biztosítóberendezési referenciamodell és standardizált interfészek kidolgozása. [214]

## RÉSZKÖVETKEZTETÉSEK

Ebben a fejezetben bemutatam, hogy a vasúti automatizáció mit is jelent. Alapvető megállapításom, hogy a nemzetközi szakirodalom leginkább az automatizálás fokozatait csak a vasúti járműre és annak irányítására (járművezető, járművezető nélküli üzem) koncentrál csak. Kutatásaim szerint ez hiányos, hiszen számos más berendezés is beletartozik a vasúti

automatizáció tárgykörébe. Ezért az IIVR projekt kapcsán a termékváltozatokra vonatkoztattam, és határoztam meg a nagyvasúti automatizálási szinteket, immáron már nem csak járművek vonatkozásában.

GoA 4	GoA 3	GoA 2	GoA 1	Grades of Automation (GoA)	
IntelliSys-R Vision I.	IntelliSys-R Advanced I.	IntelliSys-R Normal I.	IntelliSys-R Base I.	Termék verzió	
X	X	X	X	Automatikus vágányút- és jelzőállítás	Elnevezés és felügyeleti funkciók / verzió és szabályozó funkciók
X	X	X	X	Automatikus váltóállítás	
X	X	X		Automatikus menetirány beállítás	
X	X	X		Automatikus jelzőállítás (vágányút lezárás után és további biztonsági követelmények mellett pl.: egyidejű egymásra veszélyes menetek kizárása)	
X	X	X	X	Automatikus csökkentett sebességű jelzési kép, jelzőizó hiba esetén	
X	X	X		Progresszív vonatvágányút kiadás (vonat által működtetett vágányutak, pl.: ÖJÜ)	
X				Szintbeni vasúti keresztezések és különböző nyomtávú rendszerek kezelése	
X	X	X		Szintbeni utátjárók kezelése	
X	X	X		Kényszer menetirányváltás	
X	X	X	X	Centralizált automatikus blokk (ATP-vel ill. nélküle)	
X	X	X	X	Egyedi váltóállítás (AC - DC meghajtással)	
X	X	X	X	Manuális útvonal lezárás és feloldás	
X	X	X	X	Kényszerített, (késletett) vágányútoldás	
X	X	X	X	Egyedi jelzőállítás (izzó, LED)	
X	X	X	X	Térköz megállj! Jelzők manuális vörösre kapcsolása	
X	X	X	X	Hívójelzés kivezérlés	
X				Vasúti "fekete doboz" - Menetró regisztrátumok	
X				ERTMS, FOR interfész	
X	X	X		Fedélzeti alrendszerhez való információ szolgáltatás	
X	X	X	X	Kommunikációs hálózat	
X	X	X	X	Központi forgalomirányító helyiség	
		X	X	Pályamenti berendezések	
X	X	X		Erőáramú berendezések felügyelete és irányítása	
X	X			Nyitott és moduláris architektúra	
X	X			Valamennyi topológiai adottságra (kis és nagy IXL; vonali vagy állomási)	
X	X			A berendezések elhelyezésére vonatkozó köztöttségek csökkentése	
X	X	X	X	Nyitott protokollok alkalmazása	
X	X	X		Tengelyszámológó közvetlen kezelése a biztosítóberendezéssel	
X	X			SIL4 szintű MMI (HMI)	
X				4 vezetékes váltóhajtómű kezelése 380 AC, LED fő és tolatásjelző	
X				Elektronikus utátjárók integrációja	
X	X	X	X	Könnyű adaptálni relés berendezésekhez	
X	X			Jelfogós automatikus térköz illesztése	
X	X			Jelfogós ellenmenet és utolérés kizárás illesztése	
X	X			Jelfogós vonali sorompók illesztése	
X	X			75 Hz-es kódolt sínáramkörök adó- és vevőberendezéseinek illesztése	
-	-	-	-	Kulcselzáró berendezések illesztése	
X	X	X	X	Védelmi berendezések (siklasztó saru, vágányzáró sorompó)	
X	X			4 vezetékes váltóhajtómű objektumvezérlő kártyája	
X	X	X	X	Generikus alkalmazás alapú	
X	X	X		Füst és tűjelző rendszerek	
X	X	X	X	Beléptetőrendszer	
X	X			Vészhelyzeti kommunikációs rendszerek	
X				ETCS	
X	X			EVM	
X	X			EÉVB	

3R1. táblázat. A GoA szintek infrastruktúrára való alkalmazása (nagy vasúti automatizációs szintek)

## **4. A VASÚTI RENDSZERTERVEZÉS TÁRGYKÖRE – TERVEZÉSELMÉLET, MÓDSZER, GYAKORLAT**

A klasszikus tervezésemélet a műszaki tudományos életben alkalmazott tervezéseméletekből és módszertani eszközökből tevődik össze. Munkám esetében tervezéseméletre egy műszaki feladat megoldása, kutatás-fejlesztési folyamat végrehajtása (IIVR projekt), majd későbbiekben esetleges terméktervezési eljárást érintően van szükség. A feladat megoldása során módszertani eszközök alatt a kutatás-fejlesztési folyamat tervezési fázisaiban, szakaszaiban alkalmazott módszereket értem. Tervezés folyamata olyan módszertani lépések és irányelvek mentén halad, amellyel a tervezői munka sikeresen megvalósítható. Az irányító rendszerek szervezése és tervezése során az erőforrások hatékony felhasználásával valósítjuk meg a rendszer céljait. Munkámban a közlekedési rendszerek szervezési és tervezési diszpozíciójával<sup>129</sup> az információs- és irányítórendszerekre vonatkozólag foglalkozom, természetesen figyelemmel arra, hogy a közlekedési rendszer ezen területe további területekkel, munkafolyamatokkal közlekedés üzemi folyamatokkal stb. is kapcsolatos.

### **4.1. TERVEZŐI TEVÉKENYSÉG**

A hagyományos vasúti rendszerek tekintetében az Országos Vasúti Szabályzat I. kötetében a vasúti építmények, eszközök tervezésére vonatkozó pontban előírják, hogy csak erre jogosult tervező<sup>130</sup> készíthet tervet. Előírják továbbá, hogy adott rendszerre vonatkozó tervdokumentációk formai és tartalmi követelményeit rendeleti szinten vagy hatóság által kiadott állásfoglalásban kell meghatározni. Az OVSZ<sup>131</sup> tartalmaz műszaki előírásokat munkámra vonatkozóan. „A tervezés során a vasúti építményekre vonatkozó műszaki, üzemeltetési követelményeket, és a helyi település- és közlekedésfejlesztési elképzeléseit szem előtt kell tartani.” [208] Az országos távlati fejlesztési terveket is figyelembe kell venni. A műszaki terveket mindig teljeskörűen kell készíteni, azaz a „pálya – híd – biztosítóberendezés és távközlés – villamos felsővezeték – épületek – peronok – térvilágítás – rakodó berendezések stb. együttes tervezetési kötelezettsége, függetlenül attól, hogy melyik építmény építése, korszerűsítése, átalakítása időszerű.” [208] A vasúti berendezések építéséhez és gyártásához is olyan termékek (pl.: építési termék) használhatóik fel, amelyek az európai hálózatba való

---

<sup>129</sup> Diszpozíció jelentése: elrendezés, javaslat, tervezési program. Pl.: diszpozíciós terv. „A diszpozíciós terv a tervekészítéshez a beruházó által meghatározott –a tervezővel és a szakhatóságokkal egyeztetett -kiindulási adatokat feltételeket rögzíti.” [283]

<sup>130</sup> A „tervező (designer): A tervező testület által megbízott egy vagy több személy, aki(k)nek feladata, hogy a meghatározott követelményeket elemezzék és olyan elfogadható konstrukciós megoldássá alakítsák, amely megfelel az előírt biztonságintegritási követelményeknek.” [284]

<sup>131</sup> Országos Vasúti Szabályzat



beépítésükhöz is megfelelő tanúsítvánnyal rendelkeznek. A vasúti jelző- és biztosítóberendezések tervezése, létesítése során a vasúton még nem alkalmazott új biztosítóberendezés, vagy bármilyen biztonságtechnikai berendezés műszaki jellemzőit és biztonsági követelményeit feltétlfüzetbe kell foglalni úgy, hogy azt a hatóság engedélyezze, jóváhagyja. A berendezés tervezőjének a feltétlfüzet alapján kell elkészítenie a műszaki terveket úgy, hogy alkalmazza a benne foglalt elveket. „A tervezésre jogosultnak a terveket a hatályos jogszabályok, szabványok, a jóváhagyott alapkapcsolások és a vasúti utasítások előírásainak megfelelően kell elkészíteni. A biztosítóberendezések megvalósításához engedélyezési terveket, az engedélyezést követően kiviteli (építési) terveket kell készíteni.” [208] A tervezési jogosultság jogszabályi előírás. A biztosítóberendezések engedélyezése és létesítése a berendezés alkalmassági tanúsítványa alapján történik. A kiviteli tervek tartalmi követelményeit a vasútállomások utasításban határozzák meg. A tervezői felelősség a helyes terv adatok alkalmazásáig, a helyes függőségek meghatározásáig, megfelelő dokumentáció elkészítéséig, biztonságtechnikai helyességéig terjed. A felelősség alól nem mentesít a tervek engedélyezése és az üzembehelyezői megelőző vizsgálatok sem. A próbaüzem részleteit a vasútállomások határozza utasításban. [208] A tervező által készített tervek típusa szerint lehetnek: ajánlati tender tervek, ajánlati pecsétes tender tervek, engedélyezési tervek, jóváhagyott engedélyezési tervek, kiviteli tervek, jóváhagyott kiviteli tervek, megvalósulási tervek, jóváhagyott megvalósulási tervek, minisztérium/hatóság által pecsételt engedélyezési tervek. Magyarországon az új vasúti rendszer tervezésekor a következő szakterületre készülnek tervek: biztosítóberendezés, zöldfelületek megtartásának kialakításának tervei, humuszgazdálkodás tervei, védősáv biztosításának tervei, zajvédelmi tervek, építészeti tervek, kisajátítás, geodéziai felmérés tervei, geotechnikai tervek, közmű tervek, lift tervek, műtárgyakak tervei, organizációs tervek, oszloptranzformátorok tervei, pályaépítés tervei, távközlés és utastájékoztató tervek, rendszertechnikai tervek, térvilágítási tervek, útépítési tervek, felsővezeteki tervek, váltófűtési tervek, villamos vontatási állomások tervei, vízrendezési tervek, arculati elemek tervei kapcsolódóan a helyi és országos településrendezési tervekhez, előirányzatokhoz.

#### **4.2. TERVEZÉSI ISKOLÁK, ELMÉLETEK, MÓDSZEREK**

**Hansen** (ilmennai iskola) féle **módszeres tervezés** a következőképpen foglalható össze. A feladat lényegének megfogalmazása: a felhasználandó építőelemek meghatározását kívánja meg, olyan elemi részekre való bontást, amelyek kombinációjából minden megoldás létrehozható. Minden esetben a feladat koncepcióját kritikai vizsgálattal pontosítani szükséges. A konstrukciók esetleges hibáinak feltárása fontos szempont a tervezés során. Az esetleges

hibák hatásának betervezett csökkentését tartja szem előtt ez a módszer. A megoldási javaslatok közül a legkevesebb hibával kecsegtető megoldás kiválasztását javasolja. A megoldáskeresési folyamatot négy munkaszakaszra bontja: alapelv meghatározása, működési módok behatárolása, hibaelemzés és értékelés. [170]

**Koller** a tervezési folyamat nagyszámú tevékenységre bontja majd az elemi összefüggéseket és a köztük lévő hatásmechanizmusokat határozza meg a tervezési folyamat algoritmizálása érdekében. Terméktervezésre, fejlesztésre, illetve termék előállításra bontja a folyamatokat. Terméktervezés során a piaci igény felmérése és a termék ismertetése történik, amely tervezési előkészítés utáni döntést igényel a továbblépés tekintetében. Az összfunctiók, részfunctiók és elemi struktúrájának szintetizálását hajtjuk végre. Az elemi functiók absztrahálásával az alapvető functió struktúra előáll. A minőségi elemzés során hatásvariációk, elvi megoldások, építési csoportok variációja, rendszerváltozatok, belső változatok és a kvantitatív erőterv kerül létrehozása. A rendszerváltozatokhoz kapcsolódik a koncepció majd a kialakítások variálása után létrejövő kialakítási változatok előtervezése, gazdasági értékelése, méretezése történik. A mennyiségi elemzés során elkészül a léptékhelyes előterv, ami tartalmazza a költségek számítását és a hozzá kapcsolódó döntéseket megfelelő kidolgozottságban és vizsgálat után. Ekkor jön létre a végleges terv, amelyet kirészletezés során tervdokumentációban<sup>132</sup> foglalunk össze. Ezután a gyártás költség számítását kell elvégezni és a gyártás előkészítésére vonatkozó döntéseket kell meghozni. Majd létrehozásra kerül a gyártási dokumentáció. A dokumentáció alapján a gyártás lefolytatható. Az előállított terméket a piacon értékesíthetünk. [170]

**Pahl-Beitz** szerint a tervezés munkafolyamata több lépésből áll, amely tartalmazza a feladat pontosítását, az elgondolások, koncepciók létrehozását, megtervezést és kidolgozást. A feladat pontosítása tartalmazza a követelményjegyzék kidolgozását, amelyet **konstrukciós fejlesztés**<sup>133</sup> fázisainak megfelelően kell összeállítani. Mindezek rögzítése és a koncepcióképzés engedélyezése után felmérésre kerülnek azok az elemek, amelyek segítségével a koncepció elkészíthető. Szükség van a lényegi problémák feltárására, functió struktúra konkretizálására. A functiók megvalósításához működési elvek keresésére. A kombinálás és konkretizálás során létrejövő koncepció változatokat műszaki és gazdasági szempontok szerint kiértékeljük. Majd a megtervezés során létrehozuk az előtervet a berendezés közelítő kialakítását, amely a feladat és az abból képzett koncepció műszaki és gazdasági szempontok szerinti kialakítási javaslata. Olyan mértékű kidolgozottságban, hogy a

---

<sup>132</sup> A tervdokumentáció: ábrás és szöveges dokumentumok, amelyek a rendeltetésüktől függően önállóan vagy más dokumentumokkal együttesen meghatározzák a gép összetételét és szerkezetét, továbbá szükség szerint tartalmazzák a kidolgozáshoz, a gyártáshoz, az ellenőrzéshez, az átvételhez, a mozgatáshoz, és az üzemeltetéshez szükséges adatokat és tudnivalókat. [170]

<sup>133</sup> Funkcionális szempontok alapján való tervezés. Konstrukciók fajtái új konstrukció, illesztett konstrukció, variációs konstrukció. [170]

gyártási technológia szerelési utasítás darabjegyzéket, ez már tartalmazza. Elfogadása után a végleges terv és annak részletes kidolgozása történik. Teljeskörű gyártási dokumentáció gyártási, szállítási, üzemeltetési, karbantartási és biztonsági előírások véglegesítése és ellenőrzése következik. Utána a gyártási dokumentáció elfogadása és a gyártás megkezdésére van lehetőség. [170]

Ez a néhány példa inkább gép, berendezés tervezésből fakad, közlekedési rendszer informatikai rendszerének tervezése kapcsán az alábbi példákat említem meg:

**Howard- Levin féle** eljárás szerint a jelenlegi információs folyamat elemzése után a megvalósítandó, fejlesztendő, kialakítandó rendszer meghatározását és a berendezések kiválasztását kell elvégezni. Ezután már csak a rendszer felszerelése, üzembehelyezése történik. **Honeywell** szerinti lépések már cizelláltabbak, a helyzet, illetve állapot felmérése után a folyamatok elemzését, majd a modellezését (az információs rendszer előtervezése) hajtják végre. Majd a részletes tervezés és a bevezetési tervezés következik. Végül pedig egy végleges rendszerjavaslat készül. **Kanter** szerinti tervezési lépéseket a helyzetelemzés követi, a rendszertervezés és a rendszerfelszerelés. Mindezt általánosítva tervezési folyamatok a fentiek alapján négy fő lépésre oszthatók rendszerelemzés, rendszertervezés, kivitelezés megvalósítása és végül pedig a rendszermódosítás, továbbfejlesztés, rekonstrukció. [169]

#### 4.3. BIZTONSÁG SZEMPONTÚ SZERVEZÉSI ÉS TERVEZÉSI ELVEK

A vasúton a biztonságtechnika olyan mérnöki tevékenység, amely során a tervezett rendszer elfogadható biztonsági állapotának létrehozását tudjuk elérni. A diszciplína kialakulása az iparbiztonság/működés biztonság fejlődésével jött létre. Az iparbiztonsági tevékenység esetében a dolgozók, környezet és a lakosság védelmét valósítjuk meg az ipari balesetek valószínűségének minimalizálása mellett. Ugyanígy a vasúti ipar esetében is érvényes ez a megállapítás.

*Mi is az a biztonságkritikus rendszer?* Olyan rendszer melynek hibája súlyos sérülést, halált<sup>134</sup>, jelentős anyagi és/vagy természeti kárt okozhat. [215] [216] Azaz ezek a rendszerek kritikus biztonsági funkciókat valósítanak meg valós idejű működésükben. A biztonságkritikus rendszer tervezése tekintetében több szakterületen is szabványok segítik a munkánkat a funkcionális biztonság létrehozása kapcsán. Ilyen például az IEC-61508<sup>135</sup>, ISO 26262<sup>136</sup>, DO-

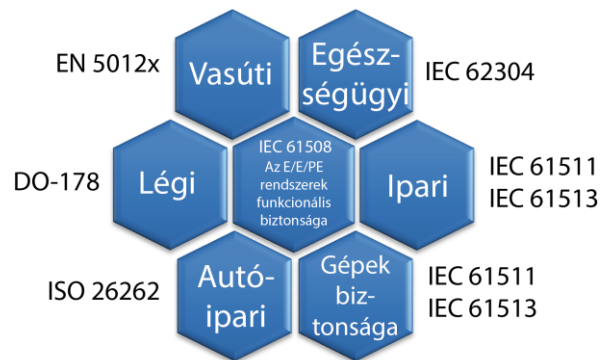
---

<sup>134</sup> Life-threatening impact

<sup>135</sup> Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems

<sup>136</sup> Road vehicles - Functional safety

178B/C<sup>137</sup>, RTCA/DO-254<sup>138</sup>, EN-50126<sup>139</sup>, ECSS-E-ST40C<sup>140</sup>, IEC 62304<sup>141</sup> stb. [216] [57]  
(Lásd a 4.3.1. ábrán.)



4.3.1. ábra. Funkcionális biztonsági szabványok [217]

Ezek a szabványok definiálják is a **biztonság** és a **funkcionális biztonság** fogalmát. A biztonság „mentesség az elfogadhatatlan kockázattól<sup>142</sup> és veszélytől”. [218] A működési vagy funkcionális biztonság: a villamos/elektronikus/programozható elektronikus biztonsági rendszerek gyártási célnak megfelelő működése véletlen meghibásodás esetén sem okozhat veszély. [219] A hatékony kockázatkezelés három alapvető tényezőn múlik technológiai rendszeren (infrastruktúra), az ezt üzemeltető embereken és a szervezeti berendezkedésen.

Az Európai Vasúti Ügynökség<sup>143</sup> szerint számos a biztonság fokozása szempontjából a magas kockázatú iparágakban a szervezeti és kulturális szempontok kezelése kiemelkedően fontos. Mivel más iparágakban a biztonsági kultúra sikerrel került alkalmazásra. Ezért az európai vasúti ágazatban is szorgalmazzák a biztonsági kultúra és a biztonságirányítási rendszer vállalati szintű alkalmazását. [220]

„A biztonsági irányítási rendszernek biztosítania kell, hogy az egyes biztonság szempontjából kritikus berendezések, eszközök a karbantartási, vizsgálati és tesztelési (működési próba) programok hatálya alá tartozzanak időben, megfelelően ütemezetten, annak érdekében, hogy ezek a berendezések folyamatosan teljesítsék a biztonsági követelményeket, amíg használatban vannak.” [221]

A következőkben bár a biztonsággal összefüggő általános megállapításokat teszek, viszont csak a biztonságkritikus rendszerek alkalmazásának egy kiemelt aspektusa kapcsán hozok példákat. Vasúti példán keresztül mutatom be rendszerszintű elképzeléseinket a biztonság növelésére és az emberi élet védelmére. A vasúti szektort példaérekűnek tekintem, mivel nem

<sup>137</sup> Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification

<sup>138</sup> Design Assurance Guidance for Airborne Electronic Hardware

<sup>139</sup> The Specification and Demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety

<sup>140</sup> Space engineering

<sup>141</sup> Medical device software — Software life cycle processes

<sup>142</sup> Kockázat fogalma az 1.2-es fejezetben.

<sup>143</sup> ERA - European Union Agency for Railways

csak kritikus infrastruktúrának számít, de a biztonságkritikus rendszerek témakörében is jelentős szereplő, ahogyan ezt az említett szabványok is mutatják. A műszaki biztonságot nem csak a technológiai rendszerben felmerülő esetleges hibák befolyásolják. Az elvárható biztonság szempontjából fontos tényező az ilyen biztonságkritikus rendszereket üzemeltető szervezetek biztonsági kultúrája is. Reason szerint a biztonsági kultúra öt elemből áll, működtetett **biztonsági információs rendszerből**, amelyben a vállalat életének résztvevői a **bejelentési kultúra** szerint bejelentik saját szabályszegéseiket. Ami kiegészül egy **bizalmi kultúrával**, ami ösztönzi a benne résztvevőket, a biztonsággal kapcsolatos tevékenyegekben keletkező információkat adják közre, amelyhez kapcsolódik egy **tanulási kultúra** is. Azaz tanuljanak a hibáikból, vagyis **rugalmassági kultúrát** alkalmazva legyenek képesek fejlődésre. Mindez azt jelenti, hogy szükség van egy információs rendszerre, ami összegyűjti és elemzi a különféle eseményeket, a gépi adatgyűjtés mellett az eseményeket az emberek maguk is jelentik és a biztonsággal kapcsolatosan nélkülözhetetlen információkat szolgáltatnak, amelyből az elemzések alapján a szervezet tanulni és változni képes. [50]

A biztonsági kultúra egzakt megtestesülése a biztonságirányítási rendszer. Mi az a biztonságirányítási rendszer<sup>144</sup>? Az ICAO<sup>145</sup> általánosságban így definiálta: a biztonságirányítási rendszer (BIR) a biztonsággal kapcsolatos folyamatokat, politikákat és a vállalati szervezeti felépítést, struktúrát, folyamatokat, politikát magába foglaló rendszer.

Az BIR célja a biztonsági kultúra szervezeten belüli kiépítése, a szervezet működési céljainak elérése mellett a vonatkozó biztonsági kötelezettségeknek való megfelelés biztosítása. A szervezet tevékenységei kapcsán felmerülő kockázatok állandó menedzselését segíti elő strukturált, szabályozott formában a tevékenységet érintő veszélyek feltárásával. A biztonságirányítási rendszer a teljes (esetünkben vasúti) szervezetre kiterjedő olyan rendszer, amely segítségével meghatározhatjuk a szervezet tevékenysége során felmerülő veszélyeket, kiszámíthatjuk, befolyásolhatjuk és csökkenthetjük az ezzel járó kockázatok mértékét. A rendszer segítségével folyamatosan figyelemmel kísérhetjük szervezetünk biztonsági teljesítményét és javíthatjuk azt. Az BIR normál vagy veszélyhelyzeti üzemműködés fennállása esetén is konkrét szabályokkal útmutatást ad a követendő viselkedésre. A szabályok és normák révén segítséget nyújt a biztonság-központú cselekvéshez. [222]

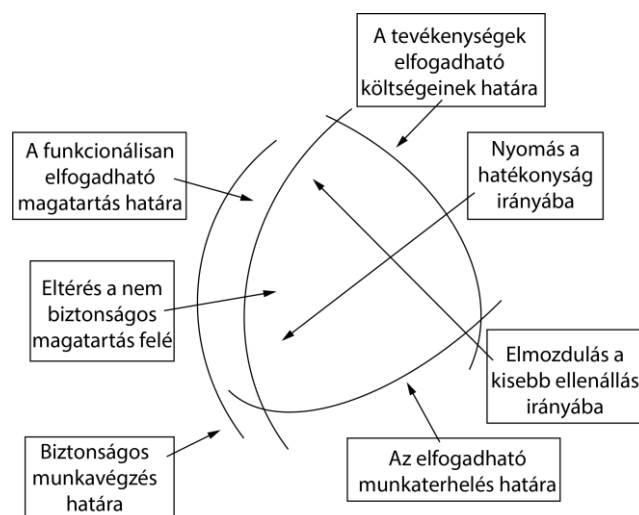
A rendszer kapcsán a vasúti aspektusból további célok is azonosíthatók, ilyen pl.: a vasútbiztonsági tanúsítvány, mint a jogszerű működés feltételének megszerzése és megtartása. A vasútbiztonsági tanúsítványt a nemzeti biztonsági hatóság abban az esetben állíthatja ki, ha a vasúttársaság bizonyíthatóan igazolja az európai és nemzeti biztonsági szabályoknak való

---

<sup>144</sup> Safety Management System (SMS), biztonsági irányítási rendszer (BIR)

<sup>145</sup> International Civil Aviation Organization

megfelelést, biztosítja a kölcsönös átjárhatósági feltételeket (infrastruktúra, szabályzatok stb.), megteremti az irányító és az üzemeltető személyzet biztonságos munkavégzéséhez szükséges feltételeket és igazolja a biztonságos munkavégzésre való alkalmasságukat valamint eleget tesz a vasúti járművekkel kapcsolatosan biztonságos üzembehelyezési, üzemeltetési és karbantartásra vonatkozó szabályoknak. [222] [223] A szervezetekben több tényező együttes megléte szükséges ahhoz, hogy a biztonság megteremtése, fenntartása és növelése megvalósuljon. Ezért bár a műszaki rendszerek biztonságával és annak növelésével foglalkozom, fontosnak tartom a biztonság rendszerszintű beágyazottságának hangsúlyozását és azt, hogy a biztonságos műszaki rendszer létrehozása nagyban függ a szervezeten belüli biztonsági kultúrától és azt létrehozó humán gondolkodásától. A biztonság és a rendszereket üzemeltető emberek (humán faktor) közötti összefüggéseket vizsgálva. A biztonság rendszerszintű fenntartására az emberi viselkedés tanulmányozását Rasmussen funkcionális absztrakción alapuló modellel írta le. (Lásd.: „Rasmussen féle dinamikus biztonsági modell” ábrán) Az emberi hibázást a tudáson, szabályon, gyakorlottságon alapú viselkedés határozza meg. A biztonságot befolyásoló körülmények határvonalai a funkcionálisan elfogadható magatartás, a biztonságos munkavégzés, a tevékenységek elfogadható költségei és az elfogadható munkaterhelés, melyek között az individuum biztonságosan cselekszik. A határokat átlépve hibát vétünk. Az emberi hibázásra a technológiai rendszereket fel kell készíteni. [224]



4.3.2. ábra. Rasmussen féle dinamikus biztonsági modell [224]

A rendszerszintű biztonság tervezésénél **lean** filozófiának az alapelveit követjük. Azaz az ember, mint legfőbb érték tisztelete és a veszteség/hiba rendszerszintű megszüntetése, elkerülése a fő célunk. A biztonság - a három alappillér - a szervezet, az ember és az infrastruktúra/technológiai rendszer kooperatív, szinergikus együttműködése kapcsán jöhet

létre. A lean filozófiának része a PDCA<sup>146</sup> ciklus is. Okubo et al. szerint a vezérlő rendszerek (ilyenek a kiber-fizikai rendszerek is) teljes életciklusára szükséges biztonsági megoldásokat Plan–do–check–act technikával valósíthatjuk meg. A technikával folyamatossá tehető a szervezeti szintű biztonság a teljes életciklus és üzemeltetés alatt is. Okubo megközelítése az irányítási rendszerek biztonság menedzsmentjével kapcsolatban alkalmazható. [225]

Másik megközelítés két esetet különböztet meg. Az egyik a tervezett állandó biztonság (biztonságos élettartam, safe-life). Amikor berendezést konstruáljuk meg, hogy a tervezett élettartama alatt ne lépjen fel meghibásodás. Üzemzavar miatti veszélyeztetés ne következhesse be. A létrehozásának feltétele, hogy a körülményeket pontosan ismerjük, megbízható számítási eljárásokat alkalmazzunk, gondos gyártással és szereléssel vegyítve. A használat, karbantartás során megfelelő körülmények között történjen. Az üzemeltetés során a veszélytelen körülmények létrehozása a cél, akár már a megfelelő kezelőszemélyzet kiválasztása, kiképzése során is. [170]

A másik eset, amikor a biztonság hiányra tervezünk (korlátozott meghibásodás vagy veszélytelen meghibásodás, fail-safe). A berendezést úgy tervezzük meg, hogy megengedünk bizonyos meghibásodásokat, illetve veszélyeket. Viszont úgy szabjuk meg a beavatkozások mértékét, hogy egy kitüntetett károsodási határ felett biztosítjuk az elvárt védelmet. [46]

#### **4.4. INTELLIGENS KIBER-FIZIKAI RENDSZEREK ALKALMAZÁSA A BIZTONSÁG NÖVELÉSE ÉRDEKÉBEN**

A biztonság megvalósításának egyik összetevője a technológiai rendszer. A kritikus rendszereknek három fő típusa van Sommerville szerint, mégpedig a biztonságkritikus rendszerek, misszó kritikus rendszerek, üzleti szempontból kritikus rendszerek. A kritikus rendszerek fejlesztése esetében legtöbbször a már jól bevált régebbi technológiákat alkalmazzák, az újabb technológiák kevésbé kerülnek előtérbe. A fejlesztők meglehetősen konzervatívan kezelik ezeket a kérdéseket és azokat a technológiákat alkalmazzák, amelyeknek már hosszú ideje ismertek az erősségeik és gyengeségeik, hogy ezekkel tervezni lehessen. A kritikus rendszerek verifikációjának és validációjának költségei sokszor meghaladják a fejlesztés költségének 50 %-át. [226]

Érdekes tehát a kritikus rendszer kialakításának módszereit vizsgálni, hogy annak hatékonyabb megvalósítására módot találjunk. A kritikus rendszerek kialakítása kapcsán további lehetőségeket jelentenek az intelligens és okos rendszerkutatások.

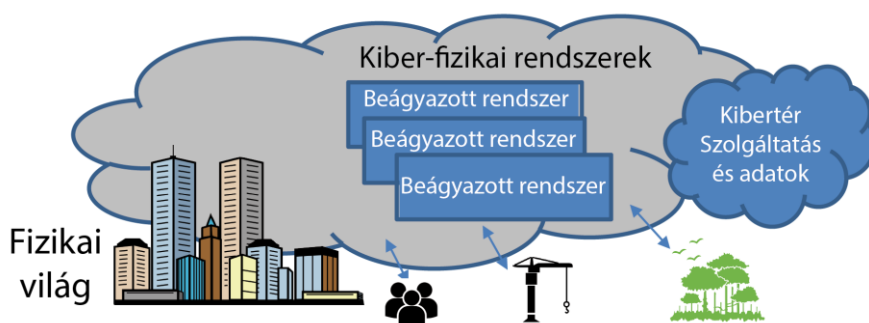
Az okos rendszer hozzájárul a teljes rendszer, alrendszer biztonságának kialakításához. Ezek a rendszerek általános, alkalmazás- és platformfüggetlen megoldások. Az okos rendszer több

---

<sup>146</sup> Plan–do–check–act, tervezés-cselekvés-ellenőrzés-beavatkozás

érzékelőből és beavatkozóból felépülő eszközök, amelyek képesek komplex eseményeket leírni és diagnosztizálni ezek alapján működésükhöz predikciót készíteni, döntéseket hozni és beavatkozni. Heterogén hálózatba kapcsolatan autonómítás jellemezi őket. A hálózatos működésükre jellemző, hogy a hálózatba kapcsolt új elemek képességeit (érzékelés, adatfeldolgozó kapacitás, beavatkozás, hálózatépítés, energiaellátás) saját céljaik eléréséhez, működőképességük, túlélésük, kommunikációjuk fenntartásához felhasználni képesek. A feladatok végrehajtásához ideiglenes struktúrákat képesek létrehozni. Energiaellátásuk biztosítására belső akkumulátoruk, külső tápellátás vagy környezeti energiát hasznosító<sup>147</sup> megoldások kombinációjának lehetőségeit alkalmazzák. „A kiber-fizikai berendezés építőelemei egyesítik a nano-, mikro- és teljesítményelektronikát mikro-elektromechanikus<sup>148</sup> és egyéb fizikai (például elektromágneses, kémiai és optikai), valamint a biológiai alapelvekkel. Sokféle anyagból készülhetnek, hogy biztosítsák a legnagyobb teljesítményt, megbízhatóságot, funkcionális biztonságot akár komplex és kemény működési körülmények között is.” [227]

Az okos rendszerek és a kiber-fizikai rendszerek kapcsolatából jöhet létre az okos kiber-fizikai rendszerek, ami alap technológiai megoldása válhat a későbbiekben az intelligens biztonságkritikus rendszer létrehozásakor. A fizikai rész a fizikai eszközt és a környezetet a kiber rész a számítási és a kommunikációs funkciók megvalósítását teszi lehetővé. A kiber részben felhőtechnológia is alkalmazásra kerül. Két típust különböztetünk meg az egyik a konvencionális kiber-fizikai rendszer (CPS<sup>149</sup>) és a másik az okos kiber-fizikai rendszer (S-CPS<sup>150</sup>). CPS-ek alapját a beágyazott rendszerek adják. A beágyazott rendszer érzékelőkön keresztül folyamatosan megfigyeli környezetét és célorientált módon valós időben működteti beavatkozóit. A hardver és szoftverelemek általában egy konkrét feladat ellátását valósítják meg. [228] [229] [98]



4.4.1. ábra. Kiber-fizikai rendszeráltalános struktúrája [228]

<sup>147</sup> Energy harvesting

<sup>148</sup> Micro-Electro-Mechanical System - IMU

<sup>149</sup> Conventional cyber-physical systems

<sup>150</sup> Smart cyber-physical systems



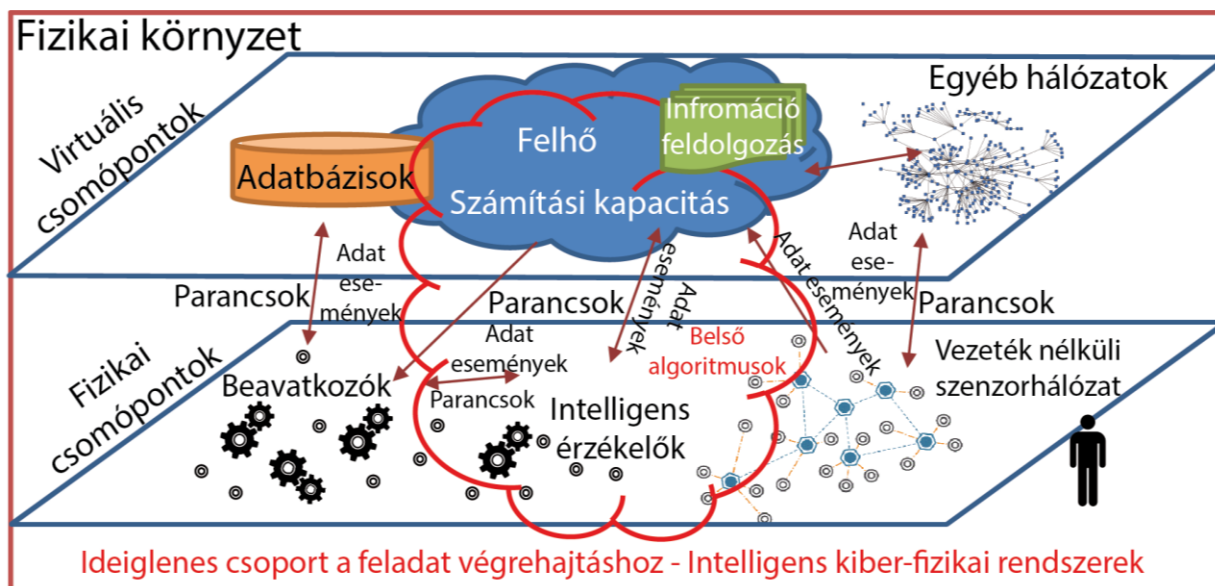
A beágyazott rendszerekhez képest a kiber-fizikai rendszerek már jóval több funkcióval egy összekapcsolt, együttműködő és autonóm beágyazott intelligens rendszert alkotnak. Számítási kapacitásuk, kommunikációjuk, monitorozó és kontrolláló képességük révén hatékonyan működnek hálózati struktúrában. Skálázható, elosztott, decentralizált működésük kapcsán interakcióba lépnek más gépekkel, környezetükkel és emberekkel úgy, hogy interneten vagy bármely más hálózaton keresztül működésük folyamatos. A számítógép alapú rendszerek esetében előfordul, hogy az emberi élet szempontjából kritikus területeken kerülnek alkalmazásra. Vagyis a rendszer meghibásodása veszélyt jelent az emberi életre vagy jelentős gazdasági és fizikai károkat okozhat. [227] Ezért működési biztonságuk területén minimálisra kell, hogy csökkentsék az esetleges rendszerhiba lehetőségét. Amelyet a funkcionális és biztonsági követelmények megszabásával, a hardver és szoftver, valamint a rendszer evolúció szigorú szabványok szerinti létrehozásával biztosíthatunk hagyományos esetben. [227] [228] [68]

A S-CPS kialakításával a számítógép alapú rendszerek hibái kapcsán fellépő veszélyeket új módszer szerint minimalizálhatjuk. Olyan generikus tervezésű aktív infrastruktúrát hozunk létre, amelyben tudásalapú működést folytató beavatkozók/ okos nódok működnek. A rendszer alapvető tulajdonságai mellett - heterogén, biztonságos, skálázható, autonóm [69], elosztott, független, fenntartható, robusztus, reaktív, alkalmazkodó, energiahatékony - a biztonság növelésére olyan tulajdonságai, mint az öndiagnosztika, önjavítás, önfejlesztés képessége ad további lehetőséget. A definícióból kiindulva az okos rendszer egyfajta intelligens rendszer. Ezért létrehozására az intelligens rendszerek esetében alkalmazott módszereket használjuk. Intelligens rendszer megvalósításának általános módszereit alkalmazhatjuk ilyenek a szakértői rendszerek, fuzzy rendszerek, mesterséges neurális hálózatok, genetikus algoritmusok (GA<sup>151</sup>), esetalapú következtetés (CBR<sup>152</sup>), adatbányászat, intelligens szoftverügynökök (ágensek) stb. [230]

---

<sup>151</sup> Genetic Algorithm

<sup>152</sup> Case-Based Reasoning



4.4.2 ábra. Az okos kiber-fizikai rendszer általános architektúrája (saját szerkesztés)

Az intelligens rendszerek jellemzői: tudás megszerző, tároló és átadó képesség, emberi gondolkodási folyamatokhoz hasonló problémamegoldás, tanulási képesség (tapasztalatok útján, képzéssel), folyamat szemléletű probléma megoldásúak, hasonlóan a természetes evolúcióhoz. Az okos rendszerek jellemzői: több kifinomult interakció a felhasználókkal, pl.: természetes nyelvek értelmezése, beszéd felismerés és szintézis, intelligens képelemzés, ontológia.

A tervezési folyamat célja, hogy a kockázatcsökkentési eljárások alkalmazásával egy biztonságos berendezést hozzunk létre. A műszaki rendszerek funkcionális biztonsága egzakt módon kifejezhető a biztonságintegritási szinttel. A biztonsági rendszer teljes mértékben funkcionálisan nem lehet biztonságos. A biztonságkritikus rendszerekben a véletlen, a közös és a szisztematikus meghibásodások nem vezetnek el a biztonsági rendszer hibás/veszélyes működéséhez. A rendszer semmilyen állapota nem okozhat emberi sérülést, halált, környezetszennyezést vagy jelentős anyagi károkat. Az említett eseményeknek a bekövetkezését, azok gyakoriságát az úgynevezett SIL és ASIL<sup>153</sup> értékekkel jellemezhetjük. (lásd a „Biztonság integritási szint” táblázatban) [231] [232] [57]

Ez az értékelés nem tartalmazza két nagyon fontos dolgot a biztonságkritikus rendszerekkel kapcsolatban. Az egyik a szervezet, ahol ezeket a rendszereket üzemeltetik, a másik pedig maga az üzemeltető ember. Korábban láthattuk, hogy fontos a szervezet biztonsági kultúrája és persze maga az ember, mint hibaforrás kiküszöbölése. Erre nyújthatnak nekünk megoldást az okos rendszerek.

<sup>153</sup> Automotive Safety Integrity Level

Autóipari (ISO 26262)	QM <sup>154</sup>	ASIL-A	ASIL-B/C	ASIL-D	
Általános (IEC-61508)	-	SIL-1	SIL-2	SIL-3	SIL-4
Légi (DO-178/254)	DAL <sup>155</sup> -E	DAL-D	DAL-C	DAL-B	DAL-A
Vasúti (CENELEC 50126/128/129)	-	SIL-1	SIL-2	SIL-3	SIL-4

4.6.1. táblázat. Biztonság integritási szint<sup>156</sup> [216]

Alacsony műszaki színvonal esetén a megfelelő biztonság fenntartása nem lehetséges. Sok esetben előfordul, hogy a biztonságkritikus rendszernek hatékonysága, biztonságossága sérül a karbantartás hiánya vagy annak nem megfelelő volta miatt. Jó esetben csak üzemeltetési nehézségeket jelent, de súlyosabb kimenetek is elképzelhetők. A biztonságkritikus rendszerek építőelemei a kritikus infrastruktúráknak (Pl. vasút esetében) és ha ezen elemek védelme meggyengül, akkor maga a kritikus infrastruktúra védelme is jelentős kihívások elé néz. A biztonság fenntartása kapcsán az időt, mint kritikus befolyásoló tényezőt sok esetben nem vesszük figyelembe. Pedig a műszaki rendszerek biztonságossága az idő előrehaladtával már nem ugyanazt jelenti, mint amikor a rendszert üzembeállították. A biztonságkritikus rendszerek esetében a biztonsági elvárások az üzemeltetés alatt is a tervezői asztalon meghatározott biztonság folyamatos meglétét kívánja meg. Azért, hogy az emberi élet a biztonságkritikus rendszerek használata során ne kerüljön veszélybe. A biztonság fenntartása a biztonságkritikus rendszerek kapcsán ezért az üzemeltető feladata is. Nem elegendő megfelelően megtervezni, létrehozni és üzembehelyezni a biztonságkritikus rendszert azt biztonságosan üzemeltetni is szükséges.<sup>157</sup> Így az ilyen rendszerek biztonságosságát a rendszerek teljes életciklusa alatt vizsgálni kellene, hogy az esetleges rejtőzködő vagy a nem megfelelő üzemeltetésből fakadó hibákat még ideje korán feltárni és megszüntetni lehessen. Erre tudomásunk szerint nincsenek átfogó iparági standardok, maximum a biztonságkritikus rendszert alkalmazó felhasználók technológiai utasításai léteznek. A műszaki rendszerek biztonságossága nem alapvető, azt tudatos emberi tevékenységgel érhető el. Létrehozhatók olyan intelligens struktúrák, amelyek alkalmazásával ez a tudatos emberi tevékenység részben pótolható, kiegészíthető. Erre alkalmazható az okos kiber-fizikai rendszer.

#### 4.5. 3D PONTFELHŐ TECHNOLÓGIA ALKALMAZHATÓSÁGI VIZSGÁLATA

Ebben az alfejezetben a pontfelhő alapú eljárások alkalmazását mutatom be, ami a digitalizáció gyakorlati felhasználását jelenti saját Lidar felmérés elemzése útján. Azaz a 3D

<sup>154</sup> Quality Management

<sup>155</sup> Development Assurance Level

<sup>156</sup> Safety Integrity Level (SIL)

<sup>157</sup> Lásd még: MSZ EN 50126, Vasúti alkalmazások. A megbízhatóság, az üzemkészség, a karbantarthatóság és a biztonság (RAMS) előírása és bizonyítása.

pontfelhő technológia alkalmazhatósági vizsgálatát teszem meg, vasúti villamos felsővezetéki rendszer tervezése, felújítása, karbantartása során Budapest Keleti pályaudvar csarnokában. Ezt a módszert alkalmazhatjuk a tervezési folyamat gyorsítására és pontosabb megvalósítására. [233]

**A helyszín:** Budapest Keleti pályaudvar, Magyarország legforgalmasabb személyi pályaudvara. A fejpályaudvar Pesten a Rákóczi út tengelyében a Thököly út és a Kerepesi út által közrezárt területen épült fel. Az épületet 1881–1884 között a Magyar Királyi Államvasutak építette eklektikus stílusban. Eredeti neve Budapesti központi Személyszállító indóház volt. Építésekor az egyik legkorszerűbbnek számított Európában. A csarnokban eredetileg 5 vágány volt, az 1980-as évekbeli átalakításnál 4 vágány maradt. [234]



4.5.1. ábra. A Budapesti Központi Indóház (Dörre Tivadar rajza) [235]

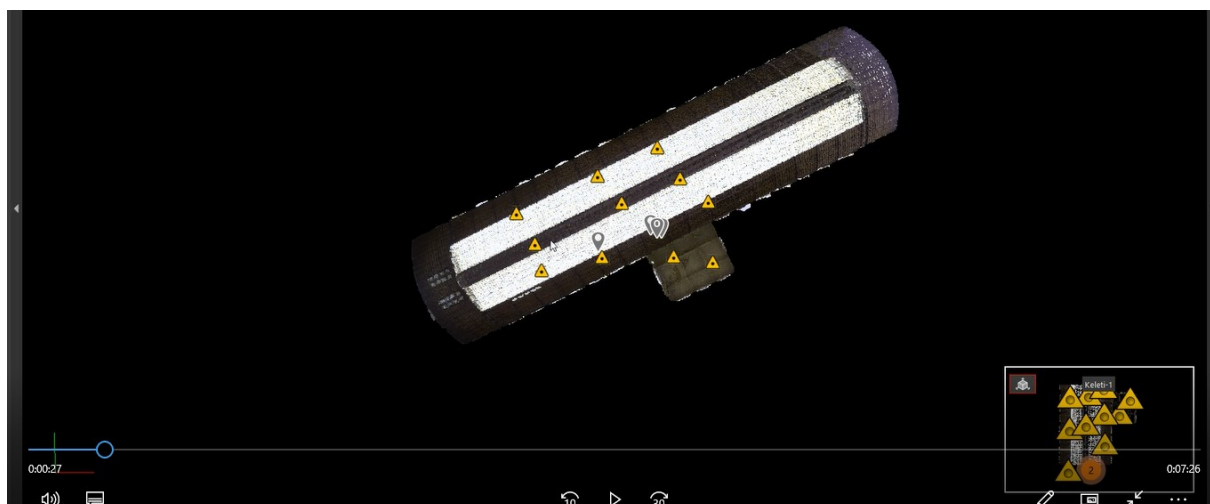


4.5.2. ábra. Budapest-Keleti Pályaudvar 2019-ben (saját készítésű fotó)

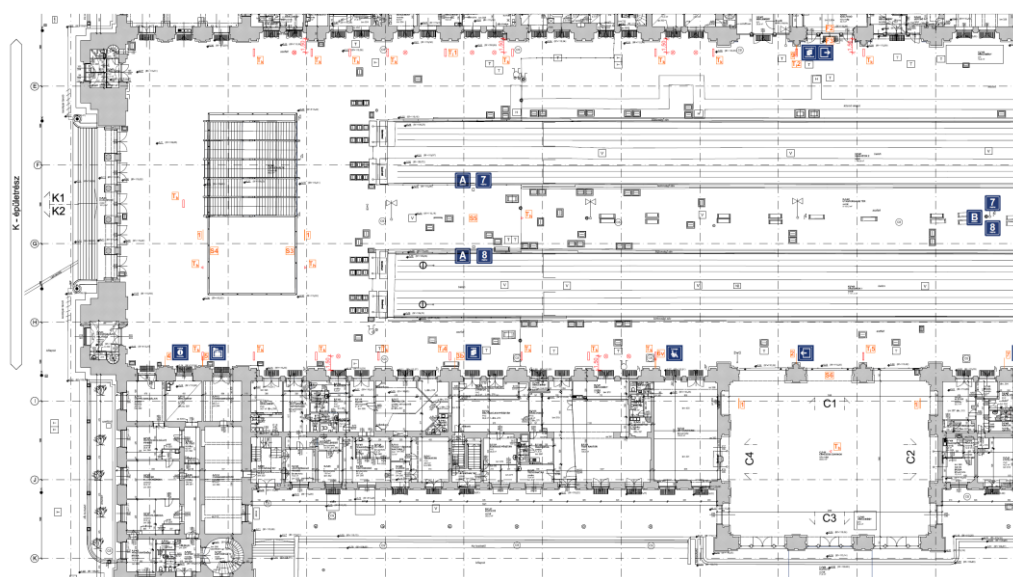
**Előzmények:** 2019. május 13-tól 26-ig Budapest-Keleti pályaudvar karbantartási munkálatok végett lezárásra került. Ebben az időszakban műszaki ellenőrként a következő öt részprojektekben vettem részt, amelyek érintették a Keleti pályaudvar felsővezetéki rendszerét, a HETA berendezéseket, az előfűtőberendezéseket, a 0,4kV-os és 10 kV-os hálózat és a teljes térvilágítás karbantartását. Ezen projektek kapcsán merült fel a digitalizációs stratégiával kapcsolatban, hogy a karbantartási munkálatok közül az egyik leglátványosabb elemet a

felsővezetéki rendszer részleges cseréjét segítően digitalizáljuk a pályaudvar csarnokában lévő felsővezetéki rendszer elemeit a technológia nyújtotta lehetőségekkel.

**A mérés célja:** Budapest Keleti pályaudvar csarnokában két darab vasúti villamos felsővezeték keresztmetsző 3D pontfelhőjének felvétele. A technológia alkalmazhatóságának vizsgálata a gyűjtött adatok alapján a vasúti villamos felsővezetéki rendszer felújítása, karbantartása során.



4.5.3. ábra. LGS fájl megjelenítése Leica JetStream Viewer-rel



4.5.4. ábra. Budapest Keleti pályaudvar csarnok átnézeti alaprajz részlet - 2019.04.  
© építész tervező: ASC Stúdió Kft. [236]

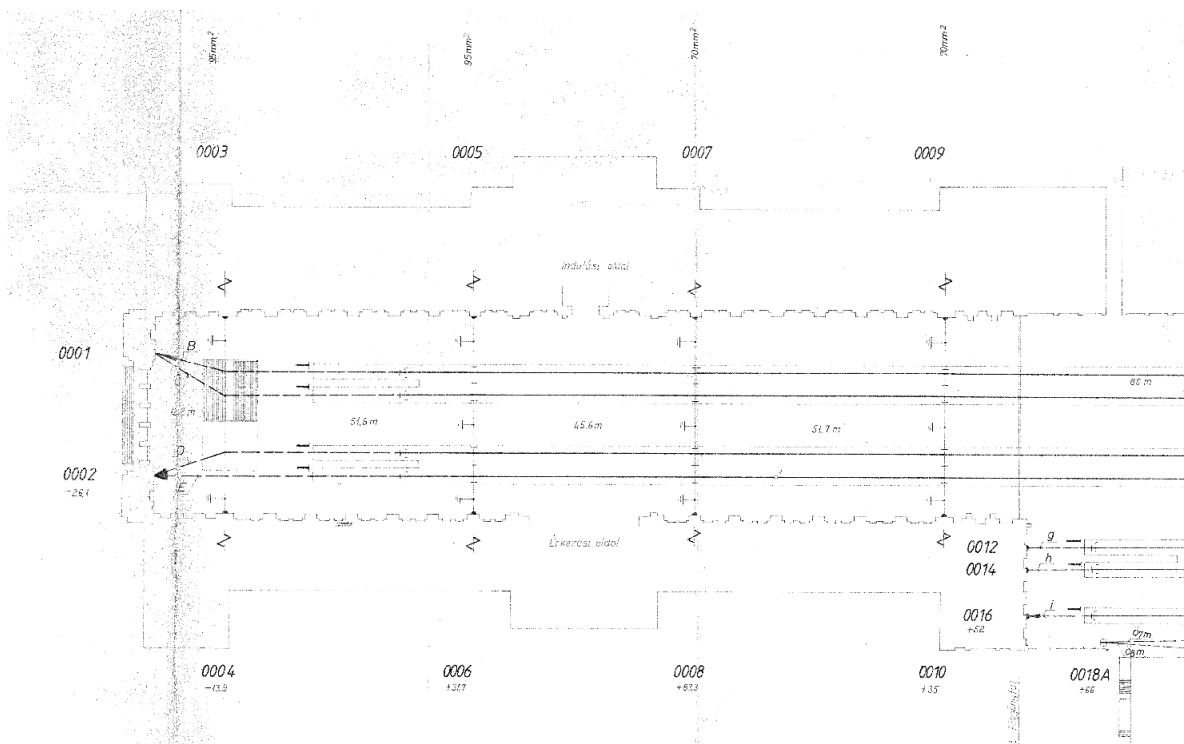
**A felméréshez használt eszköz:** gömb alakú nyaláb kibocsájtó képkötő rendszert tartalmaz, ami egy nagy dinamikatartományú 150 MP felbontású képek készítésére is alkalmas 3D lézer scanner. Amelynek főbb tulajdonsága, hogy a 3D pontfelhő generálásának során a mért pontok térbeli pontossága 10 m-en 6 mm, illetve 20 m-en 8 mm. Mérési teljesítménye 360 000 mérés/másodperc, 2 000 000 pont/ másodperc maximális mérési sebességgel. A mérőlézer (láthatatlan) mérési hullámhossza 1550 nm. Szkennelési tartománya horizontálisan 360°, valamint vertikálisan 300°, min. 0.6 m – max. 60m érzékelési tartományban. Első osztályú

lézerrel szerelve. Ez az eszköz automatikus pontfelhő-beállításra képes a mérési pontok által kijelölt vizuális inerciális rendszerben. A feladathoz használt eszköz a következő szabványoknak felel meg: EN 60825-1:2014, EN 61326-1:2013, EN 62368-1:2014, ETSI EN 301489-1:V2.1.1, ETSI EN 301489-17:V3.1.1, EN 300328: V2.1.1, EN 60950-1:2006+A2:2013, EN 62311:2008.



4.5.5. ábra. Leica RTC360 3D lézer scanner [237]

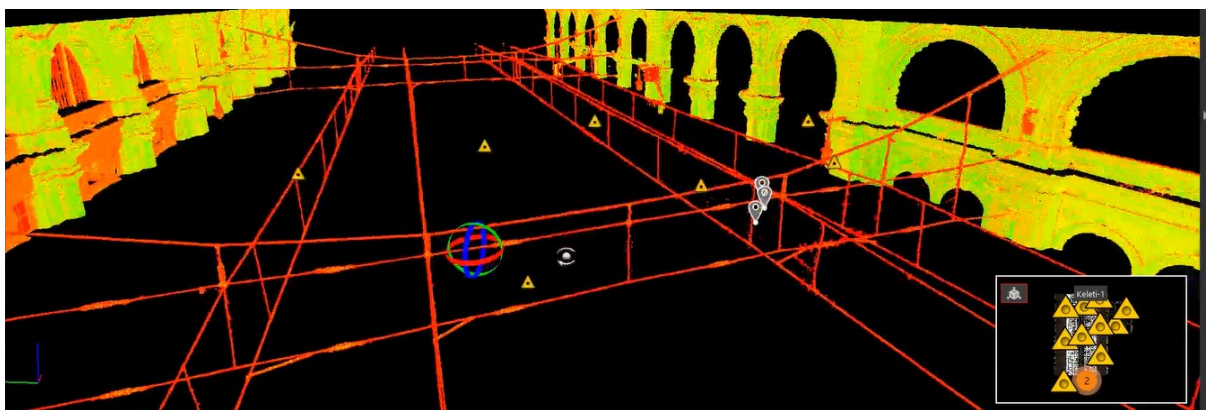
**Mérési módszer:** a lézer alapú távérzékelés a kibocsátó eszköz és visszaverő felület (tárgyak felülete vagy az egész környezet) távolságának meghatározására szolgáló mérési módszer. Esetünkben Budapest Keleti személypályaudvar csarnokának beltere ez a felület. Külön figyelmet fordítottunk a mérés során a felsővezetéki rendszer felmérésére. Az alábbi 1990-es években készült feszítési terv pontosítására törekedtünk a lézeres felméréssel. Mivel a korábbi keresztmetszvény rajzok nem állnak már rendelkezésre, ezért a felsővezetéki rendszer pontos méreteiről nincs megfelelő dokumentációnk. A karbantartási munkálatok tételes elszámolása csak pontos méretadatok alapján lehetséges.



4.5.6. ábra. Budapest Keleti személypályaudvar villamos felsővezeték hálózatának megvalósulási terve – 1990.10 – részlet [238]

**A felmérés:** a munkaterület bejárása, valamint a digitalizálni kívánt részletek kiválasztása után 11 db mérési pontot jelöltünk ki. A mérési pontok kijelölésének elve a csarnokban található két keresztmező pontos felmérését szolgálta. További szempont volt a felmérés által érintett épületrészek, infrastruktúrarészek adatainak további hasznosíthatósága. Például egyes nyílászárók, üvegfelületek későbbi méretmeghatározása. A mérést a felsővezeték feszültségmentesített állapotában végeztük. Ugyanakkor a felsővezeték teljes üzemében is elvégezhető a mérések, hiszen az általános megközelítési távolságon kívül esnek a mérési munkálatok, azaz nem szükséges azok elvégzéséhez a felsővezeteki rendszer feszültségmentesítése. Minden mérési részfeladat előre megtervezett módon történik, aminek része a folyamatok és adatok folyamatos ellenőrzése, hogy szükség esetén a felmérés során azonnal lehessen korrekciót alkalmazni.

**Digitális utódolgozás, 3D pontfelhő előállítás:** a felvételezett adatok digitális utófeldolgozása és a 3D pontfelhő és modell előállítása során a valóságrögzítés adatai egyszerűen átvihetők az AutoDesk CAD tervezőprogramokba, ahol további mérnöki munka és pontos mérések végezhetőek el a vektorizált adatokon. és pontos mérések végezhetőek a modellen egy megfelelő szoftveres környezetben.



4.5.7. ábra. Budapest Keleti személypályaudvar vasúti villamos felsővezeték hálózatának modellje



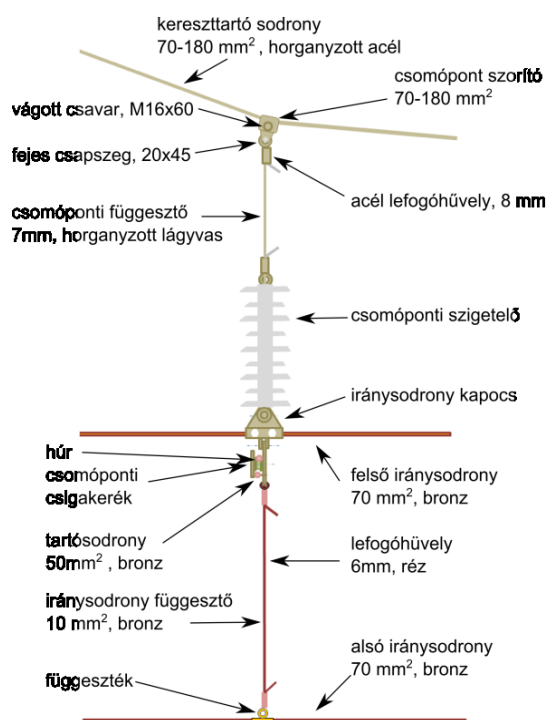
4.5.8. ábra. A vasúti villamos felsővezeték hálózat modelljének és a nagy felbontású valós képfelvételnek az összetett megjelenítése

A pontfelhő létrehozása csak az első lépés a mérnöki munka során. A felmérési dokumentáció elkészítéséhez további munkára van szükség. A feldolgozás többszintű folyamat, amely során a szoftver által megjelenített felmért objektumok hibahatáraitól és az ellentmondásos részletek értelmezéséről is döntenünk kell. A felmérés során készített fényképfelvételek és a megfelelő felbontással felmért részletek ezt segítik.

### A 3D pontfelhő technológia alkalmazása karbantartás előtti keresztmezős elrendezés méreteinek meghatározásakor:

A technológia használatával meghatározható többek között:

- a kereszttartó sodrony hossza,
- a szigetelő cseréhez szükséges csomóponti szorító és az irány sodrony szorító közötti távolság,
- függesztő hosszak,
- felső és alsó irány sodrony hosszak,
- felső és alsó irány sodrony közötti távolság (irány sodrony függesztő hossza),
- hosszláncok közötti távolság,
- hosszlánc, tartó sodrony, munkavezeték hossza,
- oldalkar, szigetelők méreteinek meghatározása,
- felsővezeték tartóoszlopok valós méreteinek meghatározása,
- felsővezeték tartóoszlopok közötti valós távolságok meghatározása stb.



4.5.9. ábra. Keresztmezős csomópont



**Felhasználási javaslatok:** karbantartási, felújítási munkálatok mennyiségi kiírásához szükséges felmérések során. Tervezési, áttervezési feladatok nagy pontosságú mérési adatokon alapuló döntéshozatal és felsővezetékes tervezés. Az üzemeltetett infrastruktúrára vonatkozó nagy pontosságú digitalizált infrastruktúra adatokkal a vállalatirányítási rendszer erre szolgáló moduljának való feltöltése az üzemeltetés hatékonyabbá tétele érdekében. **Továbbá építészeti, biztosítóberendezési, pályalétesítményi szakterületeken is sikerrel alkalmazhatónak ítélem a fent említett technológiát.**

## **RÉSZKÖVETKEZTETÉSEK**

A fejezetben bemutattam, hogy a tervezői feladat milyen összetett akárcsak a hagyományos vasúti rendszereket tekintve is. Ez a feladat az intelligens gépek rendszerek esetében legalább ilyen bonyolult. Ugyanakkor érdemes ezt az erőfeszítést megtenni, hiszen számos olyan lehetőséget rejtenek az intelligens rendszerek, például a rendszer biztonsága, hatékonysága tekintetében, amelyet a hagyományos rendszerek nem. Továbbá bebizonyítottam, hogy a tervezés, karbantartás, üzemeltetés, felújítás során a digitalizáció és annak vívmányai sikerrel alkalmazhatóak hazai viszonylatban is.

## 5. INTELLIGENS INTEGRÁLT VASÚTFELÜGYELETI RENDSZER

A közlekedési alaprendszer elemei (pálya, jármű, járművezető stb.) a közlekedési és szállítási technológiai folyamatok révén kerülnek kapcsolatban egymással térben és időben. A közlekedési folyamatok irányítását informatikai rendszer segítségével valósítjuk meg. **Az alaprendszer, a vezérlő és az irányító rendszer kölcsönhatásban van egymással és elemeik hierarchikus (lásd.: MSZ EN 50126-1:2017 1. ábra) kapcsolatban vannak.** Ez a kapcsolatot egymáshoz illesztetten kell megvalósítani az irányítási alapelveknek megfelelően.

A készülő felügyeleti berendezés munkaneve az IntelliSys-R (Intelligent System for Railway) lett. Az **IntelliSys-R rendszer feladata** a vonatmozgások (későbbi fejlesztési fázisban, majd a tolatási mozgások) szabályozása. A beállított vágányút biztosítása, a vonatutolérés és szembemenesztés lehetőségének kizárása, a berendezéshez tartozó állomási és vonali közút-vasút szintbeli kereszteződésekben lévő biztonsági berendezések vezérlése, a vágányzáró sorompók és siklasztó saruk lezárása, az audió-vizuális és fedélzeti utastájékoztató részére történő információ szolgáltatása. A folyamatirányítás biztonságos végrehajtása. A veszélyhelyzetek megelőzése, feltárása és a biztonságos állapot kikényszerítése a berendezés által vezérelt és ellenőrzött elemek, objektumok meghibásodásának, valamint rendellenes működésének során. Saját meghibásodásának bekövetkezése előtti feltárása és belső biztonsági reakció végrehajtása. Az **IntelliSys-R rendszer által nyújtotta szolgáltatások** meghatározás során a következő fontos elemeket definiáltam [239] [240].

- Megvalósítja a váltó és jelző állítási műveleteket úgy, hogy a veszélyt okozó állításokat nem tesz lehetővé (kikényszeríti a helyes kezelést, működtetést), azaz kizárja a forgalmi veszélyhelyzeteket. [239] [240]
- Az emberi, operátori, forgalmi szolgálattevői tevékenységet kiegészíti és önműködő állapotban helyettesíti a megfelelő ténykedést. [239] [240]
- Ellenőrzi az egyes rendszerelemek, objektumok állapotát az ellenőrzések eredményéről tájékoztatást nyújt. Információt szolgáltat a diagnosztikai alrendszer részére. [239] [240]
- Megvalósítja a vágányfoglaltság ellenőrzését gépi úton. [239] [240]
- Kizárja a veszélyes egyidejű meneteket. [239] [240]
- Biztosítja a beállított vágányúton haladó jármű számára az oldalvédelmet. [239] [240]
- Támogatja az illesztő hardver elemek segítségével a meglévő rendszerek további csatlakoztatását. (további biztosítóberendezések, KÖFE, KÖFI, FOR csatlakozás stb.) [239] [240]
- A váltók villamos állítását teszi lehetővé egyéni és vágányutas módon is. Megakadályozza a lezárt vágányútban érintett váltók további állítását, a védőváltók helyes állását biztosítja. Vágányzár esetén lehetővé teszi a váltók egyedi kizárását. [239] [240]

- Megvalósítja a siklasztósaruk, vágányzáró sorompók ellenőrzését, lezárását, állítását vágányútban és egyedi módon is. [239] [240]
- Megakadályozza a járművekkel elfoglalt váltók állítását, illetve a foglalt vágányokra való járatást mindaddig amíg a hamis foglaltság bizonyossá nem válik. [239] [240]
- Fényjelzők útján biztosítja a vonatok (később a tolató mozgások) szabályozását azzal a feltétellel, hogy a továbbhaladást engedélyező jelzési kép csak a biztonsági feltételek teljesülése esetén jelenhet meg az adott jelzón. [239] [240]
- Biztosítja, hogy a jelzón megjelenő jelzési képek, az aktuális forgalmi helyzetnek megfelelőek legyenek. (Pl.: váltókon alkalmazható sebesség.) [239] [240]
- Lehetővé teszi a jelzők önműködő "Megállj!"-ra kapcsolását. [239] [240]
- Műszaki meghibásodások esetére a jelzőkön való vörös fény megléte mellett biztosítja a főjelzőkön a "Hívójelzés" és a "kijáratí Hívójelzés feloldása" jelzés kivezérlését. [239] [240]
- Biztonságos vonatvágányút (és később tolatóvágányút) beállítását, vágányutak tárolását teszi lehetővé. [239] [240]
- Biztosítja az önműködő jelzőüzemre való kapcsolás lehetőségét. [239] [240]
- Megvalósítja a vágányutak automatikus oldását a közlekedő járművek hatására. [239] [240]
- Lehetővé teszi a még le nem zárt vágányutak törlését és a lezárt vágányutak kényszeroldását. [239] [240]

## **5.1. INTELLIGENS RENDSZEREK GYAKORLATI MEGKÖZELÍTÉSE**

Az MSZ EN 50128:2011 szabvány szerint a mesterséges intelligencia felsorolásra kerül az A.3-as táblázatban a szoftver architektúrák kapcsán (Table A.3 – Software Architecture (7.3)). Ebben a mesterséges intelligencia a hibakorrekciónál (Fault Correction) kerül említésre. Viszont a táblázat kiértékelésével nyilvánvalóvá válik, hogy SIL0-tól SIL4-ig egy esetben sem ajánlott alkalmazni az adott technikát. Azaz gyakorlatilag a mesterséges intelligencia alkalmazása szabvány általi megkötések miatt nem lesz támogatott a gyakorlati életben. Mindennek ellenére a D1-es függelékben a technika célját és a leírását közreadják. Ahhoz, hogy a „lehetséges veszélyekre a rendszer rugalmasan tudjon reagálni olyan módszerek és folyamatmodellek kombinációjára van szükség, ami valamilyen online biztonsági és megbízhatósági elemzéssel párosul. Különösen a hiba előrejelzésére (pl.: trend számítási módszerek), a hiba javítására vonatkozóan. A karbantartás és felügyeleti tevékenységek támogathatók a mesterséges intelligencián alapuló rendszerekkel. A mesterséges intelligencia rendszerben való alkalmazásával hatékonyan elkerülhetők bizonyos olyan általános hibák, amelyek a specifikációs szinten nem kerültek feltárásra. A módszerek a hibákat kijavítását és a hibák hatásainak csökkentését a kívánt biztonság és megbízhatóság elérését támogatják.” [54]

Mindennek ellenére a szabvány nem javolja ennek a technikának az alkalmazását. Javaslatom szerint a szabvány kiegészítésére, továbbfejlesztésére van szükség. Ezt támasztja alá az Európai Parlament kutatási jelentése a mesterséges intelligencia alkalmazásáról a közlekedésben. Véleményük szerint és a folyamatban lévő projektek tapasztalata alapján az automata vasút üzem, a vezető nélküli vasúti járművek, a prediktív karbantartás, az automatizált irányító rendszerek, a működési biztonság növelése, a jármű pozíció meghatározó rendszerek tekintetében is alkalmazható a mesterséges intelligencia. Többek között ezt támogatja a már említett Shift2Rail innovációs program is. [241]

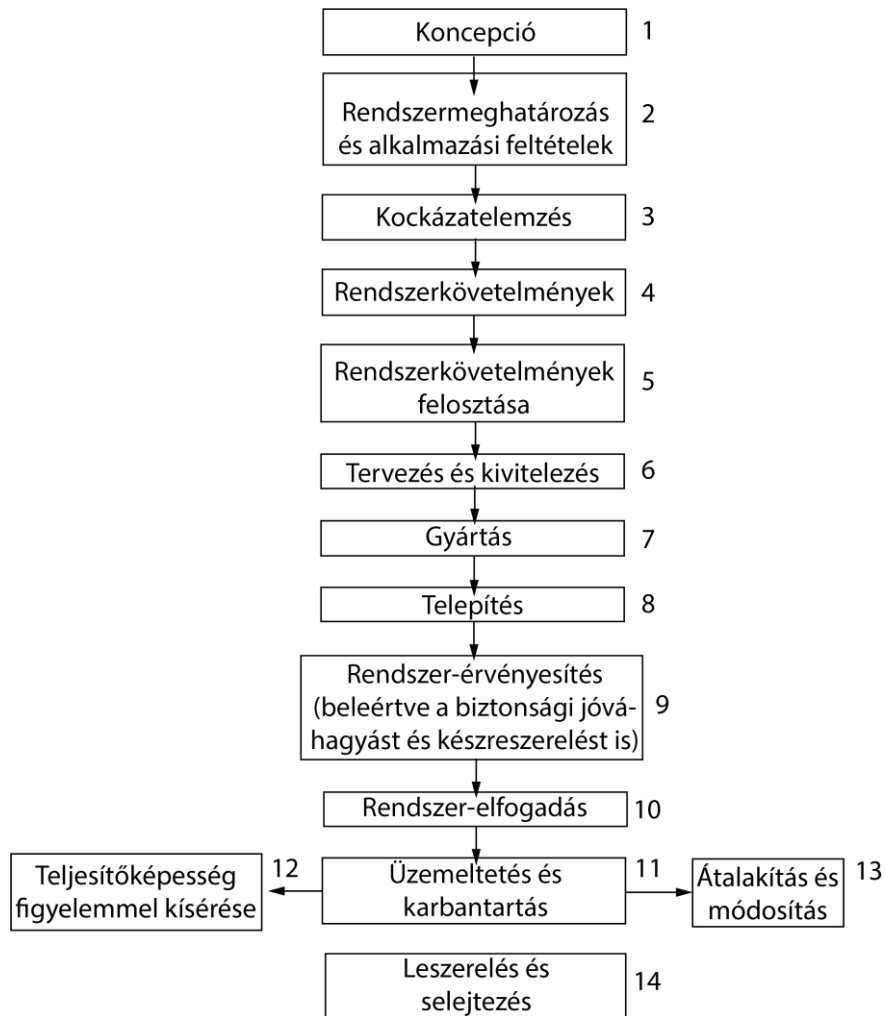
## **5.2. INTELLIGENS INTEGRÁLT VASÚTFELÜGYELETI RENDSZER ÉLETCIKLUSFÁZISAI**

A berendezés tervezését a teljes életciklusra nézve határozom meg a vonatkozó vasúti szabványok alapján. A vasúti berendezéseket teljes életciklusra nézve tervezzük, ami a koncepció kialakítás fázisánál kezdődik. Ebben a fázisban a vasúti projekt céljának és hatókörének meghatározását tesszük meg. A koncepcióban gazdasági elemzést végzünk. Megvalósíthatósági tanulmányt készítünk. Illetve a projektmenedzsmenttel kapcsolatosan kialakítjuk elképzeléseinket. Már a koncepcióban utalunk a megbízhatósággal és karbantarthatósággal kapcsolatos elképzelésekre. Foglalkozunk a projekt biztonsággal összefüggő elemeinek feltárásával, a biztonsági célok átgondolásával. A második fázis a rendszer<sup>158</sup> meghatározása és a rendszer alkalmazási feltételeinek leírása. Az előzetes rendszerleírás vázlatos kialakítása során meghatározásra kerül a berendezés rendeltetése az üzemeltetési és karbantartási stratégiák kijelölésével. Valamint a meglévő infrastruktúrákhoz való kapcsolódási pontok felmérésre kerülnek. A biztonság szempontjából a meglévő infrastruktúra értékelését megtesszük. Előzetes veszélyelemzést készítünk. A felmérés és korábbi tapasztalataink alapján meghatározásra kerülnek a kockázatok. Átfogó biztonsági tervet hozunk létre a kockázat elviselhetőségének szempontrendszerével. Harmadik lépésben a kockázatelemzést végezzük el a projekttel kapcsolatosan. A rendszerre vonatkozó veszélynapló felfektetése történik. Az előzetes kockázatértékelést elkészítjük. Majd a negyedik lépésben a rendszerkövetelmények meghatározásával foglalkozunk. Itt a teljes rendszertől elvárt követelményeket fogalmazzuk meg. A rendszerspecifikációt és az érvényesítési tervet elkészítjük. A projektfolyamat menedzselési, minőségi és szervezeti követelményeit határozzuk meg. Változáskezelési eljárások kialakítását is megtesszük. A teljes rendszerre vonatkozó biztonsági követelmények meghatározását, a biztonság elfogadási kritériumokat, a funkcionális biztonsági követelményeit és a projekt szintű biztonság menedzsmentet alakítjuk ki. A rendszerkövetelmények felosztása az ötödik lépés. Alrendszer, alkatelem szintű

---

<sup>158</sup> Itt átvitt értelemben. Ezt a fogalmat használja a szabvány ezért itt én is ezt használom.

követelmény meghatározás és elfogadási kritérium meghatározásával. Ebben a lépésben történik a rendszerbiztonság céljainak és követelményeinek alrendszerekre és alkatelemekre való bontása, párosítva a biztonsági elfogadási kritériumokkal együtt. Ezzel a ponttal a rendszerbiztonsági terv aktualizálódik. Tervezés és kivitelezés a hatodik lépés. Tervkészítés, tervelemzés és vizsgálat, tervezési igazolás, bevezetés és érvényesítés lépésekkel hajtjuk végre. A biztonsági terv értékelésre kerül, a veszélynapló, a veszélyeztetés elemzés és kockázatértékelés, a biztonsági tervezési alapelvek, a biztonság menedzsment kidolgozása szintén ebben a fázisban történik. Az általános biztonságigazolás ezen a ponton elkészítésre kerül, illetve, ha szükséges az alkalmazásspecifikus biztonságigazolás is elkészül. Gyártás a hetedik lépés. Gyártási terv elkészítése, majd a gyártás lefolytatása. Az összeszerelés és annak vizsgálata. Megvalósulási dokumentáció készítés kapcsolódóan a berendezés használatára vonatkozó oktatások tematikus kialakítása. A legyártott berendezés biztonsági terv alapján és a veszélynapló használatával újabb átvizsgálása, értékelése. A nyolcadik lépés a telepítés. A rendszer a felszerelés helyén való összeépítése, telepítése a telepítési program alapján. Ekkor történik meg berendezés karbantartóinak képzése. Az esetleges tartalék alkatrészek készletezése és az későbbi eszközellátás kialakítása. Kilencedik lépés a rendszer érvényesítése. A berendezés készreszerelésével elkezdődhet a próbaüzem lebonyolítása és a berendezés használatának oktatása. Ebben a pontban a próbaüzemi adatok alapján kerül elkészítésre az alkalmazásspecifikus biztonságiigazolás. Tizedik lépés a rendszer elfogadása. A már meghatározott elfogadási kritériumokon alapuló elfogadási eljárás lefolytatása. Az elfogadáshoz szükséges dokumentációk, mérési adatok összegyűjtése, összerendezése. A próbaüzem sikeres lezárása. A berendezés üzembehelyezése. A tizenegyedik lépés az üzemeltetés és karbantartás. Fel kell hívnom a figyelmet a folyamatos biztonságközpontú üzemeltetésre és karbantartásra, a biztonsági jellemzők folyamatos ellenőrzésére és a veszély naplók karbantartására. Fontos szempont a tartalékalkatrészek és eszközök beszerzése és készletezése. Ellenőrzött felügyelt a tizenkettedik lépés. A berendezésről gyűjtött üzemi jellemzők, üzemi adatok elemzése és értékelése. Kiváltképpen a biztonsági statisztikák gyűjtésére, elemzésére, értékelésére vonatkozólag. A tizenharmadik lépés a berendezés módosítása és átalakítása. A módosításoknak és átalakításoknak vonzatai vannak, ezért csak szabályozott keretek között hajthatók végre, így mindig ellenőrzésekkel párosulnak. A berendezés életciklusa végén a leszerelések és selejtezésekor a vonatkozó biztonsági terv szerint kell eljárni.



5.2.1. ábra. A rendszer életciklusa [242]

### 5.3. INTELLIGENS INTEGRÁLT VASÚTFELÜGYELETI RENDSZER TERVEZÉSE

A rendszertervezéssel kapcsolatban rengeteg szabvány létezik, amelyek között van átfedés, de különbségek is. Ilyenek például a MSZ ISO/IEC 12207:2000 (Informatika. Szoftveréletről ciklus-folyamatok), ISO 15288 (Szoftveréletről ciklus-folyamatok és rendszeréletről ciklus-folyamatok) és CMMI (Capability Maturity Model Integration, folyamatfejlesztési modell).

### 5.4. CMMI MODELL

CMMI modell egy folyamatfejlesztési szemlélet, amely szoftverfejlesztésre, rendszerszervezésre és fejlesztésre és integrált termék- és folyamatfejlesztésre alkalmazható. Ezért megfelelő számunkra az IIVR projektben is. Előnye pedig az, hogy a modell ugyanazon követelményeket várja el a szoftver és a rendszer fejlesztésénél is, így a projekt résztvevőinek közös folyamatokban kell résztvenniük. Természetesen a projekten belüli munkacsoportok munkájának összehangolására figyelmet kell fordítani. Mint ahogy az általános tervezésnél is említettem egy tanulási folyamatról van szó, igaz ez az IIVR projektre is. A CMMI modell

szerinti lépcsős alkalmazási megközelítést választottunk. Azaz a projekt szervezet résztvevőinek éretté kellett válnia a projekt megvalósításra. A projektnek nem egyetemként, hanem vállalatként kell működnie. Ez a magyar felsőoktatásban még nem minden esetben könnyű. A lépcsős modellértelmezési típus egy rendszerezett, szisztematikus folyamatfejlesztési mód. Ez az értelmezés fejlettségi szinteket definiál, amely öt lépcső (ML1, ML2, ML3, ML4, ML5). A szintek között csak folyamatos előrelépéssel lehet fejlődni. A lépcsőkhöz követelményeket rendeltek, így az adott szinten lévő projektszervezet folyamatainak fejlettsége beazonosítható és könnyebben megítélhető. CMMI által definiált fejlettségi szintek szorosan egymásra épülnek, ezért az alacsonyabb szintek képezik a magasabb szintek alapját, ez mutatja az egymásra épülést. A kezdeti első szint, amikor még kaotikusan irányított eredményképtelen szervezetről beszélünk. A második szint már irányított, folyamatokkal számol projektszinten, ugyanakkor gyakran eredménytelen munkavégzéssel jár együtt. Harmadik a definiált szint, amely a folyamatok projektszervezethez való igazítását kívánja meg. Ezen a szinten már eredményes a munkavégzés. A negyedik szinten mennyiségileg irányított folyamatokkal találkozunk. Méréssel, kontrollal, szabályzott, alátámasztott folyamatok vannak jelen. Az ötödik, a modell szerint, a legmagasabb szint az optimalizáló folyamatfejlesztésre helyezi a hangsúlyt. A teljes modell összesen huszonkettő folyamatterületet tartalmaz. A CMMI végrehajtandó feladatokat határozza meg, viszont életciklus leírást nem tartalmaz. [243]

## **5.5. A V MODELL**

Vasúti projekteknél a V modellt javasolja a szabvány. A V modell, mint fejlesztési életciklus rendszerszintű, alrendszerszintű és modulszintű fejlesztési szemlélet. A követelmények analízisével és a logikai rendszerterv készítésével kezdődik a folyamat. Majd a rendszertervezés és a technikai rendszer specifikálása kerül megvalósításra. Ezután az alrendszerszintű részletes tervezést valósítjuk meg. Majd a modul szintűtervezést. Ennek folyamánaképpen következik az implementáció. Minden szinthez tartozik tesztelés, mivel a V modell fejlesztési és tesztelési ciklusokból áll. Ezért modultesztet, alrendszer integrációt és tesztet, a rendszer integrációt és tesztet, valamint felhasználói tesztet kell végezni a fejlesztés során. A V modell az IIVR projektszinten többszörös iterációs folyamattal több lépcsőben kerül megvalósításra. A projekt lebonyolítása során időrendben több szakaszt különböztetünk meg: ezek az indítási fázis, tervezési fázis, előkészítési fázis, megegyezési fázis, megerősítési fázis, értékelési fázis. A logikai rendszerterv elkészítésével létrejön a rendszer koncepciója. A technikai tervezés során meghatározásra kerül a megvalósítandó biztonság integritási szint. Ezután kerül létrehozásra a részletes rendszer specifikáció, azaz a technikai rendszerterv. A

különböző szakaszokban a V modell iteratív alkalmazása folyamatos. A felhasználói követelmények elemzésével létrehozhatjuk a logikai rendszertervet. Ehhez az IIVR projektben brainstormingot, felméréseket és interjúkat készítettünk. Az igényekből származó követelményeket kiegészítettük a vasúti területen meglévő előírásokból származókkal (rendelet, törvény, feltétfüzet, belső utasítások, szabványok stb.). A követelmények között prioritásokat állítottunk fel, valamint betartásukra vonatkozóan rendelkezünk a projekten belül. Követelmények betartása szorosan kapcsolódik a verifikálás és validálási fázissokkal. A biztosítóberendezés, mint termék követelményeinek felállítását szintén elvégeztük. A terméket különböző komponensekre bontottuk és meghatároztuk a külső és belső interfészeket. A követelményeket elemeztük a működési módok és a megkövetelt funkcionalitás szem előtt tartásával. A projekt során folyamatos követelmény menedzsmentet tartunk (pl.: változáskövetés). A követelmény menedzsment során többszintű rendszert építettünk. A felhasználói igények szerinti követelmények kialakítása, hozzátartozó megkötésekkel az első szint. A logikai rendszer funkció követelményei és megkötései tartoznak a második szinthez. A harmadik szinten a technikai rendszer követelményei és megkötései hardver, szoftver, valamint a mechanikai kialakítása vonatkozóan. A negyedik szint az alrendszerek szintje, ahol szintén hardver és szoftver felbontásban, de már komponens szintű követelmények és megkötések találhatók. A követelmények között relációkat állítottunk fel. A logikai rendszer architektúrális tervezésénél főbb komponensekre bontjuk a feladatot. Meghatározzuk a komponensek közötti kapcsolatokat. A kimenetek és bemenetek közötti összefüggéseket. Mindezt úgy, hogy egy magasabb szintű funkcionalitást definiálunk, utána egy szinttel lejjebb a rendszer misszióját határozzuk meg, majd a főbb funkcionalitásait, ezután pedig az alrendszerek és modulok funkcionalitásait határozzuk meg. Ezekhez a munkafolyamatokhoz funkcionális folyamatábrákat készítünk. Illetve az UML szabványos általános célú modellező nyelvhez tartozó railML iparági standard modellel írjuk le a rendszert. A logikai és a technikai rendszer architektúra közötti kapcsolatokat elemezzük, azaz logikai rendszerben található funkciókat fizikailag megvalósító rendszerelemekhez rendeljük. Természetesen mind a logikai, mind a technikai rendszerterv tesztervét is elkészítjük. Ehhez kapcsolódóan belső szabályszerűségek elemzésével foglalkozunk, amely a rendszer belső algoritmusait és azok működését írja le kapcsolatban a rendszer környezetével és az emberrel való interakciókkal. Megbecsüljük a rendszerben található időzítéseket, számítási kapacitás igényeket, esetlegesen a külső és belső interfészek típusait, fizikai kialakítás egyes részleteit. A technikai rendszer felépítésének meghatározásakor kiemelten foglalkozunk valós idejű működés követelményeivel kapcsolódóan rendszerszintű időzítésekhez. Ezután kerül meghatározásra az elosztott működésre vonatkozó feltételrendszer. Az IIVR projekt céljai között szerepel az

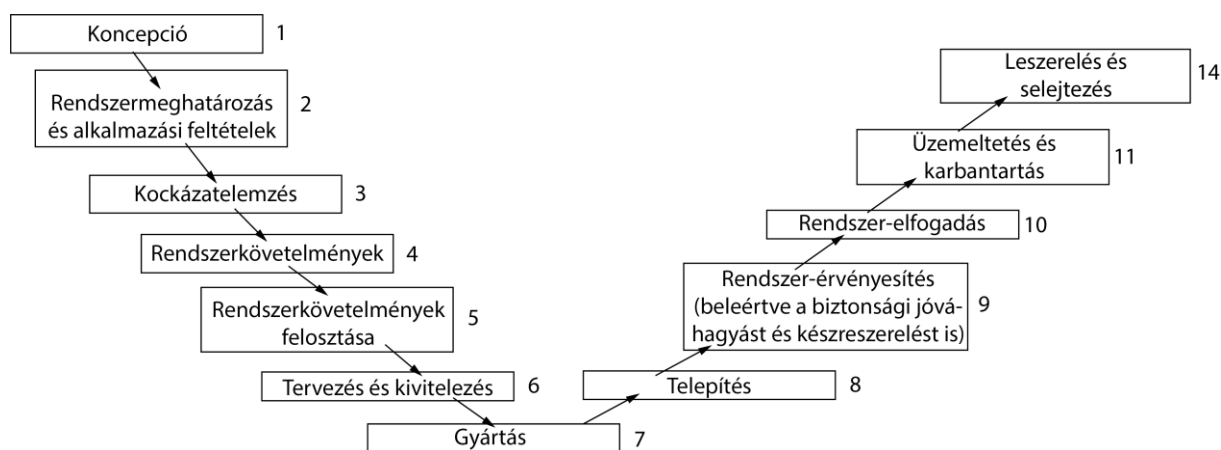


elosztott működés megvalósítása ezért meghatározzuk, milyen funkciókat szervezzünk külön egységbe (paraméterezve számítási kapacitásukkal, időzítésükkel, fizikai kialakításukkal). Szamba vesszük, hogy az elosztott működés során milyen kommunikációs kapcsolatra lesz szükség. Amely definiáltan biztonsági és redundáns kapcsolatot feltételez optikai átviteli közegen keresztül. Megtervezzük a kommunikációs protokollt (üzenetek, jelzések). Rendszer működéséhez szükséges adatbázis modellt hozzuk létre. Ezután következik a biztonság és megbízhatóság elemzés, ami a logikai rendszertervből indul ki. Megbízhatósági biztonsági elemzés tartalmazza, a veszély analízist, azaz a veszélyt jelentő szituációk felmérését. A kockázatok, hibatípusok, hibagyakoriságok elemzését és az ezekből következő megbízhatósági biztonsági követelményeket. Azaz meghatározzuk a biztonság integritási szintet, a rendszerre vonatkozólag. Elemzést végzünk a biztonság és a megbízhatóság szempontjából kritikus komponensek meghatározására. A biztonságkritikus folyamatokhoz tartoznak a verifikációs és validációs eljárások, az egyes rendszerelemek követelményeinek biztonság szempontú összefoglalása, kiemelten a szoftver fejlesztési folyamatra nézve. A biztonság integritási szint kiválasztása szabvány szerinti fejlesztési folyamatban további követelményeket határoz meg a tervezés megvalósítás és a tesztelésre vonatkozólag. A technikai rendszer tervvel kapcsolatban összefoglalható, hogy tartalmazza a rendszer belső algoritmusainak specifikációját, valós idejű működés követelményeit, az elosztott működés követelményeit, és a biztonsági és megbízhatósági követelményeket a projektre vonatkozólag. [244]

Hardver tervezés kapcsán meghatározott követelmények szerint a mechanikai paraméterek meghatározásával kezdődik meg a munka. A berendezéssel kapcsolatban tervezésre kerül annak dobozoló (UV állóság, hővezetés, rezgésállóság, IP védettség, IK ütésállóság) csatlakozóinak kialakítása, belső NYÁK-ok elrendezése és paraméterei, működési hőmérséklet tartomány stb. Az analóg, digitális, illetve teljesítmény elektronika szerinti funkció szintű egységekre bontása. Különböző hardware modulok kapcsolatainak átgondolása és meghatározása. A táp és föld NYÁK szintű megtervezése, azaz a tápellátási struktúra, táp hierarchia (milyen feszültség szintek, milyen lépcsőben kerülnek előállításra) specifikálása. A tápfeszültség védelem kialakítása (zener dióda, varisztor, polyswitch, I/O láb védelem). Az EMC elemzés végrehajtása (immunitás és emisszió). A galvanikus leválasztások áramkör szintű megtervezése, szükségességének elemzése (transzformátor, optocsatoló stb.). A kimeneti kapcsolások kialakításának, variációinak kidolgozása. A hardver modulok között kialakított csatlakozások 'board to board' technológiával kerülnek megvalósításra. A NYÁK-on elhelyezésre kerülő komponensek/ alkatrészek esetében különös figyelmet fordítunk a hő leadásra és a hő függésre. Az alkatrészek összehuzalozásánál szempont a kapacitív csatolás elleni védekezés földelésekkel és logikus kialakítással. Ugyanígy figyelmet fordítunk az

induktív csatolás problémáira is. A rendszer létrehozásához többrétegű NYÁK-ot tervezünk és alkalmazzunk. [244]

Szoftverszinten szintén meghatározásra kerülnek a komponensek és az azok közötti interfészek. Kialakításra kerülnek szoftverrétegek, amelyek a választott hardverrel épülnek. Mikrokontroller absztrakciós réteg, vezérlőegységek absztrakciós réteg, szolgáltatási réteg, applikációs réteg. Megfogalmazásra kerülnek szoftver normál, inicializációs, hiba eseti, szerviz módok leírásai. A szoftver komponens tervezés során az adatmodellt, a viselkedési modellt és a valós idejű működési modellt tervezzük meg. Az adatmodell létrehozására vasúti területen alkalmazható a railML vagy például a RailTopoModel, de ismeretes ontológia megközelítés is. A viselkedési modell leírásához állapot gépes leírást alkalmazunk. A valós idejű működést fixen ütemezett taszkokkal érjük el. A szoftverre vonatkozóan diverz programozást alkalmazzunk. [244]



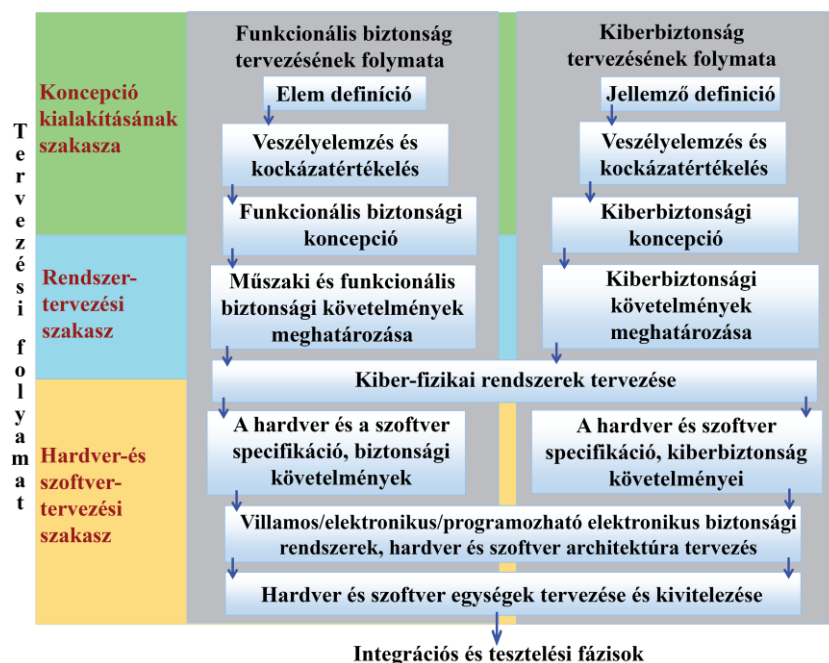
5.3.2.1. ábra. V modell [242]

## 5.6. MÓDOSÍTOTT V MODELL SZERINTI FEJLESZTÉS

Az általam kifejlesztett és javasolt eljárást az intelligens biztosítóberendezés „funkcionális és kiberbiztonság szempontú tervezési folyamata” ábra mutatja. A kiberbiztonságnak a fejlesztési folyamatban nem csak egy hozzáadott elemnek kell lennie, hanem a tervezési folyamat szerves részét kell, hogy képezze egészen a koncepció fázisától, a gyártás, üzemeltetés, szervizelés és rendszer leszereléséig. Ez jelenti azt, hogy a kiberbiztonságot a rendszer teljes életciklus alatt folyamatosan fent kell tartani. A fejlesztési folyamat során nem csak a funkcionális biztonság létrehozását, hanem a kiberbiztonság megvalósítását is szem előtt kell tartani. Az MSZ EN IEC 62443:2019<sup>159</sup> definiál négy biztonsági szintet, amely minőségi mutatókat, készségeket és erőfeszítés szinteket határoz meg a sikeres rendszertámadáshoz. A kibertámadhatóságához szükséges erőforrások számbavételét kockázatelemzés útján el kell

<sup>159</sup>MSZ EN IEC 62443-3-3:2019, Ipari automatizálási és szabályozási rendszerek biztonsága. Hálózat- és rendszerbiztonság. 3-3. rész: Rendszerbiztonsági követelmények és biztonsági szintek - IEC 62443-3-3:2013

végezni és eredményeit implementálni kell a fejlesztési folyamatba. A kockázatelemzés és kockázatértékelés segítségével olyan fejlesztési biztonsági koncepciót és követelmény előírást kell létrehozni, amely már rendszerterv szintjén foglalkozik a mélységi védelem kialakításával és a védelmi megoldásokat egymásra épülő rétegekként határozza meg. [245]



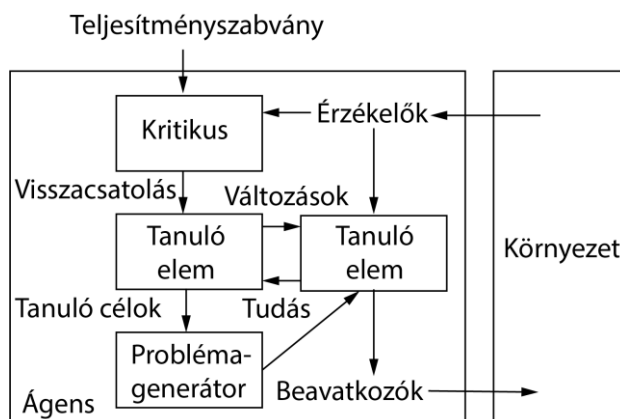
5.4.1. ábra. Funkcionális és kiberbiztonság szempontú tervezési folyamat (saját ábra, készült a [245] [246] források felhasználásával)

Összegzésképpen a rendszer fejlesztésének kiberbiztonsági elvei szerint a mindennemű kommunikáció védelmére, az érzékelők, a működést befolyásoló mikrokontrollerek és mikroprocesszorok védelmére, és a lehetséges folyamatosan változó fenyegetések enyhítésére kell törekedni a rendszerfejlesztések során. [247] A mesterséges intelligencia alkalmazása a kognitív mobilitási platform kialakítása, vagy éppen a tudásalapú kritikus vezérlési funkciók megvalósítása a végponttól végpontig terjedő mély tanulás segítségével a rendszerek biztonságának új dimenzióját jelenti. [248]

### 5.6.1. ÖNSZERVEZŐDÉSRE KÉPES KOMMUNIKÁCIÓ ALAPÚ MŰKÖDÉSŰ KOGNITÍV HOLONIKUS VASÚTI ÁGENS

Javaslatom szerint egy intelligens vasúti ágens létrehozásához az IIVR projektben az alábbi módon a következő feladatokra. Ágens tervezésnél az érzékelési szekvenciához rendeltlen kell meghatározni az ágens cselekvését táblázatos vagy algoritmusos módon. Az ágens tudásábrázolásának esetében például forgatókönyveket vagy szemantikus hálókat hozhatunk létre. [249] Az alábbi ábrán egy tanuló ágens alapvető struktúráját látjuk. Amelynek főbb elemei: A kritikus egység fogadja az érzékelőtől kapott információt, értelmezi, megvizsgálja és az érzékeltet alapján javaslatot tesz a végrehajtó elem számára a tanuló elemen keresztül. A tanuló elem a kritikus egység véleménye alapján módosítja a végrehajtó elem működését. A

végrehajtó elem érzékeli környezetét és a belső algoritmusok alapján szükség esetén beavatkozik a környezete működésébe. A problémagenerátor az az elem, ami a belső önszerveződést motiválja. [250] [251]



5.4.1.1. ábra. Tanuló ágensek struktúrája [250] [251]

A mesterséges intelligencia használatát a MSZ EN 50128 javasolja hibakorrekcióra, tehát van hagyománya a mesterséges intelligencia használatának a vasúti rendszerekben. Ilyen mesterséges intelligencia felhasználásával lehet létrehozni egy önszerveződésre képes kommunikáció alapú működésű kognitív holonikus vasúti ágens is. A rendszert nem csak egy ágensből hozzuk létre. Hanem multiágensrendszerrel beszélhetünk, ami esetén a modell több ágensből épül fel. Erre az elosztott mesterséges intelligencia<sup>160</sup> technológiák létrejöttével van lehetőségünk immáron.

Az vasúti ágens alapvető tulajdonságok:

- Kitartó: folyamatosan konzisztens belső állapottal rendelkezik.
- Autonóm: kontrollt gyakorol a saját belső állapota és akciói felett, cselekvés, érzékelés.
- Önálló: direkt emberi beavatkozás nélkül működik.
- Adaptív: érzékeli a környezetének változásait és reagál azokra.
- Szociális: kapcsolatban áll emberekkel és más ágensekkel.
- Kommunikál: képes információt cserélni más rendszerekkel.

A vasúti ágens képes a

- Periféria elemek vezérlésére. Periféria elemek: váltóhajtómű, vasúti fényjelző, sorompó hajtómű és közúti jelző, térközjelző stb.
- A kötöttpályás járművek pozíciójának, haladási irányának, sebességének, gyorsulásának, működési állapotának meghatározására.
- Képes összeköttetésbe lépni más ugyanilyen felügyeleti és irányító berendezésekkel.

<sup>160</sup> Distributed Artificial Intelligence

### *Mire használható?*

A kommunikáció alapú működés létrehozó, hálózatba kapcsolt mesterséges intelligenciával rendelkező elemeket használjuk fel a vasúti automatizálás megújítására. A hagyományos rendszerben termelődő adatok felhasználása nem valósul meg megfelelőképpen. Hatékonyabb adatgyűjtési technika alapján több és pontosabb adathoz jutunk (vasúti Big Data), amelynek elemzésből levonható következtetések és a szükséges intézkedések meghozására leszünk képesek. Az egyszerű adatokból információt hozunk létre a működés hatékonyságának javítására, vagy akár a prediktív karbantartás létrehozásához. A rendszerről folyamatosan létrejövő információ felhasználásával egy „élő” kiber-fizikai rendszert hozhatunk létre (élő struktúra: életjel, folyamatos kommunikáció stb.). A dinamikusan változó térképészetileg pontos digitális világ leképzése a valós fizikai vasúti infrastruktúráról az öntudat (ön helymeghatározásra) képes eszközzel, amely létre tudja hozni a saját hálózati és logikai kapcsolati térképét a beleprogramozott és tanult algoritmusok szerint. Ezzel létrehozva egy újszerű biztonságos, környezettudatos, hatékony automata jármű közlekedtetést (járműirányítás, befolyásolás) a kötöttpályás közlekedésben. A rendszer támogatja az energiafelhasználás racionalizálását a kötöttpályás közlekedésben (ma nincs energiamenedzsment a villamosvontatás területén, esetleg a fékezésnél visszatápláló rendszerekben), fékezési és gyorsítási dinamikák az infrastrukturális adottságoknak megfelelően (lejtviszonyok => digitális térkép létrehozásával), illetve az aktuális forgalmi helyzetnek megfelelően (jelző vörös => akkor nem fékez, hanem lassít, hogy a célnál kisebb fékezéssel tudjon megállni.) Segíti a ma még ember által végzett forgalomszervezés automatizáltabbá tételét a rendszer öntanulásával és szakértői rendszerré való válásával. A forgalomszervezés javítására az infrastruktúráról gyűjtött adatokban rejlő összefüggések információtartalmának segítségével nagyobb átbocsátóképességet hoz létre egy véges erőforrásokkal rendelkező infrastruktúrát automatikusan üzemeltetve. Ezzel lehetővé válik a régóta elavult, sokszor 30-40 éves vasúti irányítóberendezések gazdaságos, interoperábilis cseréje. A forgalomszervezésre példa: rendszer előre látja a forgalmi nehézményeket, ha van, kerülő vágányutat biztosít a késések csökkentése érdekében (útkeresés, optimalizálás). Nem csinál olyat, hogy az állomásra előbb odaérkező vonatot megállítja az átmenő fővágányban és a később érkezőt kitérőben járattja be az álló vonat előtt, ezzel mind a két vonatot megkésleltetve. A pozíció, sebesség az infrastrukturális lehetőségek, a forgalmi helyzet alapján a menetrendi adatokkal összhangban, de szükség esetén azt felülbírálván dönt/javaslatot tesz a vonatok közlekedtetéséről, amelyet az operátori hozzájárulás mellett végre is hajt. Az útvonalválasztáshoz, torlódásirányításhoz, hibaaazonosításhoz használhatunk lágy számítási

módszereket (fuzzy rendszerek, az evolúciós számítási technikák, neurális hálózatok). Fontos újdonság a vasúti technikában a berendezés kommunikációs irányai M2M<sup>161</sup>, H2M<sup>162</sup>, M2H<sup>163</sup>. Az ágens a hálózatosság, az önszerveződés, a berendezések közötti logikai kapcsolatok önálló létrehozása jellemzi a hagyományostól eltérő módon. A berendezés tervezése, gyártása az Ipar 4.0 céljaival összeegyeztethető. A rendszer képes a kritikus infrastruktúra védelmére az önszerveződő kognitív gépekkel. Ez az ágens maga az automatizáció, a digitalizáció és az intelligens közlekedési rendszerek alapja. [168] [252]

## **RÉSZKÖVETKEZTETÉSEK**

Összegezve az intelligens vasúti rendszer az intelligens elemekből felépülő vasúti rendszert jelenti. Erre példa a megvalósítás alatt álló IntelliSys-R (Intelligent System for Railway).

Az intelligens vasúti rendszer létrehozásának, tervezésének bemutatásával foglalkoztam ebben a fejezetben. Egy intelligens elem létrehozásán keresztül mutattam be az intelligens vasúti rendszer létrehozásának egy lehetőségét.

---

<sup>161</sup> Machine to Machine communication

<sup>162</sup> Human to Machine communication

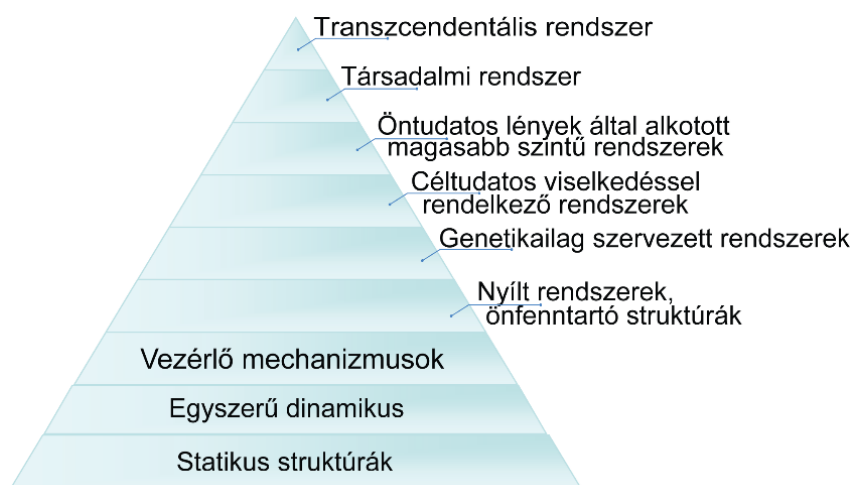
<sup>163</sup> Machine to human communication

## 6. KOMPLEX RENDSZEREK INTELLIGENCIÁJA

A komplex rendszerek intelligenciájának kutatása során többségében induktív gondolkodást feltételezve tulajdonságokat és relációkat (két vagy több jelenség közötti kapcsolat) vizsgállok. A tulajdonságok hasonlóságai és különbözőségeinek felismerésével általánosítás és megkülönböztetés során egy több szempontú osztályozási rendszert hozok létre (SQ<sup>164</sup> származtatása táblázat).

### 6.1. AZ INTELLIGENS ÉS OKOS RENDSZEREK TEORETIKUS<sup>165</sup> MEGKÖZELÍTÉSE

Egy új típusú rendszert – ilyenek az intelligens rendszerek is – talán úgy érthetünk, alkothatunk meg és fejleszthetünk tovább, ha ismerjük az általános rendszerelmélet alapvetéseit. Ehhez a magyar nemesi gyökerekkel rendelkező Ludwig von Bertalanffy és majd később Kenneth E. Boulding munkásságát kell első körben vizsgálnunk, hiszen ők azok, akik az általános rendszerelmélet megalapozásában jelentőset alkottak. Érdekesség, hogy Bertalanffy biológus Boulding pedig közgazdászként foglalkozott a különböző rendszerekkel. Foglalkoztak például a különböző rendszerek rész-egész problematikájával<sup>166</sup>, a rendszerekben lévő folyamatokkal és a bennük lévő önszerveződés kialakulásával. Boulding kilenc szintet különböztet meg a rendszerek csoportosítása során. (Lásd a 5.1.1. ábrán.)



6.1.1. ábra Boulding féle rendszerosztályozás [59]

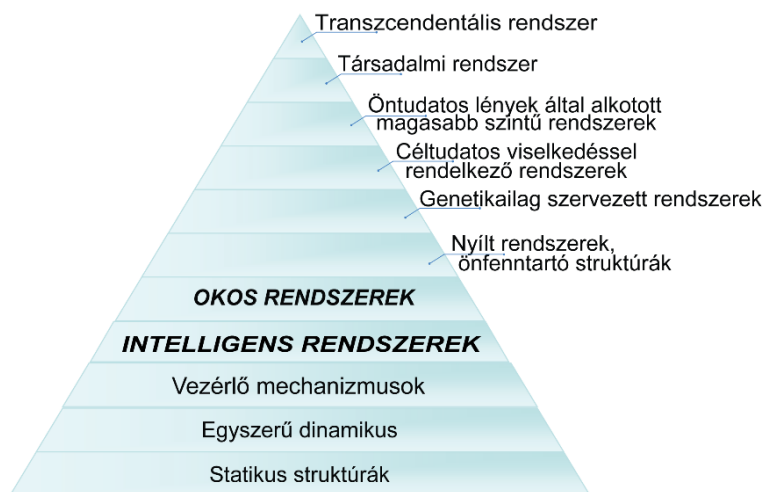
A mai vasúti rendszer a vezérlő mechanizmusok fejlettségi szinten helyezkedik el. Ennek a szintnek a képességeit a termosztátokhoz hasonlítja Boulding, ezen a szinten lévő rendszerek irányítási rendszereket vagy kibernetikai rendszereket jelentenek, amelyek fenntartják működésük egyensúlyát bizonyos határok között. [59] A következő szint, amit meghatározott, a sejteknek nevezett típusú rendszer. Amely esetében nyílt rendszerekről, illetve önjavító,

<sup>164</sup> Okosság elmélet és okosság hányados (Smartness Theory, Smartness Quotient)

<sup>165</sup> Elméleti

<sup>166</sup> Part-Whole Relationships

öngyógyító, önfenntartó struktúrákról van szó. Ennél a szintnél kezdődik az élet, mely határozottan elkülönül az élettelen rendszerektől. [59] Az intelligens rendszerek már a termosztát, azaz vezérlő mechanizmusok szintjét jócskán felül fogják múlni. Viszont a sejtek szintjét még nem teljesítve, de már-már a mesterséges 'élet' bizonyos tulajdonságaival fognak rendelkezni. Ezért meglátásom szerint a rendszerek osztályozásának módosításával élhetünk. Ezt láthatjuk az 5.1.2. ábrán.



6.1.2. ábra Boulding féle rendszerosztályozás módosítása [61] [59]

Az okosság lényegében egy hangzatos marketingfogássá silányult az utóbbi időben. Tapasztalatom szerint viszont az okosság egy komoly indikátor lehet, amivel jellemezni tudjuk a különféle gépek, eszközök, rendszerek, hálózatok **gépi intelligencia szintjét**, többek között súlyozva a használhatósági szempontú paraméterrel. Ebben a fejezetben összefoglalom, hogy mit is jelent a gyakorlatban az okosság, eszköz, rendszer és komplex rendszerek hálózata szintjén. Példámban az okos eszköz egy *egyedüli ágens* (lásd.: 6.1.3. ábra) lesz, az okos rendszer az egy *multiágens rendszert* (lásd.:6.1.4. ábra) fog jelenteni, és a komplex rendszerek hálózatát pedig egy *hálózatba szervezett ad-hoc multiágens rendszerként* (lásd.: 6.1.5. ábra) írom le. Az utóbbi példának lehet a fizikai megtestesülése az okos város vagy egy intelligens közlekedési rendszer egyes alrendszerei. Ebben a fejezetben javaslatot teszek arra, hogy egy rendszer okosságának meghatározásánál vegyük figyelembe a **gépi intelligenciahányadosát** (MIQ<sup>167</sup>), a gépek **használhatósági indexét** (UI<sup>168</sup>), gépek **környezeti teljesítmény mutatóját** (EPIoM<sup>169</sup>).

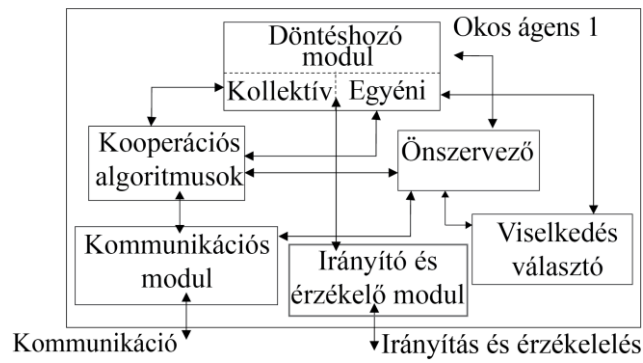
Az alábbi ábrákon mutatom be az általam konstruált ágensek strukturális felépítését: Okos eszköz okos ágens modellje:

<sup>167</sup> Machine Intelligence Quotient

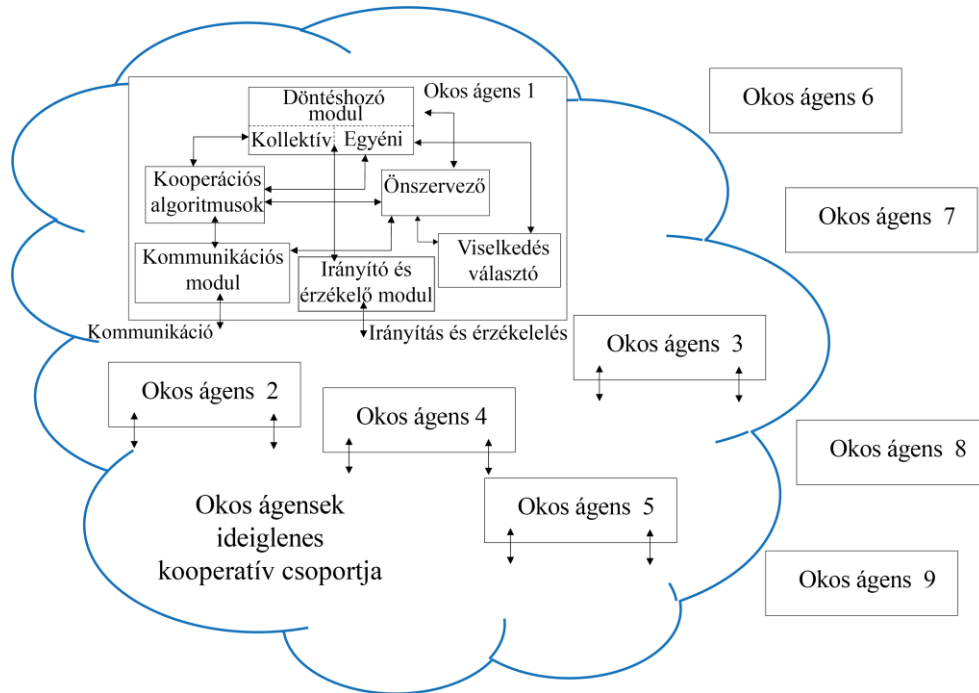
<sup>168</sup> Usability Index

<sup>169</sup> Environmental Performance Index of Machine

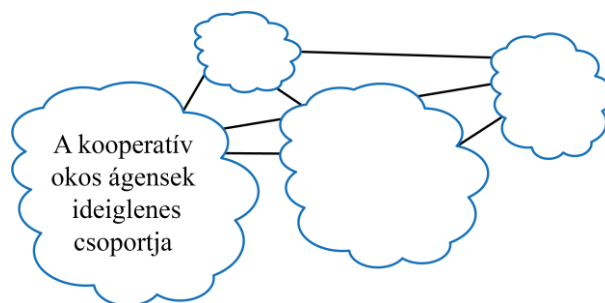




6.1.3. ábra. Holonikus<sup>170</sup> okos ágens működési architektúrája (saját ábra a [253] forrás felhasználásával)



6.1.4. ábra. Okos multi-ágens rendszer architektúrája (saját ábra)



6.1.5. ábra. Ad-hoc hálózatosodott okos multi-ágens rendszerek szociogramja<sup>171</sup> (saját ábra) komplex rendszerek hálózatelmélete alapján elképzelve [254]

<sup>170</sup> „A „holonikus rendszer” központi terminusát, a holont, Arthur Koestler használta először a Szellem a gépben című művében. A szó egy olyan egészet jelöl, mely egyrészt részekre osztható, másrészt maga is egy nagyobb egész része.” [285]

<sup>171</sup> Kapcsolatháló

## 6.2. A KOMPLEX RENDSZEREK INTELLIGENCIÁJÁNAK TERVEZÉSE – OKOS GÉPEK TERVEZÉSE

A gépi intelligencia első említése feltehetően az 1940-es évekre datálható. Ekkor a kibernetika létrejöttével fogalmazódott meg a gondolkodó gépek, robotok létrehozásának esetleges mikéntje. Az okos gépek létrehozásnak alapját a gépi intelligencia materializálódása teszi lehetővé. A különféle irányzatok közül például a konnekciónizmus<sup>172</sup> jelentős hatást gyakorol az okos gépek fejlődésére. [255]

*De mi az okos gép tervezés lényege?*

Rendszer tervezésénél szükséges számszerűsíteni a rendszer paramétereit és előzetesen ellenőrizni a rendszer kialakításának sajátosságait. Általánosságban elmondható, hogy egy jól használható rugalmas rendszer létrehozásához skálázhatóság, modularitás, bővíthetőség figyelembevételére van szükség. Tendencia, hogy olyan szubjektív paraméterek is fontosak, mint például az elegancia, vagy például a rendszer által nyújtható komfortszint. Az ideális tervezés figyelembe veszi a rendszer időtálló kialakításának lehetőségeit, illetve a jövőbeli felhasználási célok minél jobb kiszolgálását. Gyors technológiai változások szem előtt tartásával, a nemzetközi szabványok használatával szükséges a tervezési folyamat véghezvitele. A gazdaságosság, energiahatékonyság és egyéb, a rendszerrel szemben támasztott elvárások kapcsán a rendszerben rejlő szűk keresztmetszet pontos tervezésére van szükség. Egy rendszerben mindig lesznek szűk keresztmetszeti elemek, akár csak a gazdasági lehetőségekből kifolyólag, vagy akár az erőforrások korlátozottsága végett is. Amennyiben viszont képesek vagyunk ezeket tervezni, úgy a rendszerünk optimalitása biztosítható lesz és egy kiegyensúlyozott, rugalmas rendszert hozhatunk létre. [256]

*Mit jelent a rugalmasság a gépek esetében?* A Cambridge angol értelmező szótár szerint a rugalmasság<sup>173</sup> a rendszer – esetünkben gépek – azon tulajdonsága, hogy a rendszert ért bármilyen probléma esetén milyen gyorsan tud egy előző jobb állapotba visszatérni. **Mi tehát az okosság ebben az esetben? Az okosság a rugalmassághoz vezető út.** Ez látható az 6.2.1. ábrán.

---

<sup>172</sup> Connectionism; „Egy konnekcionista rendszer egyforma tulajdonságú elemek kapcsolati hálózata a hozzátartozó tanulási szabályokkal. A tanulási szabályok az elemek aktivitásának függvényében a hálózat módosítását, pontosabban a meglévő kapcsolatok erejének megváltoztatását írják elő. A kapcsolatok ereje pedig azt határozza meg, hogy az egyes csomópontokkal összeköttetésben álló más csomópontok aktivitása milyen mértékben befolyásolja az adott csomópont aktivitását.” [286]

<sup>173</sup> Resilience



6.2.1. ábra. 5C<sup>174</sup> tervezési architektúra okos kiber-fizikai rendszerekhez (saját implementáció a [61] [257] források alapján)

### 6.2.1. OKOS GÉPEK GÉPI INTELLIGENCIA SZERINTI TERVEZÉSE

Az okos gépek egy új, még kutatás alatt álló terület. Meglátásom szerint az okos gépek létrehozásával egy új, magasabb szintjét valósítjuk meg az automatizációnak. Ez a szint funkcionalitását tekintve a mai robotizációhoz áll közel, de nem teljesen ugyanaz. Az emberek életminőségére közvetlen befolyással van a gépek intelligenciája. [258]

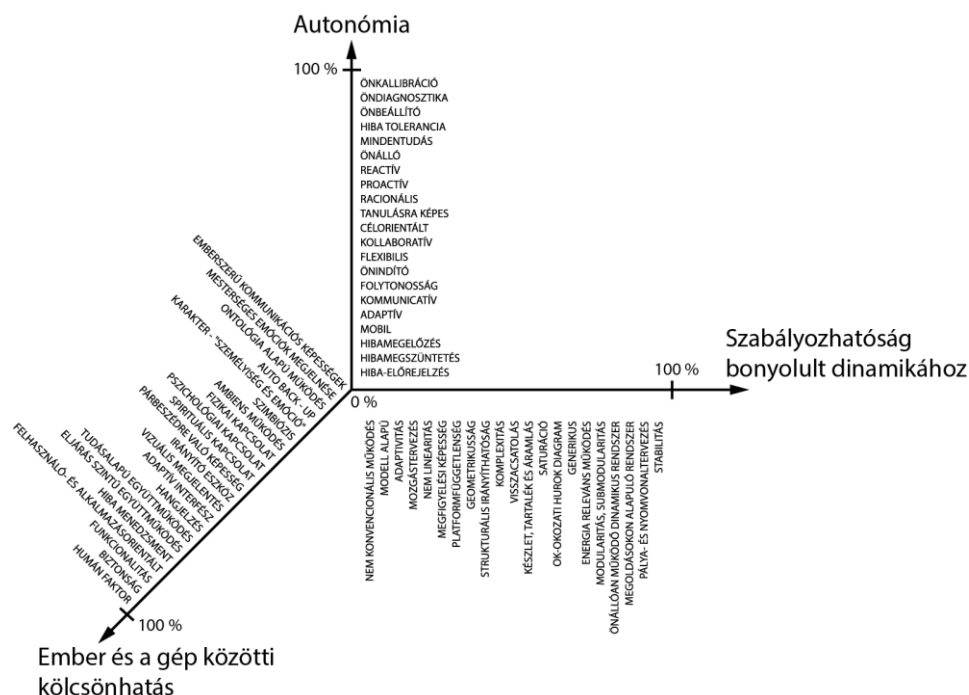
*Hogyan tudhatnák olyan gépet csinálni, ami csökkenti vagy megoldja az emberiség problémáit? Az okos gépek tervezésének és létrehozásának korlátja maga az ember. Az iskolában tanult gondolkodási mód, akárcsak egy programozó esetében is. Miért gondolom ezt? Ma a jól bevált módszerek alapján fejlesztik a szoftvereket az iskolában megtanult sablonos elfogadott paradigmák szerint. A különféle paradigmák nem keverednek vagy maximum csak addig, míg a programozó ki nem alakítja a saját stílusát. A programok megírásában a hibáktól való mentesség jelentős fontosságú, viszont tudvalevő, hogy a programok teljes hibamentessége nem érhető el. Mégis mind mind tökéletesebb megoldásokat keresnek a programozók az adott feladatok megoldására. Ezek után biztos, hogy jól fog-e működni minden ember által alkotott rendszer? Még ha elérhető is lenne a teljesen tökéletes program megvalósítása, akkor is feltehető egy kérdés. A létrehozott merev, szabálykövető rendszer illeszkedhet-e egy olyan világba, ami folyton folyvást változik? Az emberi, illetve a természeti folyamatok ezt hogyan tudják áthidalni? Lehet-e ezt az áthidalási képességet implementálni a gépi rendszerek működésébe? Ha például az ember problémába ütközik feladatának végrehajtása során, keresni fog egy új megoldást, amivel továbbléphet. Ma még a gépek erre kevés esetben képesek. Jó példa erre a ma csúcstechnológiának mondható autonóm önvezető járművek. Ha egy ilyen jármű előtt egy olyan teherautó, melynek a hátsó ajtajának grafikai díszítéseként egy biciklis csapat van, a jármű úgy értékelheti, hogy előtte egy más típusú forgalmi helyzet van, mint ami valójában. Holott csak egy teherautó halad előtte. Az ember felismeri a helyzetet, mert képes észlelni a helyzet további részleteit és a már megtanult*

<sup>174</sup> Configuration, Cognition, Cyber, Conversion, Connection

sémákból képes változatos döntéseket hozni, hiszen tudja, hogy melyik és melyik séma nem működik egy ilyen helyzetben. Ennek megtanulása még a gépek előtt áll.

### 6.2.1.1.A GÉPI INTELLIGENCIAHÁNYADOS (MACHINE INTELLIGENCE QUOTIENT - MIQ)

A gépi intelligenciahányados négy kulcs attribútumból áll Bein et al. szerint, melyek a következők: **autonómia**, az **ember és a gép közötti kölcsönhatás**, a **szabályozhatóság** **bonyolult dinamikai viselkedéshez** és a **biológiailag inspirált viselkedés**. Minden attribútumnak van több fő komponense. Az autonómia esetén az önkallibráció, öndiagnosztika, önbeállító, hibatolerancia. Az ember és a gép közötti kölcsönhatásba beletartozik az emberszerű kommunikációs képességek, a mesterséges emóciók megjelenése és ergonómikus kialakítás. Valamint a szabályozhatóság bonyolult dinamikai viselkedéshez attribútumhoz tartozik a nem konvencionális működés, modellalapú viselkedés, adaptivitás, mozgástervezés és a nemlinearitás működés. Végül pedig a biológiailag inspirált viselkedés kapcsán a neurális hálózatban való működés és a kognitív működés megvalósítása. A teória szerint a modell térben az autonómia, az ember és a gép közötti kölcsönhatás, állandó tényezők, de a szabályozhatóság bonyolult dinamikai viselkedéshez és a biológiailag inspirált viselkedés már alkalmazás függő tényezők. Fontos a modell környezetének, alkalmazási feltételeinek körülhatárolása. Az eredeti elmélet dinamikus, strukturálatlan és bizonytalan környezetet feltételez. A gépi intelligenciahányados meghatározására három módszert sorol fel: fuzzy logika, neurális hálók, genetikus algoritmusok. Bein et al. szerint „az az intelligens rendszer, ami ezt a négy tulajdonságot magába foglalja, javítja a biztonságot, nagyobb megbízhatóságot jelent és magas hatékonyságot és gazdaságos karbantartást tesz lehetővé.” [259]

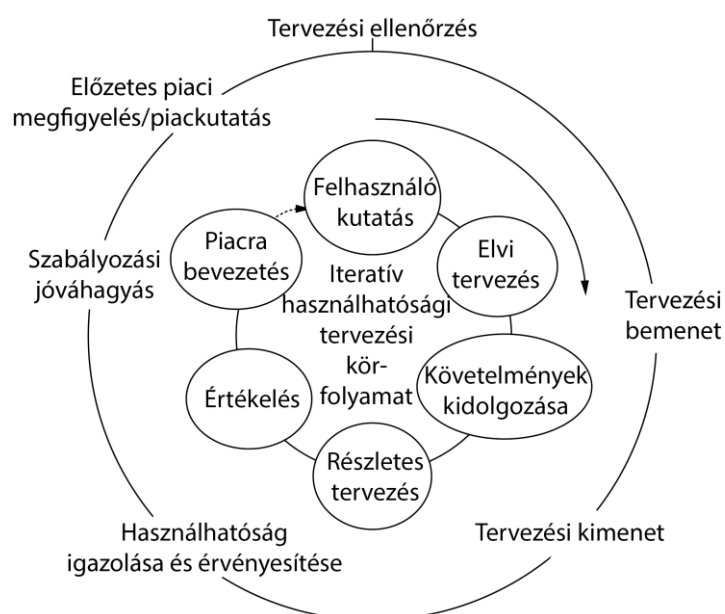


6.2.1.1.1. ábra. Az MIQ három összetevőjének ábrázolása (saját szerkesztés)

A 6.2.1.1.1. ábrán szemléltetem a kutatásaim alapján meghatározott további attribútumokat/indikátorokat a gépi intelligenciahányados három fő komponenseire vonatkozóan. Mint már ebből az ábrából is látható, a három fő attribútum egy háromdimenziós teret határoz meg. Ahhoz, hogy szemléltetni, valóban szemléltetni tudjuk a gépi intelligenciahányados egy négydimenziós térre van szükség, amit egy négydimenziós hiperkockával szemléltethetünk.

### 6.2.1.2. OKOS GÉPEK HASZNÁLHATÓSÁGI TERVEZÉSE

A gépekre vonatkozó általános használhatósági tervezéssel (lásd. a „Használhatósági tervezés folyamata ábrán”) kapcsolatos megállapításokat egy már jól kiforrott területről nyert információk alapján határozom meg. Ez a terület az orvosi eszközök használhatósági tervezése.



6.1.2.1. ábra. Használhatósági tervezés folyamata (IEC 62366:2007, Fig. D.1) [260]

Az eszközök, gépek használhatósági tervezésének folyamata tíz lépésből tevődik össze ezen a területen, amely az alábbiak szerint implementálható az okos gépek tervezése során is. [261]

1. lépés: Az alkalmazási előírás<sup>175</sup> tartalmazza a felhasználás koncepcióját, a felhasználók, kezelők körét, az eszköz kapcsolódásainak pontját más eszközökhöz, rendszerekhez, az eszköz használatának körülményeit és működési alapelveit. Létrehozásához szükséges a felhasználókutatás és az előzetes piaci megfigyelés/piackutatás.[261] Szükséges, hogy a fejlesztői csapat tagjainak koherens elképzelése legyen a fejlesztendő eszközről és annak távlati céljairól, mert így képesek megérteni a fejlesztés tárgyával szemben felmerülő alapvető követelményeket.[261]

<sup>175</sup> Application specification

2. lépés: Gyakran használt funkciók<sup>176</sup> az elvi tervezési részében kerülnek meghatározásra, azért hogy a legtöbbször és legfontosabb eszközfunkciók definiálásra kerüljenek. [261]
3. lépés: Az elvi tervezés második fele a használhatósággal összefüggő veszélyek és veszélyes helyzetek meghatározása<sup>177</sup>. A felhasználói cselekvések, maga az eszköz használata – amennyiben az nem teljesen autonóm – használati hibákat generálhatnak. A hibák előzetes azonosítása és kezelése a kockázatirányítás részfolyamata, ami a használhatósági folyamat ezen pontjára is hatással van. Ezért a biztonságos felhasználásra vonatkozó jellemzőket és az eszköz használatára vonatkozó előre feltárható veszélyeket meg kell határozni. [261]
4. lépés: Az elsődleges működési funkciók<sup>178</sup> és követelmények kidolgozása. A gyakran használt funkciók közül azok a biztonságkritikus funkciók, amelyek veszélyességi szempontból a legkritikusabbak, külön körültekintő kidolgozást igényelnek.
5. lépés: A követelmények kidolgozásának második lépése a használhatósági előírás<sup>179</sup>. Amelyben már az eddigi lépésekben feltárt ismereteket összegezzük az eszközzel kapcsolatban, az elsődleges működési funkciókat különösen taglalva. Ez az alapidokumentuma a használhatóság igazolásának és érvényesítésének. [261]
6. lépés: A követelmények kidolgozásának harmadik fázisa a használhatósági validálási terv<sup>180</sup> elkészítése. A használhatósági validálási terv elkészítése megelőzi a validálás folyamatát, hiszen ez a dokumentum írja le a validálási módszereket, a validálás kritériumait és a reprezentatív felhasználók bevonásával járó vizsgálatokat. [261]
7. lépés: Ezután következik a részletes tervezés, amely tartalmazza a felhasználói felület tervezését és megvalósításának elveit<sup>181</sup>. Ehhez kapcsolódóan tartalmazza a szoftverfejlesztést, a prototípusok gyártását és már az ezzel egyidejű használhatósági értékelését is.[261]
8. lépés: Az elkészült eszköz értékelése a használhatóság igazolással<sup>182</sup> kezdődik. Az eszköz a specifikációval, a kitűzött célokkal való összevetését jelenti. Ezzel biztosítjuk, hogy a termék megfeleljen a követelményeknek. [261]
9. lépés: Használhatóság érvényesítése<sup>183</sup> az értékelés második része, amelyben a validálási terv szerint a felhasználói követelményeknek való megfelelést vizsgáljuk.

---

<sup>176</sup> Frequently used functions

<sup>177</sup> Identification of hazards and hazardous situations related to usability

<sup>178</sup> Primary operating functions

<sup>179</sup> Usability specification

<sup>180</sup> Usability validation plan

<sup>181</sup> User interface design and implementation

<sup>182</sup> Usability verification

<sup>183</sup> Usability validation

Használhatósági értékelési módszerek kapcsán alkalmazhatjuk az analitikus, empirikus, formatív, szummatív módszereket, amellyel a használhatósági problémák<sup>184</sup> felderíthetők lehetnek. [261] Használhatósági problémák megakadályozhatják az eszköz feladatának elvégzését, vagy a céljainak beteljesítését. Okozhatnak a felhasználóban bizonytalanságot, amely miatt a felhasználók hibázhatnak (nem látnak valamit, feltételezésükben csalatkozhatnak, helytelen akciót hajthatnak végre, félreértelmezhetnek dolgokat).

10. lépés: Az eszköz figyelemmel kísérése és utókövetése (monitoring) a piacra bevezetés után. Az esetleges felhasználói visszajelzések segíthetik a hibák kijavítását. [261]

### **6.2.1.3. A GÉPEK HASZNÁLHATÓSÁGI INDEXE (USABILITY INDEX OF MACHINE - UIOM)**

A használhatóság közvetlen kapcsolatban van a megbízhatósággal, amely a hibamentességgel, karbantarthatósággal, karbantartás ellátással, azaz az üzemeltetéssel. [46] A használhatósági index meghatározásához több tudományterület együttes alkalmazására lesz szükség. Ezeknek a területek az egyike az ergonómia, amely az emberi lehetőségek, képességek megértésével foglalkozik. A következő terület az ember-számítógép interakció<sup>185</sup>, amely az emberek által felhasznált számítógépes rendszerek tervezésével, megvalósításával és értékelésével foglalkozik. A harmadik terület a felhasználói élmény<sup>186</sup>, amely a felhasználó által elvárt és valós tapasztalatait a termékkel, eszközzel, gépekkel a vásárlástól a kidobásig tartó időszakban. Ez a terület nem csak a felhasználással kapcsolatos, hanem a megvásárlásra, a felhasználás során nyújtott támogatásra és a termék által nyújtott komfortra, luxusra, életérzésre is kiterjed. A negyedik ilyen terület a felhasználó-központú tervezés<sup>187</sup>, amely során a felhasználó igényeit, elvárásait integráló tervezési folyamatról beszélhetünk. Ez sok esetben a felhasználó tervezési folyamatba való bevonását is magába foglalja. Végül pedig a használhatóság<sup>188</sup>, amely a felhasználó által egy termékkel, annak adott környezetében egy meghatározott feladat elvégzésének eredményességének, hatékonyságának és elégedettségének mértéke. [261] Az alkalmazott fő komponensek a 6.4.1. táblázatban találhatóak az UIoM-re vonatkozóan.

### **6.2.2. OKOS GÉPEK KÖRNYEZETI TELJESÍTMÉNY MUTATÓJA SZERINTI TERVEZÉSE**

*Mi az a környezeti teljesítmény?* Az adott gép környezetre gyakorolt hatásának eredménye. Ide tartozik a tervezett berendezések energiafelvétele, energiatermelése, zajkibocsátása, károsanyagkibocsátása stb. A gépek, berendezések környezetbarát tervezését (ökodizájn) [262]

---

<sup>184</sup> usability issue

<sup>185</sup> Human-Computer Interaction

<sup>186</sup> User Experience

<sup>187</sup> User-centered design

<sup>188</sup> Usability

jóval nagyobb mértékben kellene kiterjeszteni. Ennek kidolgozása jelentős feladat, ezért csak megemlítem munkámban. Ugyanakkor valami olyan besorolási rendszert tudok elképzelni, mint az energiacímke, csak ebben az esetben a gépek környezeti hatásait nem csak az energia felhasználással kellene jellemezni. A jellemző indikátorokra tesztek javaslatot a következőkben.

#### **6.2.2.1. A GÉPEK KÖRNYEZETI TELJESÍTMÉNY MUTATÓJA (ENVIRONMENTAL PERFORMANCE INDEX OF MACHINE –EPIOM)**

A környezeti teljesítmény mutató (EPI<sup>189</sup>) kifejlesztését a Yale Egyetem, a Columbia Egyetem, a Világgazdasági Fórum<sup>190</sup> és az European Bizottság közösen valósították meg és először 2002-ben publikálták. [263] Munkánkban EPI gépekre vonatkoztatott változatát dolgozom ki és alkalmazom. A gépekre vonatkozóan különösen fontos, hogy a nem megújuló erőforrások felhasználását csökkentsék, alkalmazzák a megújuló energiákat. Kialakításukkor a nyersanyag felhasználás optimalizálására és a későbbi, az (elektronikai) hulladék újra felhasználására külön figyelmet kell szentelni. Azért, hogy a fejlesztés során az eszköz környezettudatos használatát a teljes eszköz életciklusára biztosíthassuk. [264] [265] Az alkalmazott fő komponensek a 6.4.1. táblázatban találhatóak az EPIoM-re vonatkozóan.

### **6.3. ÚT AZ OKOS GÉPEK ELMÉLETÉHEZ - AZ INTELLIGENS KIBERTÉR ÉS AZ OKOS KIBERTÉR**

A 6.3.1. ábrán láthatjuk azokat a tereket, amelyeket az ember tevékenységével és gondolataival kreál. A tér középpontjában az ember, mint egyén áll, bár csak a valós térben jelenik meg fizikai valójában, a virtuális teret elméjével és fizikai tevékenységének a virtuális térrészre való kiterjedésével hozza létre. A fizikai tér a Föld geoszféraját képezi le. Ennek csak egy része a bioszféra. Ez az a biológiai tér, ahol az ember és a földön élő élőlények számára élhető teret találunk. Az antropogén tér az emberiség által kialakított világot fogja jelenteni. Ebben a térben a városokat, infrastruktúrákat, az emberek által létrehozott létesítményeket találhatjuk. Ennek csak egy kicsiny része az individuális tér, melyet az egyén használ, ebben él és mozog, itt hozza létre személyes tevékenységével az őt körülvevő legkisebb teret. Az említett terek az emberre vonatkozólag függenek a társadalom fejlettségétől, vagy például az egyén életkorától, jövedelmi viszonyaitól stb. Például a gyermekek individuális tere jóval kisebb, mint egy pályája csúcán járó tudósé, vagy egy folyton utazó üzletemberé és így jóval nagyobb térre képes hatással lenni. [266] A virtuális terek a valós térből építkeznek, alakításukat az egyének gondolatai (kognitív tér) határozzák meg. A kognitív térben csúcsosodik ki a fizikai térről

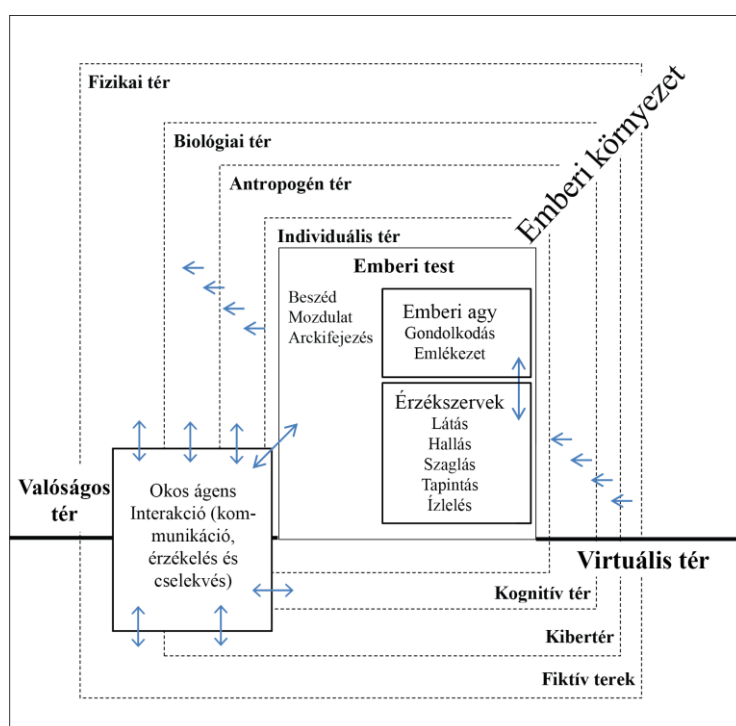
---

<sup>189</sup> Environmental Performance Index

<sup>190</sup> World Economic Forum



gondolatainkban szubjektív módon leképzett világkép. A kibertér az emberek által létrehozott eszközök, rendszerek, hálózatok fizikai téren túli mesterséges világa. Ennek tipikus példája az Internet kiber világa. A kibertér fizikai tér vetülete pl. az Internet kapcsán azok a szerverek, optikakábelek, útválasztók, csomópontok, amelyek felépítik a valós fizikai infrastruktúrát. A kibertér a kognitív tér rugalmasságát örökli és így építésének, átalakításának, használatának, fejlesztésének sok esetben csak a képzelet szab határt. A fiktív tér a leginkább távolabbi a valóságtól az eddigi virtuális terekhez képest. Ugyanakkor a fiktív térben is lehetnek valóságos elemek. Ennek a térfajtának a tipikus példája Csodaország. Megemlítem, hogy a fiktív térrel nem foglalkozom, ezek a kitalált terek nem képezik részét kutatásomnak. [266] Az ábrán még látható, hogy a tervezett okos ágens milyen interakciókra képes.

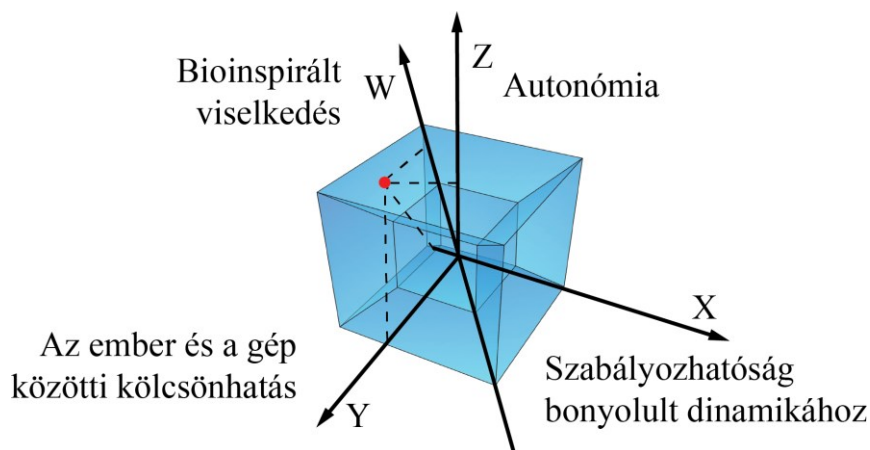


6.3.1. ábra. Az emberi észlelés és az emberi szerű gépérzékelés modellje [253] [266]

Az előbbieken bemutattam, hogy a gépi intelligenciahányadost négy attribútum határozza meg, a későbbiekben bemutatom, hogy az okosság hányadost pedig hat attribútum határozza meg. Mivel az intelligens, okos ágens (kiber-fizikai rendszer) a bemutatott térkonceptióban a kibertérben valósítja meg intelligens, okos működését ezért úgy gondolom, hogy az intelligencia attribútumai létrehozhatnak egy intelligens kiber térrészt jelölnek ki. Ugyanígy az okosság attribútumok pedig egy okos kibertér részt.

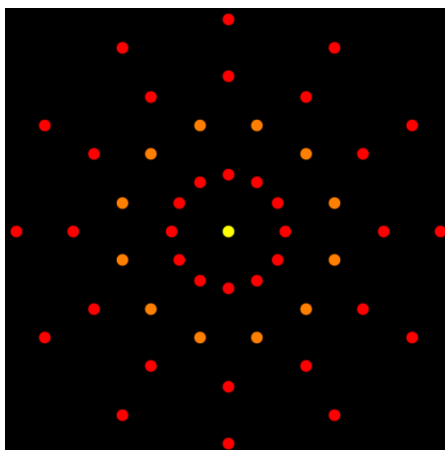
Tehát minden további nélkül lehetséges matematikailag is kezelhető a háromnál több térdimenziós geometria. A negyedik térdimenzió a mindennapi életben oly sűrűn alkalmazott három (X, Y, Z) irányra merőleges. A négy dimenzió (X, Y, Z, W) által kijelölt teret négydimenziós térnek nevezzük. A negyedik W tengely merőleges a másik három tengelyre.

Ezt nehéz két dimenzióban ábrázolni, de a 6.3.2. ábrán egy általánosan elfogadott négydimenziós teret vázoltam fel. A négydimenziós térelmélet alapján képzelünk el az intelligens kiberteret. Ebben a térben - amit egy hiperkockával szemléltetek - található az intelligens gépeket jellemző, a négy jellemző attribútum/dimenzió által meghatározott Gépi Intelligencia Index pirossal jelölve. Ez a pontot persze más-más eszközre más-más térrészben fogjuk megtalálni, a különféle fő attribútumok értékétől függően. A kutatásom eredményeképpen ezt kiegészítettem számos elemmel és ez látható az „Az okosság hányados származtatása a revízió alá vett MIQ-val” című táblázatban. Valamint az ehhez kapcsolódó vizualizáció a 6.3.3. ábra látható.



6.3.2. ábra. A négydimenziós intelligens kibertér<sup>191</sup>, a Gépi Intelligencia Index<sup>192</sup> vizualizációja

Valószínű, hogy a fent leírtak egyelőre csak egy általam létrehozott fiktív térben válhatnak bizonyíthatóvá, amire a disszertáció keretei között nem lesz lehetőségem. Ha másért nem, de legalább az indikátorok szemléletes bemutatásáért van értelme elgondolkozni a fenti okfejtésen.



6.3.3. ábra. Hexeract [267] (hatdimenziós hiperkocka) - Petrie polygon Orthographikus vetületei – az okos kibertér<sup>193</sup> ábrázolása a hatodik dimenzióban

<sup>191</sup> Intelligent Cyberspace

<sup>192</sup> Machine Intelligence Index (még számszerűsített értékkel nem rendelkezik)

<sup>193</sup> Smart Cyberspace

#### **6.4. OKOSSÁG ELMÉLET ÉS OKOSSÁG HÁNYADOS (SMARTNESS THEORY, SMARTNESS QUOTIENT)**

*Az okosság hányados*<sup>194</sup> *mit is jelent valójában, mire használható, mit jellemez?* A gépek emberközpontú tervezésének, megvalósításának, használatának, működtetésének, szétbontásának, materiális „rekultivációjának” környezeti hatásokkal összefüggő felhasználói élmény szempontú sikertényező mértéke, indikátora. Használata a holisztikus rendszerek rendszerszemléleten alapszik, a gépek tervezésétől a működtetésükön át, a leszerelésük utáni anyagi újrahasznosításig terjed. A gépek azon tulajdonságát jellemzi, hogy mennyire képes egy gép a mesterséges életforma hatékony megvalósítására interakcióban az emberrel, környezettel és más gépekkel. Az okossághányados segítségével a gépek minőségi összehasonlítására van módunk a fenntartható, hatékony, kényelmes emberi élet megvalósíthatóságának szemszögéből. Illetve lehetőség van a gépek fejlesztési irányának meghatározására az empirikus kutatások alapján. A hagyományos MIQ esetében egy négydimenziós térben funkcionális alapú megközelítés alapján vizsgáltam az „egyszerű” gépek működését. Ezzel szemben a SQ segítségével egy hatdimenziós térben tudás és képesség alapú vizsgálatra van lehetőség, amellyel a mesterséges intelligenciát tartalmazó gép felhasználói központú fejlesztése valósítható meg.

#### **RÉSZKÖVETKEZTETÉSEK**

A gépi intelligencia kutatása kihívásokkal teli terület. Munkámmal igen kis részét tudtam csak feldolgozni ennek a népszerű tudományterületnek. De ennek ellenére, a feltárt tények alapján további kihívásokat látok egy olyan jól strukturált okos gép tervezési eljárás létrehozásában, amivel az általunk létrehozandó gépeket biztonságosabbá, használhatóbbá és működésüket fenntarthatóbbá tehetjük. Arról már nem is beszélve, hogy közben a gépek is fejlődnek és az intelligens rendszerek önirányítása új kihívást jelent majd a jövőben, amire akár a jövőbeli tervezés során is érdemes figyelmet szentelni.

---

<sup>194</sup> Smartness Quotient

OKOSSÁG HÁNYADOS - SMARTNESS QUOTIENT					
GÉPI INTELLIGENCIAHÁNYADOS - MACHINE INTELLIGENCE QUOTIENT			UOMINDIKÁTOROK		EPMINDIKÁTOROK
1. DIM. AUTONÓMIA	2. DIM. az EMBER ÉS A GÉP KÖZÖTTI KÖLCSÖNHATÁS	3. DIM. SZABÁLYOZHATÓSÁGBONYOLULT DINAMIKAI VISELKEDÉSHEZ	4. DIM. BIONSPIRÁT VISELKEDÉS	5. DIM. GÉPI HASZNÁLHATÓSÁGI INDEX	6. DIM. GÉPI KÖRNYEZETI TELJESÍTMÉNY INDEX
ÖNKALIBRÁCIÓ	EMBERSZERŰ KOMMUNIKÁCIÓS KÉPESSÉGEK	NEM KONVENCIONÁLIS MŰKÖDÉS	NEURÁLIS HÁLÓZATOK	EGYSZERŰ HASZNÁLAT	ÉLETKILUS IDŐ
ÖNDIAGNOSZTIKA	MESTERSÉGES EMÓCIÓK MEGJELNÉSE	MODELL-ALAPÚ	BIOLÓGIAILAG INSPIRÁLT VISELKEDÉS	TERMÉKMINŐSÉG	KÖRNYEZETI KOCKÁZAT FELTÁRÁS
ÖNBEÁLLÍTÓ	ONTOLÓGIA ALAPÚ MŰKÖDÉS	ADAPTIVITÁS	KOGNITÍV MŰKÖDÉS	INNOVATIVITÁS	KÖRNYEZETI LEVEGŐMINŐSÉG
HIBA TOLERANCIA	AUTO BACK - UP	MOZGÁSTERVEZÉS	HANGYABOLY OPTIMALIZÁLÁS	FELHASZNÁLÓI ÉLMÉNY	LÉGSZENNYEZÉS (PM <sub>2,5</sub> )
MINDENTUDÁS	KARAKTER - "SZEMÉLYISÉG ÉS EMÓCIÓ"	NEM LINEARITÁS	EVOLÚCIÓS ALGORITMUSOK	ALKALMAZHATÓSÁG	LÉGSZENNYEZÉS (PM <sub>10</sub> FELETT)
ÖNÁLLÓ	SZIMBIÓZIS	MEGFIGYELÉSI KÉPESSÉG	ÖNSZERVEZŐDÉS	ERGONOMIKUS DIZÁJN	LÉGSZENNYEZÉS - NO <sub>2</sub>
REACTÍV	AMBIENS MŰKÖDÉS	PLATIFORMFÜGGETLENSÉG	DECENTRALIZÁLTISÁG	HATÁSSÁG	NEM BIZTONSÁGOS SZENNYVIZ
PROACTÍV	FIZIKAI KAPCSOLAT	GEOMETRIKUSSÁG	SEMANTIKUS MEMORIA	HATÉKONYSÁG	IVÓVÍZ MINŐSÉG
RACIONÁLIS	PSZICHOLÓGIAI KAPCSOLAT	STRUKTURÁLIS IRÁNYÍTHATÓSÁG	SZTOCHASZTIKUS FOLYAMATOK	IMPRESSZÓ	SZENNYVÍZTISZTÍTÁS
TANULÁSBRA KÉPES	SPIRITUÁLIS KAPCSOLAT	KOMPLEXITÁS	RANDOM FOLYAMATOK	ERGONOMIA	NITROGEN HASZNÁLTATI HATÉKONYSÁG
CÉLORIENTÁLT	PÁRBESZÉDRE VALÓ KÉPESSÉG	VISSZACSAOTLÁS	PROBLÉMAMEGOLDÁS	ÉRTHETŐSÉG	NITROGEN EGYSZÜLY BEFOLYÁSOLÓ HATÁS
KOLLABORATÍV	IRÁNYÍTÓ ESZKÖZ	KÉSZLET, TARTALÉK ÉS ÁRAMLÁS	SPONTÁN MŰKÖDÉS	ELSAJÁTÍTHATÓSÁG	ERDŐFELETT CSOKKENTŐ HATÁS
FLEXIBILIS	VIZUÁLIS MEGJELNÉNTÉS	SATURÁCIÓ	ADAPTÍV HEURISZTIKUS KERSÉSI ALGORITMUS	KEZELHETŐSÉG	HALLALLOMÁNY VESZÉLYEZTETŐ HATÁS
ÖNINDÍTÓ	ADAPTÍV INTERFÉSZ	OK-OKOZATI HUROK DIAGRAM	BIONSPIRÁT ELJÁRASMÓD	ATTRACTIVENESS	NEMZETI TERMÉSZETVÉDELMI TERÜLETEK
FOLYTONOSSÁG	HANGJELZÉS	GENERIKUS	OPTIMALIZÁLT PROBLÉMAMEGOLDÁS	KARBANTARTHATÓSÁG	GLOBALIS TERMSZETVÉDELMI TERÜLETEK
KOMMUNICATÍV	TUDÁSALAPÚ EGYÜTTMŰKÖDÉS	ENERGIA RELEVÁNS MŰKÖDÉS	GENETIKUS ALGORITMUS	FUNKCIONALITÁS	TENGERÉSZETI VÉDETT TERÜLETEK
ADAPTÍV	ELJÁRÁS SZINTŰ EGYÜTTMŰKÖDÉS	MODULARITÁS, SUBMODULARITÁS	KÖRNYEZETI ENERGIA HASZNOSSÍTÁSA	MEGBÍZHATÓSÁG	FAJOK VÉDELME (NEMZETI)
MOBIL	HIBA MENEDZSMENT	ÖNÁLLÓAN MŰKÖDŐ DINAMIKUS RENDSZER	ODOMETRIA	HATÉKONYSÁG	FAJOK VÉDELME (GLOBALIS)
HIBAMEGELŐZÉS	FELHASZNÁLÓ- ÉS ALKALMAZÁS ORIENTÁLT FUNKCIONALITÁS	MEGOLDÁSOKON ALAPULÓ RENDSZER	RAJINTELLIGENCIA	HORDOZHATÓSÁG	KARBON-INTENZITÁS
HIBAMEGCSÜNTETÉS	BIZTONSÁG	PÁLYA- ÉS NYOMVONALTERVEZÉS	TÁVMŰKÖDÍTÉS	MINŐSÉG	CO2-INTENZITÁS/kWh
HIBA-ELŐREJELZÉS	HUMÁNFAKTOR	STABILITÁS	KOLLECTIVITÁS TUDAT	BIZTONSÁG (MŰSZAKI HASZNÁLHATÓSÁG)	VILLAMOSENERGIA-HOZZÁFÉRÉS

## K O M P O N E N S E K

6.4.1. táblázat. Az okosság hányados származtatása a revízió alá vett MIQ-val

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

Összegezve a munkát, amit elvégeztem. 2014-ben megkezdett doktori tanulmányaimat és a 2017-ben megkezdett disszertációmát immáron lezárom. A végén számot vetve többé éves munkában számtalan konferencián, publikációban és végül disszertációmban is érveltem a vasúti innováció mellett. A vasúti kutatás-fejlesztési és innovációs munkám és azok eredményei között említhető, hogy több mint tíz doktoranduszt, több tíz kutatót és több mint száz mérnököt és szakembert motiváltunk az utóbbi két év során, hogy a magyar vasút és az Óbudai Egyetem jóhírét öregbítsék. Bízom benne, hogy ezzel mind a Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar, mind pedig az országban egyetlen Biztonságtudományi Doktori Iskolának olyan érdemeket vívtunk ki, és persze olyan összetartó szakmai közösséget hozhattunk létre, ami a munkámmal is létrehozott, rendszerezett, összegyűjtött, összegyűrt tudást sokáig hasznosítani tudja majd. Az elvégzett munka számomra nagy öröm és életre szóló kihívás volt. Remélem a beléfkettett energiát és jószándékot minden disszertációmát elolvasó kolléga érezni fogja. Kívánom, hogy legyenek még nagyon sokan utánam is, akik a vasúti innovációért és a magyar tudományos közösségért tenni fognak.

*„Pro Scientia et Futuro”<sup>195</sup>*

---

<sup>195</sup> A tudományért és a jövőért

## **SUMMARY**

My doctoral research was focused on the research and development of railway systems, especially railway control and signalling systems. Within this framework, my specific aim was to research and develop an Intelligent Railway System in Hungary. My theoretical research work at the university is combined with practical experience gained at the Hungarian State Railways. In the course of this research, I participate in the development work related to the intelligent railway system currently being developed at the University. My research work aimed to promote the results of the development by applying and integrating them into the railway system, and to introduce new components (for example, founding the safety and security-driven planning method, suggesting a railway intelligent agent model, etc.) In my Doctoral Thesis, I presented these activities and their results in a thesis-like way. My opinion, experience, and research results on the development of the railway system have been published with the aim of opening a debate and starting an exchange of views in this field. There is a demand for railway developments based on scientific grounds. Intelligent transport systems will have to provide a holistic solution across the whole range of transportation. The infrastructure of transportation (including railway interlocking systems) can be considered critical from the point of social well-being; therefore, its protection is of primary importance. Machine intelligence and smart systems are transforming our societies. Intelligent machines must also be used in the railway system, as the complexity of infrastructural networks is growing exponentially. Networking and communication-based operation will have an increasingly important role in the railway system, too. A large amount of data generated by network-based operation and automatically transformed into information will allow the basic forms of automatic operations in the railway system. In conclusion, the use of machine intelligence will result in increased efficiency, sustainability and safety in transportation in the future.

## 7.1. A HIPOTÉZISEK IGAZOLÁSA, ELVETÉSE

A tudományos ellenőrzés<sup>196</sup> módszerén meglehetősen sokat gondolkodtam munkám során. A hipotéziseim esetleges prediktív értékük ellenére abszolút igazságnak nem tekinthetők. Kutatásomban az elvárható alaposagra törekedtem. Megállapításaim tapasztalataim alapján kerültek megfogalmazásra és ennek kapcsán leírásra. Állításaim ellenőrzését és igazságtartalmának vizsgálatát (logikai vizsgálattal, tartalmi elemzéssel) az állítást alátámasztó érvek vagy cáfoló ellenérvek, tények mérnöki szisztematikus feltárásával, rendszerezésével, összegyűjtésével hajtottam végre. **Kutatási hipotéziseim hamisságára, elvetésükre vonatkozó érveket nem tártam fel. Hipotéziseimet a fentiek alapján ellenőrizettnek és alátámasztottnak tartom, hiszen összeegyeztethetőek voltak a tapasztalati tényekkel.** [268]

## 7.2. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

A következő téziseket megalapozó kutatómunkát végeztem. Tudományos kutatásom során az interoperábilis vasúti rendszer energia (ENE) és ellenőrző és irányító (CCS) rendszerekkel kapcsolatos fejlesztési lehetőségeket vizsgáltam. Ennek kapcsán az alábbi téziseket fogalmazom meg kapcsolódva a célkitűzéseimhez és kutatási kérdéseimhez:

Téziscsoport	
T1.	Megmutattam, hogy az automatizáció és a digitalizáció befolyásolja az intelligens vasúti rendszerek jellemzőit és materializálódását. A közúti közlekedés és a földalatti városi közlekedés automatizálásának analógiája alapján új nagyvasúti automatizációs szinteket határoztam meg az alkalmazhatóság érdekében.
T1.1.	Feltártam azon összefüggéseket, amelyek alapján bizonyítottam, hogy az okos városok mobilitási pillérének fontos és szerves részét képezi az intelligens közlekedési rendszer.
T1.2.	Megállapítottam, hogy a közlekedési automatizálás magas szintű megvalósítási formáját jelenti az intelligens közlekedési rendszer.
T1.3.	Meghatároztam a vasúti automatizáció időszerű fogalmát. Amely fogalommal kapcsolatot teremtettem a vasúti automatizáció, az intelligens vasúti rendszer és az intelligens közlekedési rendszerek között.
T1.4.	Felismertem az európai vasúti ipar digitális átalakulásának folyamatát és a vasúti rendszer digitalizációjának hosszútávú hatásait összegeztem a vasúti fejlesztésekre vonatkozólag.

<sup>196</sup> Verifikációnak

T2.	Igazoltam, hogy a komplex, többszintű rendszerben – ilyen a vasúti rendszer is – elosztott intelligenciának helye van.
T2.1.	A gépi intelligencia (mesterséges intelligencia) alkalmazásának módszerére javaslatot tettem az intelligens vasúti közlekedési rendszerek esetében.
T2.2.	Bebizonyítottam, hogy a gépi rendszerek intelligenciája indikátoraira meghatározhatók.
T2.3.	Létrehoztam az intelligens vasúti rendszer fogalmát.
T2.4.	Keretfeltételeket határoztam meg az intelligens vasúti rendszer megvalósításához.
T2.5.	Kísérleti fejlesztéssel igazoltam, hogy az intelligens vasúti rendszer megvalósítható.
T3.	Bizonyítottam, hogy az intelligens rendszerekkel megvalósított automatizáció fontos szerepet tölt be a fenntarthatóság biztosításában és az emberek jólétének létrehozásában.
T3.1.	Megmutattam, hogy a vasúti infrastruktúra adaptivitásának, rugalmasságának növelésével kitéettsége csökkenthető.
T3.2.	Bebizonyítottam, hogy az adaptivitás megvalósítása intelligens rendszerelemek alkalmazása útján történhet meg.
T3.3.	Bizonyítottam, hogy van létjogosultsága a mesterséges intelligencia alkalmazásának a vasúti rendszerben.
T4.	Bevezettem, egy módosított V modell szerinti tervezési gyakorlatot az integrált intelligens vasúti rendszerek tekintetében.
T4.1.	Kísérlettel igazoltam, hogy a 3D pontfelhő technológia, mint digitalizációs technológia alkalmazható a vasúti rendszer tervezése, fejlesztése és karbantartása során.
T4.2.	Létrehoztam a komplex rendszerek biztonság szempontú és intelligencia szerinti tervezésének alapjait.

7.2.1. táblázat. Téziscsoportok



## 7.2.1. A TÉZISEK TÉMÁJÁHOZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓIM

	Cikk címe	T1.	T1.1.	T1.2.	T1.3.	T1.4.	T2.	T2.1.	T2.2.	T2.3.	T2.4.	T2.5.	T3.	T3.1.	T3.2.	T3.3.	T4.	T4.1.	T4.2.
S1	On the development of intelligent railway information and safety systems: an overview of current research	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
S2	CoopRA Algorithm for Universal Characterization of the Experimental Evaluation Results of Cooperative Multiagent Systems						x	x	x				x		x	x			
S3	Review of Recent Trends in Measuring the Computing Systems Intelligence						x	x	x				x		x	x			
S4	Digitising the European industry - holonic systems approach	x	x		x	x													
S5	Safety and Security through the Design of Autonomous Intelligent Vehicle Systems and Intelligent Infrastructure in the Smart City	x	x	x	x	x													
S6	An Overview of Autonomous Intelligent Vehicle Systems	x	x	x	x	x													
S7	Smart Systems for the Protection of Individuals												x	x	x	x			
S8	Intelligent Computer-Aided resource planning and scheduling of machining operation	x											x						
S9	The Use of Advanced Manufacturing Technology to Reduce Product Cost	x											x						
S10	Okos, fenntartható és biztonságos városok	x	x	x	x	x													
S11	Creating Smart, Sustainable and Safe Cities	x	x	x	x	x							x						
S12	Vasúti kutatások - az európai vasúti ágazat versenyképessége	x	x	x	x	x													
S13	Development of the Infocommunication System for the Intelligent Rail Transport System of Dangerous Goods in Hungary	x																	
S14	The Smart Mobility Aspects of Intelligent Railway	x															x	x	
S15	Okos mobilitás	x															x		

7.2.1.1. táblázat. Tézisekhez kapcsolódó publikációim

	Cikk címe	T1.	T1.1.	T1.2.	T1.3.	T1.4.	T2.	T2.1.	T2.2.	T2.3.	T2.4.	T2.5.	T3.	T3.1.	T3.2.	T3.3.	T4.	T4.1.	T4.2.
S16	The challenges of the intelligent railway network implementation: Initial thoughts from Hungary	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
S17	Smart City, Smart Infrastructure, Smart Railway	x					x			x			x						
S18	Az intelligens vasúti rendszer megvalósításának elméleti és technológiai háttéré	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
S19	I2 - Intelligent Infrastructure	x					x						x						
S20	Study of How to Implement an Intelligent Railway System in Hungary	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
S21	ITS (Intelligent Transportation Systems) szerepe a vasúti kritikus infrastruktúra védelmében	x					x						x	x	x	x			
S22	Kiberbiztonság az autópárhban	x									x		x				x	x	x
S23	Der Weg zur digitalen Bahn: Forschung, Entwicklung und Innovation für ein Verkehrssystem von morgen	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
S24	The intelligent railway system theory: The European railway research perspective and the development of the European digital railway strategy	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
S25	Driving Forces Behind Smart City Implementations - The Next Smart Revolution	x																	
S26	SMART Rail technológiák lehetőségei, az intelligens vasúti hálózatok kialakításának kérdései: Kezdeti gondolatok	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
S27	Okos városok tervezése	x																	
S28	Az okos városok létrehozásának mozgatórugói és lehetőségei	x																	
S29	Az IIVR projekt: integrált intelligens vasútüzemeltetési rendszer kifejlesztése	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

7.2.1.1. táblázat. Tézisekhez kapcsolódó publikációim (folytatás)

### 7.3. AJÁNLÁSOK, A KUTATÁSI EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

Kutatásomban elért eredményeim a műszaki tudományok, azon belül is a katonai műszaki tudományok tudományterületéhez katonai, valamint védelmi célú kísérleti fejlesztési, technológiai és műszaki innovációs jellegű kutatási eredményeket jelentenek. A kutatási eredmények speciálisan a kritikus infrastruktúrák védelme, a biztonságtechnika és a műszaki biztonság, ipari automatizálás területén és a velük kapcsolatban álló tudományos és mérnöki, vasútszakmai felhasználási területek modern, eljárásaiban és eszközrendszereiben hasznosulnak. Eredmények közé sorolhatóak például: **A vasút-automatizálására új eljárás, módszer, technológia kidolgozása. Az intelligens vasúti rendszer új konstrukciójának létrehozásához, új tervezési eljárás megalkotása. Az intelligens vasúti rendszer új általános modelljének létrehozása. A vasúti rendszerben alkalmazott intelligens elemek működési jelenségének leírása és magyarázata. A vasúti rendszer okosságának mérésére új összefüggés felállítása.** Általában véve a műszaki tudományok területén elért tudományos eredmények hasznosítása az ipari fejlődésben betöltött szerepével jellemezhető. A fent említett kutatás eredményei ma még nem váltak mindennapossá a nagyvasúti környezetben. Viszont európai és globális szinten jelentős társadalmi változások a közlekedés terén is megkívánják a közlekedéssel kapcsolatos kutatások folytatását. Az intelligens elemekből felépülő vasúti rendszert a koncepcióalkotás és tervezés alatt IntelliSys-R (Intelligent System for Railway) rendszernévvvel definiálom. A kutatás szükségességét felismerve és a fent említett témához is kapcsolódóan az Óbudai Egyetemen Schuster György és Papp József által vezetett kutatócsapat tagjaként több éve folytatom gyakorlati kutatásomat is.

### 7.4. A KUTATÁS TÁVLATAI, NYITOTT KÉRDÉSEK

A kutatás-fejlesztési időszak lezárultával a termék tervezés, termék fejlesztés, termék piacra való bevezetésére fogunk nagyobb mértékben koncentrálni. A vizionált cél a következő: előzetes koncepciómban az IntelliSys-R rendszert, mint termék definiáltam. A kiépítési változatok tekintetében az alapelv: a testre szabható európai vasúti biztonság mottó szerint épül fel. Az IntelliSys-R rendszer funkció katalógusán alapuló rövid összefoglalót a 7.4.1. táblázatban állítottam össze, amiben a hagyományos és új rendszer közötti összefüggések leképezik az állomási biztosítóberendezés, vonali biztosítóberendezés, vonatbefolyásolás és később automatikus vonat működtetési rendszerét is. A kialakítás során a kiépítettségi szintek közötti kompatibilitás fontos szempont. A kiépítési változatok definiálása esetében két esetet különböztetek meg. Az egyik, amikor az adott rendszert illesztjük az IntelliSys-R rendszerhez, a másik, amikor az adott funkciót az IntelliSys-R rendszerben az új elvek mentén valósítjuk meg. A termékpaletta a digitalizációt a sínektől egészen a járműfedélzeti számítógépig felöleli.

<b>IntelliSys-R Base</b>
Meglévő állomási és vonali rendszerekből kapott adatok alapján felügyeleti funkciók ellátása.
Kiegészítő érzékelők és illesztések kialakítása a hagyományos és az új rendszer között, amivel az adatgyűjtés teljesé tehető.
Állomási megjelenítés.
<b>IntelliSys-R Base+</b>
Jármű követés RFID rendszer használatával.
Felügyeleti funkciók ellátása.
Megjelenítés az állomásokon és irányítóközpontban is.
Állomási utastájékoztató automatikussá tétele.
<b>IntelliSys-R Normal</b>
<i>Állomási biztosítóberendezési funkciók (vonatvágányutas)</i>
állomási sorompó
védelmi berendezések
<i>Vonali biztosítóberendezési funkciók</i>
önműködő térközbiztosítóberendezés
önműködő vonali útátjáró fedező berendezések
Központi Forgalom Ellenőrző funkciók megvalósítása
FET (Felsővezetéki Energia Távvezérlő) illesztése
<b>IntelliSys-R Advanced</b>
Állomási biztosítóberendezési funkciók (vonat- és tolatóvágányutas)
EVM -120 75 Hz-es jelfeladással (emelt sebesség is – 160 Km/h) illesztése
Központi Forgalom Irányító funkciók megvalósítása
ETCS L1 illesztése
<b>IntelliSys-R Evolution</b>
ETCS L2 (European Train Control System: Európai Egységesített Vonatbefolyásoló Rendszer) illesztése
GSM-R illesztés
ERTMS, FOR illesztése
ETML illesztése
<b>IntelliSys-R Vision</b>
ETCS L3 illesztése
ATO - Automatic Train Operation
Hőnfutásjelző berendezés
Áramszedő vizsgáló berendezés
Dinamikus kerékterhelésmérő
Kerékprofil, nyomkarima ellenőrző berendezés
Rakszelvény figyelő berendezés
<b>IntelliSys-R Supernatural</b>
GoA4 szintű, teljeskörű automatizáltság. Intelligens vasúti járművek.
UTO - Unattended Train Operation

7.4.1. táblázat. Az IntelliSys-R kiépítési változatai

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönettel tartozom, feleségemnek, **Tokodyné Szabadi Nikolett**nek, kisfiamnak **Tokody Márton Dániel**nek és családomnak támogatásukért és türelmükért a doktori tanulmányaim és kutatómunkám idejére,

**Dr. Schuster György** tanár úrnak témavezetőként végzett sokéves munkájáért, szakmai és emberi támogatásáért,

**Papp József** kollégámnak az Integrált Intelligens Vasútfelügyeleti Rendszer kifejlesztése (GINOP-2.2.1-15-2017-00098) projektben való részvételem támogatásáért,

**Prof. Dr. Rajnai Zoltán** dékán úrnak, a kezdetektől való támogatásáért és azért a számos lehetőségért és ösztönzésért, amellyel doktori tanulmányaim során tudományos munkám nemzetközi szinten való bemutatását szorgalmazta,

**Prof. Dr. Francesco Flammininek**, **Prof. Dr. Dalibor Dobrilovićnak** és **Dr. Iantovics Barna Lászlónak** a nemzetközi tudományos életbe való bevonásáért,

**Dr. Nyikes Zoltán** volt doktorandusz társamnak a közös kitartásért, a tanulmányok során és a tudományos közösségünk építésében végzett közös munkáért és a számtalan nemzetközi konferencián való közös részvételért,

minden társszerzőmnek a cikkezéssel töltött idejükért, különösképpen **Dr. Kovács Tündének**, **Dr. Holicza Péternek**, **Albini Attilának** és **Fatmir Azemi**-nek,

**Belányi Zsolt** kollégámnak, aki a mérnöki gondolkodást és tervezést tanította meg számomra,

**Csontos Évának** és **Feketéné Varga Erzsébetnek** a vasúti műszaki és tudományos szakirodalom több éven keresztül való kitartó biztosításáért,

**Ihász Jácint** kollégámnak a sokéves konzulensi munkájáért és segítőkész hozzáállásáért,

**Ady László** kollégámnak a kutató-fejlesztői munkába való bevonásáért,

**Kelemen Csabának** a disszertációm korrektúrázásában és nyelvi lektorálásban nyújtott segítségért,

a Doktoranduszok Országos Szövetségének és a Műszaki Tudományok Osztálya tagságának, hogy a fiatal magyar kutatói életbe általuk is bevezetést nyerhettem,

a MÁV Zrt.-nek és a Baross Gábor Oktatási Központnak és mindenkori feletteseimnek, hogy munkám mellett lehetővé tették, hogy tanulhassak és kutatómunkámat végezhessem,

a Biztonságtudományi Doktori Iskola és az Óbudai Egyetem vezetésének, hogy doktori tanulmányaim során szakmailag és tudományosan támogattak,

a szigorlati bizottság elnökének és tagjainak, a nyilvános védés bizottság elnökének és tagjainak, a disszertációm bírálóinak az értékes és építőjelleget tanácsaikért és bírálatukért, azoknak a kollégáknak, akik idejüket nem sajnálva végigolvasták munkámat és értékes tanácsaikkal segítették disszertációm befejezését, és nem utolsó sorban valamennyi tanáromnak, kollégámnak, akik segítettek többéves munkámat támogatásukkal, útmutatásukkal.

## IRODALOMJEGYZÉK

Az irodalomjegyzék az ingyenes Mendeley referenciamenedzser szoftver segítségével készült IEEE stílusban.

- [1] P. Holicza, D. Tokody, 'Field of Challenges: A Critical Analysis of the Hungarian SME Sector within the European Economy', *Hadmernok*, vol. 3, no. September, pp. 110–120, 2016.
- [2] G. K. Kiss Leizer, D. Tokody, 'Radiofrequency Identification by using Drones in Railway Accidents and Disaster Situations', *Interdiscip. Descr. Complex Syst. INDECS*, vol. 15, no. 2, pp. 114–132, 2017.
- [3] D. Tokody, D. Maros, G. Schuster, Z. Tiszavölgyi, 'Communication-based Intelligent Railway - Implementation of GSM-R System in Hungary', in *SAMI 2016 - IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics - Proceedings*, 2016, pp. 99–104.
- [4] D. Tokody, G. Schuster, P. Holicza, 'Development of the Infocommunication System for the Intelligent Rail Transport System of Dangerous Goods in', in *International Conference on Applied Internet and Information Technologies.*, 2016, pp. 321–332.
- [5] D. Tokody, F. Flammini, 'Smart Systems for the Protection of Individuals', *Key Eng. Mater.*, vol. 755, pp. 190–197, 2017.
- [6] T. Kovács, Z. Nyikes, D. Tokody, 'Komplex monitoring-rendszer használata vasúti felépítmény vizsgálatában az Ipar 4.0-hoz', in *XVII. Műszaki Tudományos Ülésszak*, 2017, pp. 151–162.
- [7] A. Rodić, G. Mester, I. Stojković, 'Qualitative Evaluation of Flight Controller Performances for Autonomous Quadrotors', in *Intelligent Systems: Models and Applications*, E. Pap, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 115–134.
- [8] G. Mester, S. Pletl, G. Pajor, I. Rudas, 'Adaptive Control of Robot Manipulators with Fuzzy Supervisor Using Genetic Algorithms', in *Proceedings of International Conference on Recent Advances in Mechatronics*, 1995, pp. 661–666.
- [9] G. Mester, S. Plet, G. Pajor, Z. Jeges, 'Flexible planetary gear drives in robotics', in *Proceedings of the 1992 International Conference on Industrial Electronics, Control, Instrumentation, and Automation*, 1992, pp. 646–649 vol.2.
- [10] S. Laghari, M. A. Niazi, 'Modeling the Internet of Things, Self-Organizing and Other Complex Adaptive Communication Networks: A Cognitive Agent-Based Computing Approach', *PLoS One*, vol. 11, no. 1, p. e0146760, Jan. 2016.
- [11] Z. Nyikes, Z. Rajnai, 'The Big Data and the relationship of the Hungarian National Digital Infrastructure', in *Proceedings on Applied Internet and Information Technologies*, 2015, pp. 7–12.
- [12] D. Tokodi, G. Schuster, J. Papp, 'The challenges of the intelligent railway network implementation', in *3rd International Conference and Workshop Mechatronics in Practice and Education - MECHEDU 2015.*, 2015, pp. 179–185.
- [13] F. D. Priscoli *et al.*, 'Ensuring cyber-security in smart railway surveillance with {SHIELD}', *IJCCBS*, vol. 7, no. 2, pp. 138–170, 2017.
- [14] United Nations, *World Economic and Social Survey 2013*. New York, 2013.
- [15] United Nations, 'World Population Prospects', New York, 2015.
- [16] United Nations Department of Economic and Social Affairs Population Department, 'World Urbanization Prospects', New York, 2014.
- [17] C. L. Magee, O. L. de Weck, 'Complex System Classification', *INCOSE Int. Symp.*, vol. 14, no. 1, pp. 471–488, 2004.
- [18] G. K. Kiss Leizer, 'Possible Areas of Application of Drones in Waste Management during Rail Accidents and Disasters', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 360–368, 2018.
- [19] D. Simonyi, T. Kovács, 'Brain-Computer Interface-Based Feasibility of Entering Customer Code on Ticket Vending Machines', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 350–359, 2018.
- [20] G. Liebmann, L. Hanka, G. Schuster, 'Probabilistic Approach and Fuzzy System Based Support

- of the Railway Stations' Smart Security System', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 342–349, 2018.
- [21] P. M. Hell, P. J. Varga, 'Accurate Radiofrequency Identification Tracking in Smart City Railways by Using Drones', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 333–341, 2018.
- [22] A. Albini, D. Tokody, Z. Rajnai, 'The Categorization and Information Technology Security of Automated Vehicles', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 327–332, 2018.
- [23] A. Szabó, E. Szucs, T. Berek, 'Illustrating Training Opportunities Related to Manpower Facility Protection through the Example of Máv Co.', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 320–326, 2018.
- [24] M. Kiss, L. Muha, 'The Cybersecurity Capability Aspects of Smart Government and Industry 4.0 Programmes', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 313–319, 2018.
- [25] A. Nemes, G. Mester, T. Mester, 'A Soft Computing Method for Efficient Modelling of Smart Cities Noise Pollution', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 302–312, 2018.
- [26] D. Dobrilovic, 'Networking Technologies for Smart Cities: An Overview', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 408–416, 2018.
- [27] J. Simon, G. Mester, 'Critical Overview of the Cloud-Based Internet of Things Pilot Platforms for Smart Cities', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 397–407, 2018.
- [28] D. Tokody, A. Albini, L. Ady, Z. Rajnai, F. Pongrácz, 'Safety and Security through the Design of Autonomous Intelligent Vehicle Systems and Intelligent Infrastructure in the Smart City', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 384–396, 2018.
- [29] P. Holicza, E. Kédena, 'Smart and Secure? Millennials on Mobile Devices', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 376–383, 2018.
- [30] J. I. Mezei, K. Lázanyi, 'Are We Ready for Smart Transport? Analysis of Attitude Towards Public Transport in Budapest', *Interdiscip. Descr. Complex Syst.*, vol. 16, no. 3A, pp. 369–375, 2018.
- [31] S. G. Tzafestas, *Advances in Intelligent Systems*. Dordrecht: Springer Netherlands, 1999.
- [32] F. Flammini, Ed., *Resilience of Cyber-Physical Systems*. Springer International Publishing, 2019.
- [33] D. Tokody, J. Papp, G. Schuster, 'Az intelligens vasúti közlekedési rendszer megvalósításának néhány kérdése', in *Tavaszi szél 2015 Konferenciakötet*, Eger, Budapest: Linceum Kiadó, Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2015, pp. 447–461.
- [34] European Patent Office, 'Espacenet search results - "Intelligent Railway"', 2018.
- [35] S. Monil, P. Sanket, V. Soamil, K. Jigar, 'Smart Railway Network', *Int. J. Electron. Commun. Eng.*, vol. 2, no. 4, pp. 131–138, 2013.
- [36] Smart Rail World, 'The Future of Asian Rail'. p. 10, 2014.
- [37] J. Grippenkoven, B. Jäger, A. Naumann, 'Nutzerzentrierte Systemgestaltung am Fahrdienstleiterarbeitsplatz', *Signal+Draht*, vol. 105, no. 11, pp. 20–24, 2013.
- [38] S. Brickwede, '3d printing Deutsche Bahn: fast. in time. reliable', 2017. [Online]. Elérhető: [https://www.railforum.nl/wp-content/uploads/2017/03/170626\\_Presentation\\_Railway-Forum-Eindhoven\\_public.pdf](https://www.railforum.nl/wp-content/uploads/2017/03/170626_Presentation_Railway-Forum-Eindhoven_public.pdf). [Letöltve: 2017.12.19.].
- [39] Deutsche Bahn AG, 'Digitalisation sets the pace', 2017. [Online]. Elérhető: [http://www.deutschebahn.com/en/group/im\\_blickpunkt/11887110/digitalisierung\\_en.html](http://www.deutschebahn.com/en/group/im_blickpunkt/11887110/digitalisierung_en.html). [Letöltve: 2017.12.19.].
- [40] 'Biztonság és biztonságtudomány'. [Online]. Elérhető: [https://bdi.uni-obuda.hu/sites/default/files/oldal/csatolmany/a\\_biztonsag\\_es\\_biztonsagtudomany\\_ertelmezese.pdf](https://bdi.uni-obuda.hu/sites/default/files/oldal/csatolmany/a_biztonsag_es_biztonsagtudomany_ertelmezese.pdf). [Letöltve: 2017.12.19.].
- [41] 'Safety and Security Science'. [Online]. Elérhető: <https://www.tudelft.nl/en/tpm/about-the-faculty/departments/values-technology-and-innovation/sections/safety-and-security-science/>. [Letöltve: 2017.12.19.].

- [42] ‘1874. évi XVIII. törvénycikk a vaspályák által okozott halál vagy testi sértés iránti felelősségről’. [Online]. Elérhető: <https://net.jogtar.hu/ezer-ev-torveny?docid=87400018.TV&searchUrl=/ezer-ev-torvenyei%3Fpagenum%3D29>. [Letöltve: 2017.12.19.].
- [43] ‘2013. évi V. törvény a Polgári Törvénykönyvről’. [Online]. Elérhető: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A1300005.TV>. [Letöltve: 2017.12.19.].
- [44] L. Pokorádi, ‘Technikai rendszerek megbízhatósága és biztonsága’, *Szolnoki Tudományos Közlemények*, vol. XIII, pp. 1–12, 2009.
- [45] Z. Dudás, ‘A repülési biztonságkultúra fejlesztésének lehetőségei a Magyar Honvédség légierejében különös tekintettel az emberi tényező formálására’, 2007.
- [46] G. Walz, ‘Gépek biztonsága és kockázat kezelése vetített képes előadás’. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest, 2019.
- [47] W. Sammouri, ‘Data mining of temporal sequences for the prediction of infrequent failure events : application on floating train data for predictive maintenance’, 2015.
- [48] Alten F. Grandt Jr., *Fundamentals of Structural Integrity: Damage Tolerant Design and Nondestructive Evaluation*. John Wiley & Sons, Ltd., 2003.
- [49] I. Summerville, ‘Critical Systems’ .
- [50] J. Reason, ‘Achieving a safe culture: Theory and practice’, *Work Stress*, vol. 12, no. 3, pp. 293–306, Jul. 1998.
- [51] Európai Parlament és a Tanács, ‘Az Európai Parlament és Tanács (EU) 2016/798 irányelve (2016. május 11.) a vasútbiztonságról’, *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, pp. 102–149, 2016.
- [52] J. Reason, ‘Human error: models and management’, *BMJ*, vol. 320, no. 7237, pp. 768–770, Mar. 2000.
- [53] B. Torda, ‘Minőség és megbízhatóság’. [Online]. Elérhető: [http://www.sze.hu/~torda/aut/Bizt\\_mech\\_rsz\\_12s.pdf](http://www.sze.hu/~torda/aut/Bizt_mech_rsz_12s.pdf). [Letöltve: 2017.12.19.].
- [54] ‘MSZ EN 50128:2011 - Vasúti alkalmazások. Távközlési, biztosítóberendezési és adatfeldolgozó rendszerek. Szoftverek vasúti vezérlő- és védelmi rendszerekhez’. 2011.
- [55] The Guardian, ‘Boeing employee raised concern over Max sensor three years before crashes, email shows’, 2019. [Online]. Elérhető: <https://www.theguardian.com/business/2019/oct/30/boeing-hearings-dennis-muilenburg-737-max-sensor>. [Letöltve: 2019.11.19.].
- [56] P. Tóth, ‘Az induktív és a deduktív gondolkodás ismeretelméleti alapjai’, in *Szaktudomány – gépészet-mechatronika szakirány*, Budapest, 2014.
- [57] D. Tokody, G. Schuster, J. Papp, ‘Study of how to implement an intelligent railway system in Hungary’, in *Intelligent Systems and Informatics (SISY), 2015 IEEE 13th International Symposium on*, 2015.
- [58] L. von Bertalanffy, *General System Theory: Foundations, Development, Applications*. New York: George Braziller, 1969.
- [59] K. E. Boulding, ‘General Systems Theory—The Skeleton of Science’, *Manage. Sci.*, 1956.
- [60] H. Sillitto *et al.*, ‘What do we mean by “ system ”? - System Beliefs and Worldviews in the INCOSE Community’, 2018, no. June, p. 17.
- [61] D. Tokody, F. Flammini, ‘The intelligent railway system theory’, *Int. Transp. is a Spec. Ed. Int. Verkehrswesen, ISSN 0020-9511*, vol. 69, no. 1, pp. 38–40, 2017.
- [62] C. E. Shannon, ‘A Mathematical Theory of Communication’, *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 27, no. 3, pp. 379–423, 1948.
- [63] A. M. Turing, ‘Computing Machinery and Intelligence’, *Mind*, vol. 59, no. 236, pp. 433–460, 1950.
- [64] M. R. Quillian, *Semantic Memory*. Cambridge, 1966.
- [65] C. Gershenson, M. A. Niazi, ‘Multidisciplinary applications of complex networks modeling, simulation, visualization, and analysis’, *Complex Adapt. Syst. Model.*, vol. 1, no. 1, p. 17, 2013.



- [66] M. A. Niazi, A. Hussain, 'Complex Adaptive Systems', in *SpringerBriefs in Cognitive Computation*, Springer, Dordrecht, 2013, pp. 21–32.
- [67] D. Tokody, G. Schuster, 'Driving Forces Behind Smart City Implementations - The Next Smart Revolution', *J. Emerg. Res. Solut. ICT*, vol. 1, no. 2, pp. 1–16, 2016.
- [68] G. Schuster, D. Tokody, I. J. Mezei, 'Software Reliability of Complex Systems Focus for Intelligent Vehicles', in *Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME) - Vehicle and Automotive Engineering*, K. Jármai and B. Bolló, Szerk.. Miskolc: Springer Heidelberg, 2017, pp. 309–321.
- [69] D. Tokody, I. J. Mezei, G. Schuster, 'An overview of autonomous intelligent vehicle systems', in *Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME) - Vehicle and Automotive Engineering*, K. Jármai and B. Bolló, Szerk. Miskolc: Springer Heidelberg, 2017, pp. 287–307.
- [70] D. Tokody, G. Shuster, 'I2 - Intelligent Infrastructure', in *Fifth International Scientific Videoconference of Scientists and PhD. students or candidates*, 2015, pp. 121–128.
- [71] D. Tokodi, G. Schuster, J. Ihász, 'SMART Rail technológiák lehetőségei, az intelligens vasúti hálózatok kialakításának kérdései', *Vez. Világa Magy. vasúttechnikai Szle.*, vol. XIX, no. 2, pp. 11–15, 2014.
- [72] D. Tokody, P. Holicza, M. Tor, 'Der Weg zur digitalen Strategie', *Int. Verkehrswes.*, vol. 70, no. 3, pp. 65–67, 2018.
- [73] B. Iantovics, C. Enăchescu, 'Intelligent Complex Evolutionary Agent-Based Systems', in *AIP Conference Proceedings*, 2009, pp. 116–124.
- [74] L. B. Iantovics, A. Gligor, V. Georgieva, 'Detecting Outlier Intelligence in the behavior of intelligent coalitions of agents', in *2017 IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, 2017, pp. 241–248.
- [75] D. Tokody, F. Flammini, 'The intelligent railway system theory', *Int. Transp. is a Spec. Ed. Int. Verkehrswesen, ISSN 0020-9511*, vol. 69, no. 1, p. pp-38, 2017.
- [76] L. B. Iantovics, F. Emmert-Streib, S. Arik, 'MetrIntMeas a novel metric for measuring the intelligence of a swarm of cooperating agents', *Cogn. Syst. Res.*, vol. 45, pp. 17–29, 2017.
- [77] B. Ning, T. Tang, Z. Gao, F. Yan, D. Zeng, 'Intelligent railway systems in China', *IEEE Intell. Syst.*, vol. 21, no. 5, pp. 80–82, 2006.
- [78] M. Niazi, A. Hussain, 'Agent-based computing from multi-agent systems to agent-based models: a visual survey', *Scientometrics*, vol. 89, no. 2, pp. 479–499, Nov. 2011.
- [79] OECD, 'A Frascati kézikönyv'. p. 120.
- [80] '2014. évi LXXVI. törvény a tudományos kutatásról, fejlesztésről és innovációról', 2014. [Online]. Elérhető: [http://njt.hu/cgi\\_bin/njt\\_doc.cgi?docid=172811.370448](http://njt.hu/cgi_bin/njt_doc.cgi?docid=172811.370448). [Letöltve: 2018.05.19.].
- [81] J. Hornyacsek, 'A tudományos kutatás elméleti és gyakorlati kérdései (A tudományos kutatás folyamata)', *Műszaki Katonai Közlöny*, vol. 2, pp. 17–43, 2013.
- [82] D. Mándoki, '1. kutatásmódszertani alapok prezentáció'.
- [83] M. Saunders, P. Lewis, A. Thornhill, *Research Methods for Bus Stds 5th Edition 2017*. .
- [84] E. Szücs, 'A modellezés módszere', *Adalékok a technikai műveltséghez*, 2005. [Online]. Elérhető: <http://web.axelero.hu/eszucs7/modell/Modellezmodszerm.htm>. [Letöltve: 2018.09.12.].
- [85] N. Lászlóné, K. Erzsébet, P. Attila, V. Gábor, B. N. Mária, 'A természettudományos gondolkodás online diagnosztikus értékelése', in *A természettudományi tudás online diagnosztikus értékelésének tartalmi keretei*, B. Csapó, E. Korom, and G. Molnár, Szerk. Budapest: Oktatókutatató és Fejlesztő Intézet, 2015, pp. 35–116.
- [86] Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatal, *Frascati kézikönyv*. 2002.
- [87] B. Géza, O. László, and et al., *A magyar nyelv értelmező szótára I.-VII.* Akadémiai Kiadó, 1962.
- [88] L. Szabó, 'A kötöttpályás hálózatosodás kérdései a dunántúli régiókban', *A Virtuális Intézet Közép-Európa Kut. Reper. 2008-2013.*, vol. 2, no. 25, pp. 324–332, 2014.
- [89] Crossrail, 'Innovation Management Plan', 2015.
- [90] Crossrail, 'Crossrail Innovation Strategy: Moving London Forward', p. 11, 2012.

- [91] F. László, *A jövőalkotás társadalomtechnikája*. Budapest, Pécs: Dialóg-Campus Kiadó, 2005.
- [92] T.-Y. Ching, J. Ferreira, 'Smart Cities: Concepts, Perceptions and Lessons for Planners', in *Planning Support Systems and Smart Cities*, S. Geertman, J. Ferreira Jr., R. Goodspeed, and J. Stillwell, Szerk. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 145–168.
- [93] K.-G. Kim, 'Implementation of Climate Smart City Planning: Global Climate Smart City Platform Solution', in *Low-Carbon Smart Cities: Tools for Climate Resilience Planning*, Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 285–323.
- [94] K.-G. Kim, 'Evolution of Climate Resilience and Low-Carbon Smart City Planning: A Process', in *Low-Carbon Smart Cities: Tools for Climate Resilience Planning*, Cham: Springer International Publishing, 2018, pp. 1–76.
- [95] L. G. Anthopoulos, A. Vakali, 'Urban Planning and Smart Cities: Interrelations and Reciprocities', in *The Future Internet: Future Internet Assembly 2012: From Promises to Reality*, F. Álvarez, F. Cleary, P. Daras, J. Domingue, A. Galis, A. Garcia, A. Gavras, S. Karnourkos, S. Krco, M.-S. Li, V. Lotz, H. Müller, E. Salvadori, A.-M. Sassen, H. Schaffers, B. Stiller, G. Tselentis, P. Turkama, and T. Zahariadis, Szerk. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 178–189.
- [96] D. Tokody, I. J. Mezei, 'Creating smart, sustainable and safe cities', in *2017 IEEE 15th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)*, 2017, pp. 000141–000146.
- [97] S. Dustdar, S. Nastić, O. Šćekić, 'Governing Smart City Systems', in *Smart Cities: The Internet of Things, People and Systems*, Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 71–99.
- [98] D. Tokody, P. Holicza, G. Schuster, 'The smart mobility aspects of intelligent railway', in *SACI 2016 - 11th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics, Proceedings*, 2016, pp. 323–326.
- [99] T. Kovács, L. Dévényi, 'The Effect of Microstructure on the Wear Phenomena', in *Materials Science, Testing and Informatics III*, 2007, vol. 537, pp. 397–404.
- [100] V. P. Mega, 'The Age of Cities: Urban Geopolitics and the Path Towards Sustainable Development', in *Conscious Coastal Cities: Sustainability, Blue Green Growth, and The Politics of Imagination*, Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 1–38.
- [101] B. Granier, H. Kudo, 'How are citizens involved in smart cities? Analysing citizen participation in Japanese "Smart Communities"', *Inf. Polity*, vol. 21, no. 1, pp. 61–76, Feb. 2016.
- [102] K. Goh, 'Who's Smart? Whose City? The Sociopolitics of Urban Intelligence', in *Planning Support Systems and Smart Cities*, S. Geertman, J. Ferreira Jr., R. Goodspeed, and J. Stillwell, Szerk. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 169–187.
- [103] A. Kerti, Z. Nyikes, 'Overview of Hungary information security, the issues of the national electronic classified material of transmission', in *2015 IEEE 10th Jubilee International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics*, 2015, pp. 327–333.
- [104] M. P. Rodríguez Bolívar, 'Smart Cities: Big Cities, Complex Governance?', in *Transforming City Governments for Successful Smart Cities*, M. P. Rodríguez-Bolívar, Ed. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 1–7.
- [105] Y. Lin, S. Geertman, 'Smart Governance, Collaborative Planning and Planning Support Systems: A Fruitful Triangle?', in *Planning Support Systems and Smart Cities*, S. Geertman, J. Ferreira Jr., R. Goodspeed, and J. Stillwell, Szerk. Cham: Springer International Publishing, 2015, pp. 261–277.
- [106] D. Tokody, F. Flammini, 'Smart Systems for the Protection of Individuals', *Key Eng. Mater.*, vol. 755, p. pp 190-197, 2017.
- [107] Z. Nyikes, Z. Rajnai, 'Big data, as part of the critical infrastructure', in *2015 IEEE 13th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)*, 2015, pp. 217–222.
- [108] Z. Nyikes, Z. Németh, A. Kerti, 'The electronic information security aspects of the administration system', in *2016 IEEE 11th International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI)*, 2016, pp. 327–332.
- [109] M. Szakali, E. Szűcs, 'The beginning of security', *Hírvillám - Signal Badge*, vol. 5, no. 1, 2014.

- [110] S. Lim, M. Kiah, T. Ang, 'Security Issues and Future Challenges of Cloud Service Authentication', *Acta Polytech. Hungarica*, vol. 14, no. 2, pp. 69–89, 2017.
- [111] European Parliament, 'Directive 2010/40/EU of the European Parliament and of the Council of 7 July 2010 on the framework for the deployment of Intelligent Transport Systems in the field of road transport and for interfaces with other modes of transport', *Off. J. Eur. Union*, pp. 1–13, 2010.
- [112] Főmterv, 'Nemzeti Közlekedési Stratégia', p. 96, 2013.
- [113] *Stratégia az Intelligens Közlekedési Rendszerek és Szolgáltatások Hazai Fejlesztéséhez*. Budapest, 2009.
- [114] KTI Közlekedéstudományi Intézet Nonprofit Kft., 'A hazai közúti, vasúti, légi és vízi közlekedés károsanyag-kibocsátása', 2015. [Online]. Elérhető: <http://www.kti.hu/trendek-archivum/a-hazai-kozuti-vasuti-legi-es-vizi-kozlekedes-karosanyag-kibocsatasanak-valtozasa-1999-2014/>. [Letöltve: 2018.02.05].
- [115] European Commission, 'Results from the transport research programme', 2001.
- [116] A. Fantechi, F. Flammini, és S. Gnesi, *Formal methods for railway control systems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2014.
- [117] 'CEN and ETSI deliver first set of standards for Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS)', 2014. [Online]. Elérhető: <https://www.etsi.org/news-events/news/753-2014-02-joint-news-cen-and-etsi-deliver-first-set-of-standards-for-cooperative-intelligent-transport-systems-c-its>. [Letöltve: 2018.02.05].
- [118] UKCIP, 'Achieving a resilient nation'. pp. 1–20.
- [119] A. Jovanovi, K. Ø, A. Choudhary, 'An Indicator-Based Approach to Assessing Resilience of Smart Critical Infrastructures', in *Urban Disaster Resilience and Security*, A. Fekete and F. Fiedrich, Szerk. Springer International Publishing, 2018, pp. 285–311.
- [120] K. Øien *et al.*, 'Assessing resilience of Smart Critical Infrastructures based on Indicators - SmartResilience: Smart Resilience Indicators for Smart Critical Infrastructures'. Stuttgart, p. 87, 2017.
- [121] P. Klimek *et al.*, 'Report on interdependencies and cascading effects of smart city infrastructures - SmartResilience: Smart Resilience Indicators for Smart Critical Infrastructures'. SmartResilience Consortium, Bécs, p. 61, 2017.
- [122] M. Vollmer *et al.*, 'D3.1 Contextual factors related to resilience - SmartResilience: Smart Resilience Indicators for Smart Critical Infrastructures'. SmartResilience Consortium, Euskirchen, p. 66, 2017.
- [123] A. Jovanović *et al.*, 'Analysis of existing assessment resilience approaches, indicators and data sources: Usability and limitations of existing indicators for assessing, predicting and monitoring critical infrastructure resilience'. Stuttgart, p. 176, 2017.
- [124] J. Velencei, 'Embervezényelt folyamatok: a tudásmegosztók fukarsága', *Tanulmánykötet - Vállalkozásfejlesztés a XXI. században IV.*, pp. 337–346, 2014.
- [125] M. László, 'Extremisztánban értéké válik az okos egyszerűség', 2015. .
- [126] Ove Arup and Partners Ltd., 'National Infrastructure Commission Infrastructure and Digital Systems Resilience Final Report - November 2017', London, 2017.
- [127] P. Vlacheas, V. Stavroulaki, P. Demestichas, S. Cadzow, S. Gorniak, and D. Ikonou, 'Ontology and taxonomies of resilience', 2011.
- [128] University of Sheffield, 'Engineering Complexity Resilience Network Plus', 2019. .
- [129] A. Mujumdar, S. K. Mohalik, R. Badrinath, 'Antifragility for Intelligent Autonomous Systems', no. February, 2018.
- [130] S. Russell, D. Dewey, M. Tegmark, 'Research Priorities for Robust and Beneficial Artificial Intelligence', *AI Mag.*, vol. 36, no. 4, pp. 105–114, 2015.
- [131] IBM, 'An architectural blueprint for autonomic computing', 2005.
- [132] D. Rehak, P. Senovsky, S. Slivkova, 'Resilience of Critical Infrastructure Elements and Its Main Factors', *Systems*, vol. 6, no. 2, p. 21, Jun. 2018.
- [133] Siemens AG, 'Our future depends on intelligent infrastructures'. [Online]. Elérhető:

- <https://www.siemens.com/digitalization/public/pdf/siemens-intelligent-infrastructure.pdf>.  
[Letöltve: 2019.10.05].
- [134] The Royal Academy of Engineering, *Smart infrastructure: the future*. London, 2012.
- [135] MÁV Zrt., ‘Működtetett infrastruktúra vonatkozó alapadatok’, 2014. .
- [136] Z. Haig, B. Hajnal, L. Kovács, L. Muha, Z. N. Sik, ‘A kritikus információs infrastruktúrák meghatározásának módszertana’. ENO Advisory Kft., p. 198, 2009.
- [137] L. Janušová, S. Čičmancová, ‘Improving Safety of Transportation by Using Intelligent Transport Systems’, *Procedia Eng.*, vol. 134, pp. 14–22, 2016.
- [138] ‘2080/2008. (VI. 30.) Korm. határozat a Kritikus Infrastruktúra Védelem Nemzeti Programjáról’. 2008.
- [139] ‘2012. évi CLXVI. törvény a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről’. 2012.
- [140] ‘65/2013. (III. 8.) Korm. rendelet a létfontosságú rendszerek és létesítmények azonosításáról, kijelöléséről és védelméről szóló 2012. évi CLXVI. törvény végrehajtásáról’. 2013.
- [141] MÁV Zrt., ‘Javaslat a vasúti kritikus infrastruktúra kijelölésére, a kritikus infrastruktúra helyettesítésére, védelmére.’, Budapest, 2011.
- [142] ‘30/2010. (XII. 23.) NFM rendelet a vasúti rendszer kölcsönös átjárhatóságáról’ . .
- [143] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, ‘Action programme on digitalisation’. [Online]. Elérhető: <http://www.de.digital/DIGITAL/Navigation/EN/Action-Programme/action-programme.html>. [Letöltve: 2018.01.28.].
- [144] OECD, ‘Going Digital: Making the Transformation Work for Growth and Well-being Going digital’, 2017.
- [145] Molinari Rail, ‘Zillertalbahn Hydrogen train’. [Online]. Elérhető: <https://www.molinari-rail.com/projects/zillertalbahn-hydrogen-train/>. [Letöltve: 2018.02.05].
- [146] European Commission, ‘Supporting the Implementation of Green Infrastructure’, Rotterdam, 2016.
- [147] Y. Chen, A. Whalley, ‘Green Infrastructure: The Effects of Urban Rail Transit on Air Quality’, *Am. Econ. J. Econ. Policy*, vol. 4, no. 1, pp. 58–97, 2012.
- [148] R. Berger, ‘Rail supply digitization’, 2017.
- [149] ‘Amended Annual Work Plan and Budget for 2018’, 2018.
- [150] International Union of Railways, *Smart stations in smart cities*, no. October. International Union of Railways (UIC), 2017.
- [151] B. Farkas, ‘A vasúti árufuvarozás versenyképességének vizsgálata’, *Hadtudományi Szle.*, vol. 9, no. 4, pp. 77–89, 2016.
- [152] R. König és M. Hecht, ‘White Paper Innovative Rail Freight Wagon 2030’, no. September. 2012.
- [153] European Communities, ‘Preparing for our future: Developing a common strategy for key enabling technologies in the EU - SEC(2009) 1257 final’. p. 9, 2009.
- [154] Europäische Kommission, ‘„Eine europäische Strategie für Schlüsseltechnologien – Eine Brücke zu Wachstum und Beschäftigung“’. 2012.
- [155] Kommission der Europäischen Gemeinschaften, ‘„An die Zukunft denken: Entwicklung einer gemeinsamen EU-Strategie für Schlüsseltechnologien“ - {SEK2009} 1257}’. Brüssel, 2009.
- [156] Európai Bizottság, ‘A kulcsfontosságú alaptermészetek európai stratégiája – híd a növekedéshez és a munkahelyteremtéshez’. Brüssel, p. 22, 2012.
- [157] A. Conte, E. Davila, ‘Workshop on Digitising European Industry - European Digital Transformation And Standardisation’, 2017.
- [158] E. Kommission, ‘Schwerpunkte der IKT-Normung für den digitalen Binnenmarkt, COM(2016) 176 final’. Brüssel, p. 17, 2016.
- [159] Európai Bizottság, ‘IKT - szabványosítási prioritások a digitális egységes piac érdekében’. Brüssel, p. 16, 2016.
- [160] Der Rat der Europäischen Union, ‘Beschluss des Rates über das Spezifische Programm zur Durchführung des Rahmenprogramms für Forschung und Innovation “Horizont 2020” (2014-

- 2020) und zur Aufhebung der Beschlüsse'. Brüssel, 2013.
- [161] Europäische Kommission, 'WEISSBUCH: Fahrplan zu einem einheitlichen europäischen Verkehrsraum – Hin zu einem wettbewerbsorientierten und ressourcenschonenden Verkehrssystem', p. 36, 2011.
- [162] 'Space4Rail'. [Online]. Elérhető: <https://space4rail.esa.int/>. [Letöltve: 2019.10.05].
- [163] L. Lo Presti és S. Sabina, Szerk., *GNSS for Rail Transportation*. Springer International Publishing, 2018.
- [164] Z. Bělinová, 'SYSTEMS ENGINEERING - history'. Faculty of Transportation Sciences, Czech Technical University, Prága, p. 46.
- [165] INCOSE, 'History of Systems Engineering'. [Online]. Elérhető: <https://www.incose.org/about-systems-engineering/history-of-systems-engineering>. [Letöltve: 2019.11.05].
- [166] K. József, P. Ottó, *Komplex rendszerek vizsgálata*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1977.
- [167] W. R. Ashby, *Bevezetés a kibernetikába*. Budapest: Akadémiai Kiadó, 1972.
- [168] F. Dezső, *Rendszertechnika*. Győr: Szent István Egyetem, 2011.
- [169] G. Westsik, *Közlekedési rendszertervezés*. Tankönyvkiadó Vállalat, 1982.
- [170] G. Pahl, W. Beitz, *A géptervezés elmélete és gyakorlata*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1981.
- [171] M. C. Carrozza, *The Robot and Us*, 1st ed., vol. 20. Cham: Springer International Publishing, 2019.
- [172] I. Nouzil, A. Raza, S. Pervaiz, 'Social aspects of automation: Some critical insights', *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 244, p. 012020, 2017.
- [173] J. Černetic, S. Strmčnik, D. Brandt, 'Revisiting the social impact of automation', *IFAC Proc. Vol.*, vol. 15, no. 1, pp. 167–178, 2002.
- [174] S. Norvig, S. Russell, *Mesterséges intelligencia, modern megközelítésben*. Budapest: Panem Könyvkiadó, 2005.
- [175] J. Hollós, *Az ipari elektronika alapfogalmai*, 3. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1979.
- [176] K. Simonyi, *A fizika kultúrtörténete*. Budapest: Gondolat Kiadó, 1981.
- [177] A. Katsnelson, 'DNA robot could kill cancer cells', *Nature*, Feb. 2012.
- [178] W. Wahlster, 'Industry 4.0: The Semantic Product Memory as a Basis for Cyber-Physical Production Systems'. Zürich, 2013.
- [179] J. Tóth, *Automatika*. Budapest: TERC Kereskedelmi és Szolgáltató Kft., 2013.
- [180] K. Y. Goldberg, 'What is automation?', *IEEE Robot. Autom. Mag.*, vol. 19, no. 1, pp. 101–102, 2012.
- [181] '2005. évi CLXXXIII. törvény a vasúti közlekedésről'. Magyar Közlöny, 2005.
- [182] UITP, 'What is metro automation?' p. 13, 2012.
- [183] K. Arató, *Vasúti rendszertechnikai ismeretek*. 2011.
- [184] S. Morant, 'Digitisation and automation will define our future', 2016. [Online]. Elérhető: <https://www.railjournal.com/rolling-stock/digitisation-and-automation-will-define-our-future>. [Letöltve: 2018.08.20].
- [185] National Rail, 'Track Circuit Failure'. [Online]. Elérhető: [https://www.nationalrail.co.uk/service\\_disruptions/80836.aspx](https://www.nationalrail.co.uk/service_disruptions/80836.aspx).
- [186] European Union, 'Congestion costs Europe about 1% of Gross Domestic Product (GDP) every year', 2016.
- [187] A. Korzhenevych *et al.*, 'Update of the Handbook on External Costs of Transport: final report for the European Commission', 2014.
- [188] KSH, 'Vasúti áruszállítás (2005–2016)', 2016.
- [189] P. Holicza, D. Tokody, J. Papp, 'Európa súlyos vonatbalesetei: A leggyakoribb kiváltó okok', in *Vállalkozásfejlesztés a XXI. században VIII./1. : Integrált vállalkozásfejlesztési megoldások*, Á. Csiszárík-Kocsir, M. Garai-Fodor, Szerk. Óbudai Egyetem, Keleti Károly Gazdasági Kar, 2018, pp. 116–123.
- [190] International Union of Railways, *Railway Safety Database - Report 2013 - Significant Accidents*

- 2012 Public Report, no. September. 2013.
- [191] European Parliament, ‘Az Európai Parlament és a Tanács 2004/49/EK irányelve (2004. április 29.) a közösségi vasutak biztonságáról, valamint a vasúttársaságok engedélyezéséről szóló 95/18/EK tanácsi irányelv és a vasúti infrastruktúrakapacitás elosztásáról, továbbá a vasúti inf’, *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, 2004.
- [192] Európai parlament és tanács, ‘A Bizottság 1192/2003/EK Rendelete(2003. július 3.)a vasúti közlekedés statisztikájáról szóló 91/2003/EK európai parlamenti és tanácsi rendeletmódosításáról’, *Az Európai Unió Hivatalos Lapja*, pp. 327–330, 2003.
- [193] B. C. Survivor, K. Abdul-aziz, *Safety Database Report 2014 - Significant Accidents 2013*, no. February. 2014.
- [194] International Union of Railways, ‘Safety Database Activity Report 2009 - Significant Accidents 2010’, 2009.
- [195] International Union of Railways, ‘Safety Database Activity Report 2009 - Significant Accidents 2008’, 2009.
- [196] International Union of Railways, ‘Safety Database Activity Report - Significant Accidents 2009’, 2010.
- [197] International Union of Railways, ‘Safety Database Activity Report 2012 - Significant Accidents 2011’, 2012.
- [198] International Union of Railways, *UIC Safety Report 2017 - Significant Accidents 2016*, no. September. 2016.
- [199] International Union of Railways, *UIC Safety Report 2016 - Significant Accidents 2015*, no. September. 2016.
- [200] International Union of Railways, *UIC Safety Report Significant Accidents 2015 Public Report*, no. September. 2016.
- [201] International Union of Railways, *UIC Safety Report 2018: Significant Accidents occurred in Europe during the year 2017*, no. October. 2018.
- [202] J. Tutchter, ‘Development of Semantic data models to support data interoperability in the rail industry’. University of Birmingham, p. 335, 2015.
- [203] G. Kis, K. Enged, ‘Hőnfutásjelző berendezések és más diagnosztikai megoldások’, *Sínek Világa*, vol. 59, no. 6, pp. 26–28, 2017.
- [204] C. Ágh, ‘Vasúti pályák vizsgálatának korszerű módszerei’, *Műszaki Katonai Közlöny*, vol. 29, no. 1, pp. 219–230, 2019.
- [205] IEEE CBTC working group, ‘IEEE standard for communications-based train control (CBTC) performance and functional requirements’, *Vehicular Technology Conference Proceedings, VTC*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, p. 30, 1999.
- [206] T. Petraschek, M. Walter, M. Haberler-Weber, ‘ÖBB Infrastructure as a driver of innovation – Perspectives on digitisation and automation in railway infrastructure’, *Geomech. Tunn.*, vol. 10, no. 6, pp. 748–752, 2017.
- [207] M. Bortolotto, F. Choquette, ‘EGNOS trials on Italian high-speed tilting trains’, in *GNSS 2003 Conference*, 2003.
- [208] ‘103/2003. (XII. 27.) GKM a rendelet a hagyományos vasúti rendszerek kölcsönös átjárhatóságáról’.
- [209] MÁV Zrt., ‘E.102.sz. Utasítás a felsővezetékes villamos üzemi munka végzésére’. MÁV Zrt., Budapest, p. 84, 2016.
- [210] K. Kovács, M. Kökényesi, *Vasúti villamos felsővezeték I. Felsővezeték építés*. Komáromi Nyomda és Kiadó Kft., 2013.
- [211] UIC, ‘UIC 791-1 Felsővezeték karbantartási irányelvek’. p. 68, 2006.
- [212] B. Czere et al., *A vasúti technika kézikönyve*. Budapest: Műszaki Könyvkiadó, 1975.
- [213] Thales Rail Signalling Solutions GesmbH, ‘Rendszer leírás Elektra2.x’. p. 95, 2009.
- [214] M. Van Der Werff, F. Heijnen, M. Blazic, ‘EULYNX: The Next Generation Signalling Strategy’.

- [215] N. G. Leveson, *System Safety Engineering: Back To The Future*, no. June. Aeronautics and Astronautics Massachusetts Institute of Technology, 2002.
- [216] E. Verhulst, B. H. C. Spath, 'ARRL: A criterion for compositional safety and systems engineering: A normative approach to specifying components', *2013 IEEE Int. Symp. Softw. Reliab. Eng. Work. ISSREW 2013*, no. November, pp. 37–44, 2013.
- [217] R. York, 'Embedded segment market update', no. July. Arm Limited, p. 33, 2015.
- [218] Magyar Szabványügyi Testület, 'MSZ EN 50126-1:2001 Vasúti alkalmazások. A megbízhatóság, az üzemkészség, a karbantarthatóság és a biztonság (RAMS) előírása és bizonyítása. 1. rész: Alapvető követelmények és az általános folyamat'. p. 83, 2001.
- [219] ISO, 'ISO 26262-1:2018: Road vehicles — Functional safety — Part 1: Vocabulary'. ISO, p. 33, 2018.
- [220] European Union Agency for Railways, 'Safety Culture'. [Online]. Elérhető: [https://www.era.europa.eu/activities/safety-culture\\_en](https://www.era.europa.eu/activities/safety-culture_en). [Letöltve: 2019.07.20].
- [221] G. Vass, Z. Mesics, B. Kovács, 'Útmutató a biztonsági irányítási rendszerekkel kapcsolatban a SEVESO III . irányelv hazai bevezetésével módosuló jogszabályi előírások végrehajtásához', 2016.
- [222] European Union Agency for Railways, 'Safety Management System'. [Online]. Elérhető: [https://www.era.europa.eu/activities/safety-management-system\\_en](https://www.era.europa.eu/activities/safety-management-system_en). [Letöltve: 2019.09.22].
- [223] D. Tokody, D. Maros, G. Schuster, Z. Tiszavölgyi, 'Communication-based Intelligent Railway - Implementation of GSM-R System in Hungary', in *2016 IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMII)*, 2016, pp. 99–104.
- [224] J. Rasmussen, 'Risk management in a dynamic society: a modelling problem', *Saf. Sci.*, vol. 27, no. 2–3, pp. 183–213, Nov. 1997.
- [225] S. Okubo, K. Yamaguchi, T. Nakamikawa, és H. Uchiyama, 'Control security: Security solutions that protect the life cycle of control systems', *Hitachi Rev.*, vol. 65, no. 8, pp. 348–352, 2016.
- [226] I. Sommerville, 'Critical systems', in *Software Engineering, 9th Edition*, Boston: Pearson Education, Inc., 2008, p. 790.
- [227] Electronic Components and Systems for European Leadership, 'Decision of the Governing Board of the Ecsel Joint Undertaking'. [Online]. Elérhető: [http://ecsel.eu/web/downloads/Documents\\_GB/ecsel-gb-2014-22\\_masp\\_2015.pdf](http://ecsel.eu/web/downloads/Documents_GB/ecsel-gb-2014-22_masp_2015.pdf).
- [228] W. Steinhögl, S. Delia, J. Dethier, 'ICT-01-2016 : Smart Cyber-Physical Systems', *EC, slides*. European Commission, p. 10, 2016.
- [229] S. A. Lee, E. A., Seshia, *Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach. Second Edition*, vol. 195. 2017.
- [230] B. M. Wilamowski, J. D. Irwin, *The Industrial Electronics Handbook*. CRC Press, 2011.
- [231] J. Abonyi, T. Fülep, *Biztonságkritikus rendszerek*. Pannon Egyetem, 2014.
- [232] J. De La Vara, B. Spath, V. De Florio, E. Verhulst, J. Luis De La Vara, B. H. C. Spath, 'ICSSEA 2013-4 Eric Verhulst From Safety Integrity Level to Assured Reliability and Resilience Level for Compositional Safety Critical Systems', 2013.
- [233] J. Á. Somogyi, 'Lézerszkennelt pontfelhők illesztésének optimalizálása mérnöki feladatok megoldásának hatékony támogatása pontfelhő alapú eljárásokkal'. p. 95, 2017.
- [234] T. Vörös, 'Vasúti építészet (14. rész) A 130 éves Keleti pályaudvar ipar- és képzőművészeti értékei Gönczi', *Sínek Világa*, vol. 56, no. 3, pp. 17–20, 2014.
- [235] 'A központi személyszállító indóház Budapesten', *Vasárnapi Újság*, vol. 31, no. 35, pp. 549–564, 1884.
- [236] ASC Stúdió Kft., 'Budapest Keleti pályaudvar csarnok átnézeti alaprajz'. 2019.
- [237] Leica Geosystems, 'Leica RTC360 3D lézerszkennő'. [Online]. Elérhető: <https://leica-geosystems.com/hu-hu/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>. [Letöltve: 2019.11.20].
- [238] MÁV Rt., 'Budapest Keleti személypályaudvar villamos felsővezeték hálózatának megvalósulási terve'. Budapest, 1990.

- [239] I. Zobory, *Vasúttechnikai kézikönyv*. Budapest: Magyar Államvasutak, 2006.
- [240] J. Papp, D. Tokody, 'IntelliSys-R rendszerleírás'. Budapest, p. 80, 2018.
- [241] M. Niestadt, A. Debyser, D. Scordamaglia, M. Pape, 'Artificial intelligence in transport - Current and Future Developments in Artificial Intelligence'. European Parliament, p. 12, 2019.
- [242] Magyar Szabványügyi Testület, 'MSZ EN 50126-1:2011 Vasúti alkalmazások. A megbízhatóság, az üzemkésztség, a karbantarthatóság és a biztonság (RAMS) előírása és bizonyítása'. Magyar Szabványügyi Testület, p. 83, 2011.
- [243] D. Fodor, F. Speiser, 'Szoftverfejlesztési szabványok', in *Autóipari beágyazott rendszerek*, Pannon Egyetem, 2014.
- [244] B. Scherer, 'Fejlesztési folyamatok, élelciklus modellek, V-modell'. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, p. 96, 2015.
- [245] P. Wooderson, 'Automotive Cyber Security Testing', *Presentation*, no. June, 2016.
- [246] C. Schmittner, Z. Ma, C. Reyes, O. Dillinger, P. Puschner, 'Using SAE J3061 for automotive security requirement engineering', in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2016.
- [247] M. Fachot, 'Protecting road vehicles from cyber attacks', *IEC e-tech*, 2017. [Online]. Elérhető: <https://ieccetech.org/issue/2017-03/Protecting-road-vehicles-from-cyber-attacks>. [Letöltve: 2018.05.05.].
- [248] Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, 'Action plan automated and connected driving', Berlin, 2017.
- [249] S. Kovács, 'Intelligens Rendszerek I . Ágensek Intelligens ágens'. Miskolci Egyetem, p. 40, 2008.
- [250] 'Az intelligens ágensek struktúrája', *Mesterséges Intelligencia Elektronikus Almanac*. [Online]. Elérhető: [http://project.mit.bme.hu/mi\\_almanach/books/aima/ch02s04](http://project.mit.bme.hu/mi_almanach/books/aima/ch02s04). [Letöltve: 2019.11.25.].
- [251] M. Gubán, *Mesterséges intelligencia*. Budapest: Budapesti Gazdasági Főiskola, 2014.
- [252] S. Russell, P. Norvig, *Mesterséges Intelligencia*. Budapest: Hungarian Translation Panem Könyvkiadó, 2005.
- [253] R. Velik, 'A Bionic Model for Human-like Machine Perception', Vienna University of Technology, 2008.
- [254] J. Crowcroft, 'Network/Graph Network/Graph Theory Theory'. University of Cambridge, 2011.
- [255] R. Schank, 'Chapter 8 "Smart Machines"'. [Online]. Elérhető: [https://www.edge.org/conversation/marvin\\_minsky-chapter-8-smart-machines](https://www.edge.org/conversation/marvin_minsky-chapter-8-smart-machines). [Letöltve: 2017.08.21.].
- [256] J. Crowcroft, 'System Design: An Engineering Approach to Computer Networking'. Cambridge University, 2011.
- [257] J. Lee, B. Bagheri, H. A. Kao, 'A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems', *Manuf. Lett.*, vol. 3, pp. 18–23, 2015.
- [258] E. Loh, 'Medicine and the rise of the robots: a qualitative review of recent advances of artificial intelligence in health', *BMJ Lead.*, vol. 2, no. 2, pp. 59–63, 2018.
- [259] Z. Bien, W.-C. Bang, D.-Y. Kim, és J.-S. Han, 'Machine intelligence quotient: its measurements and applications', *Fuzzy Sets Syst.*, vol. 127, no. 1, pp. 3–16, 2002.
- [260] ElectrotechnicalCommissionInternational, 'IEC 62366:2007, Medical devices — Application of usability engineering to medical devices'. International Electrotechnical Commission, 2007.
- [261] Z. Béky, 'Az orvosi eszközök használhatósági tervezése (Usability Engineering)'. B. Braun Medical Kft., 2013.
- [262] Európai Parlament és a Tanács, 'Az Európai Parlament és a Tanács 2009/125/EK irányelve az energiával kapcsolatos termékek - C1 környezettudatos tervezésére - vonatkozó követelmények megállapítási kereteinek létrehozásáról', pp. 1–89, 2009.
- [263] A. et al. Hsu, *Global Metrics For The Environment, The Environmental Performance Index ranks countries ' performance on high-priority environmental issues*. New Haven: Yale University, 2016.



- [264] Z. Wang, B. Zhang, D. Guan, 'Take responsibility for electronic-waste disposal', *Nature*, vol. 536, no. 7614, pp. 23–25, Aug. 2016.
- [265] D. Necula, N. Vasile, M. F. Stan, 'The impact of the electrical machines on the environment', in *2013 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, 2013, pp. 1–4.
- [266] G. Pirisi, A. Trócsányi, *Általános társadalom - és gazdaságföldrajz*. Pécs: Pécsi Tudományegyetem, 2011.
- [267] '6-cube'. [Online]. Elérhető: <https://en.wikipedia.org/wiki/6-cube>. [Letöltve: 2017.08.21.].
- [268] 'Tudományos ellenőrzés'. [Online]. Elérhető: [https://hu.wikipedia.org/wiki/Tudományos\\_ellenőrzés](https://hu.wikipedia.org/wiki/Tudományos_ellenőrzés). [Letöltve: 2019.11.30].
- [269] V. Maier, K. Maier, M. Hassan, A. Kraus, H. Wenzel, 'Method for producing a sensor system, and sensor system', 2013.
- [270] P. J. Wesley, W. M. Scott, és M. Joanne, 'Method and apparatus for coordinating railway line of road and yard planners', 2011.
- [271] W. Petit, G. Maderer, S. Macano, J. Hoelscher, 'Automatic vehicle control and location system', 1994.
- [272] European Patent Office, 'CPC Scheme and Definitions'. [Online]. Elérhető: <https://www.cooperativepatentclassification.org/cpcSchemeAndDefinitions/table.html>. [Letöltve: 2018.11.02].
- [273] J. Lonien, 'Technical Standards in the city context', 2015.
- [274] 'ISO/TC 268 "Sustainable cities and communities"', 2016. [Online]. Elérhető: <https://isotc.iso.org/livelink/livelink?func=ll&objId=12236361&objAction=browse&sort=name>. [Letöltve: 2016.10.20].
- [275] 'Standards catalogue ISO/TC 268 - Sustainable development in communities, Published standards', 2016. [Online]. Elérhető: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_tc\\_browse.htm?commid=656906&published=on&includesc=true](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=656906&published=on&includesc=true). [Letöltve: 2016.10.20].
- [276] 'Standards catalogue ISO/TC 268 - Sustainable development in communities, Standards under development', 2016. [Online]. Elérhető: [http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue\\_tc/catalogue\\_tc\\_browse.htm?commid=656906&development=on&includesc=true](http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_tc/catalogue_tc_browse.htm?commid=656906&development=on&includesc=true). [Letöltve: 2016.10.20].
- [277] United Nations, 'The Sustainable Development Goals'. p. 64, 2019.
- [278] United Nations, 'The 2030 Agenda for sustainable development'. p. 41, 2016.
- [279] P. Krisztián, 'Jólét vagy Jólét'. [Online]. Elérhető: [http://nimbus.elte.hu/oldversion/staff/bartholy/1/KLIMAVALTOZAS/H-PeterKrisztian\\_JoletJollet.ppt](http://nimbus.elte.hu/oldversion/staff/bartholy/1/KLIMAVALTOZAS/H-PeterKrisztian_JoletJollet.ppt). [Letöltve: 2019.11.20].
- [280] E. Estellés-Arolas, F. González-Ladrón-de-Guevara, 'Towards an integrated crowdsourcing definition', *J. Inf. Sci.*, vol. 20, no. 10, pp. 1–14, 2012.
- [281] F. David, A. Havas, H. Solveigh, L. Jánoskúti, A. Kadocsa, P. Puskás, 'Átalakuló munkahelyek: az automatizálás hatása Magyarországon'. p. 70, 2018.
- [282] L. Holló és et al., *Vasúti értelmező szótár*. Budapest: Egyetemi Nyomda, Közdok, 1979.
- [283] Magyar Mérnöki Kamara, 'Tervdokumentációk tartalmi és formai követelményei'. Magyar Mérnöki Kamara, Budapest, pp. 1–160, 2014.
- [284] Magyar Szabványügyi Testület, 'MSZ EN 50128:2001 Vasúti alkalmazások. Távközlési, biztosítóberendezési és adatfeldolgozó rendszerek. Szoftverek vasúti vezérlő- és ellenőrzőrendszerekhez.' p. 105, 2001.
- [285] J. Kollár, 'A kiterjesztett elme mint holonikus rendszer (Koestler és a kognitív tudomány)'. [Online]. Elérhető: <http://www.c3.hu/~prophil/profi053/kollar.html>. [Letöltve: 2019.11.20].
- [286] G. Kampis, 'Az elme dinamikus modelljei'. [Online]. Elérhető: <http://hps.elte.hu/~gk/Publications/LK.html>. [Letöltve: 2019.11.20].

## ÉRTEKEZÉSEL KAPCSOLATOS PUBLIKÁCIÓIM

### Nemzetközi szakfolyóiratban megjelent tudományos folyóiratcikk Scopusban vagy WoS-ban indexelt

- [S1] D. Tokody, M. Tor, E. Szűcs, F. Flammini, L. B. Iantovics, ‘On the Development of Intelligent Railway Information and Safety Systems: An overview of current research’, **Interdisciplinary Description of Complex Systems**, vol. 16, no. 1, pp. 176–185, 2018. **WoS: 000431068300014**
- [S2] L. B. Iantovics, M. A. Niazi, A. Gligor, S. M. Szilágyi, M. Dehmer, F. Emmert-Streib, D. Tokody, ‘CoopRA Algorithm for Universal Characterization of the Experimental Evaluation Results of Cooperative Multiagent Systems.’, **BRAIN: Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience**, vol. 9, no. 3, pp. 37–49, 2018. **WoS: 000443318100004**
- [S3] L. B. Iantovics, A. Gligor, M. A. Niazi, A. I. Biro, S. M. Szilagy, D. Tokody, ‘Review of Recent Trends in Measuring the Computing Systems Intelligence’, **BRAIN: Broad Research in Artificial Intelligence and Neuroscience**, vol. 9, no. 2, pp. 77–94, 2018. **WoS:000435398100007**
- [S4] D. Tokody, ‘Digitising the European industry - holonic systems approach’, **Procedia Manufacturing**, vol. 22, pp. 1015–1022, 2018. **Scopus: 85049255722, WoS: 000456199200142**
- [S5] D. Tokody, A. Albini, L. Ady, Z. Rajnai, F. Pongrácz, ‘Safety and Security through the Design of Autonomous Intelligent Vehicle Systems and Intelligent Infrastructure in the Smart City’, **Interdisciplinary Description of Complex Systems**, vol. 16, no. 3A, pp. 384–396, 2018. **WoS: 000454599400011**
- [S6] D. Tokody, I. J. Mezei, G. Schuster, ‘An overview of autonomous intelligent vehicle systems’, in **Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME) - Vehicle and Automotive Engineering**, K. Jármái és B. Bolló, Szerk. Miskolc: Springer Heidelberg, 2017, pp. 287–307. **Scopus: 85029188872, WoS: 000413478000027**
- [S7] G. Schuster, D. Tokody, I. J. Mezei, ‘Software Reliability of Complex Systems Focus for Intelligent Vehicles’, in **Lecture Notes in Mechanical Engineering (LNME) - Vehicle and Automotive Engineering**, K. Jármái és B. Bolló, Szerk. Miskolc: Springer Heidelberg, 2017, pp. 309–321. **Scopus: 85029188785, WoS: 000413478000028**
- [S8] D. Tokody, F. Flammini, ‘Smart Systems for the Protection of Individuals’, **Key Engineering Materials**, vol. 755, p. pp 190-197, 2017. **Scopus: 85033387662**
- [S9] F. Azemi, G. Šimunović, R. Lujić, D. Tokody, ‘Intelligent Computer-Aided resource planning and scheduling of machining operation’, **Procedia Manufacturing**, vol. 32, pp. 331–338, 2019. **Scopus: 85065648917, WoS: 000471295800047**
- [S10] F. Azemi, G. Šimunović, R. Luji, D. Tokody, Z. Rajnai, ‘The Use of Advanced Manufacturing Technology to Reduce Product Cost’, **Acta Polytechnica Hungarica**, vol. 16, no. 7, pp. 115–131, 2019. **Scopus: 85073449565, WoS: 000484659400007**

### Csak hazai társszerzőkkel és nem elsőszerzőként

- [S11] A. Albini, D. Tokody, Z. Rajnai, ‘Theoretical Study of Cloud Technologies’, **Interdisciplinary Description of Complex Systems**, vol. 17, no. 3A, pp. 511-519, 2019. **WoS:000488259200011**
- [S12] R. Pető, D. Tokody, Building and operating a smart city, **Interdisciplinary Description of Complex Systems**, vol. 17, no. 3A pp. 476-484, 2019. **WoS: 000488259200006**
- [S13] A. Albini, D. Tokody, Z. Rajnai, ‘The Categorization and Information Technology Security of Automated Vehicles’, **Interdisciplinary Description of Complex Systems**, vol. 16, no. 3, pp. 327-332, 2018. **WoS:000454599400004**
- [S14] Z. Nyikes, T. Kovács, D. Tokody, ‘In situ testing of rail damages in accordance with Industry 4.0’, *Journal of Physics-Conference Series*, vol. 1045, pp. 1-6, 2018. **Scopus: 85051329487**
- [S15] J. Papp, D. Tokody, F. Flammini, ‘From traditional manufacturing and automation systems to holonic intelligent systems’, **Procedia Manufacturing**, vol. 22, pp. 931-935, 2018. **Scopus: 85049245493, WoS: 000456199200130**

- [S16] G. K. Kiss Leizer, D. Tokody, Radiofrequency Identification by using Drones in Railway Accidents and Disaster Situations, **Interdisciplinary Description of Complex Systems**, vol. 15, no. 2 pp. 114-132, 2017. **WoS: 000410146800001**

### **Nemzetközi szakfolyóiratban megjelent tudományos folyóiratcikk**

- [S17] D. Tokody, P. Holicza, M. Tor, 'Der Weg zur digitalen Bahn: Forschung, Entwicklung und Innovation für ein Verkehrssystem von morgen', **Internationales Verkehrswesen: Fachzeitschrift für Wissenschaft und Praxis**, vol. 70, no. 3, pp. 65–67, 2018.
- [S18] D. Tokody, F. Flammini, 'The Intelligent Railway System Theory', **Internationales Verkehrswesen: Fachzeitschrift für Wissenschaft und Praxis**, vol. 69, no. 1, pp. 38–40, 2017.
- [S19] D. Tokody, G. Schuster, 'Driving Forces Behind Smart City Implementations - The Next Smart Revolution', **Journal of Emerging Research and Solutions in ICT**, vol. 1, no. 2, pp. 1–16, 2016.

### **Hazai kiadású szakfolyóiratban magyar nyelven megjelent tudományos folyóiratcikk**

- [S20] D. Tokody, 'Okos, Fenntartható és Biztonságos Városok', **Köztes-Európa Társadalomtudományi Folyóirat: A VIKEK Közleményei**, vol. 9, no. 1–2, pp. 73–81, 2017.
- [S21] D. Tokody, J. I. Mezei, G. Schuster, 'Autonóm intelligens járművek helyzete Európában', **Köztes Európa: Társadalomtudományi Folyóirat: A VIKEK Közleményei**, vol. 8, no. 1-2, pp. 199-206, 2016.
- [S22] D. Tokody, A. Albini, L. Ady, Z. M. Temesvári, and Z. Rajnai, 'Kiberbiztonság az autópárhuzamban', **Bánki Közlemények**, vol. 1, no. 3, pp. 71–77, 2018.
- [S23] D. Tokody, 'Az okos városok létrehozásának mozgatórugói és lehetőségei', **Lépések: A Fenntarthatóság Felé**, vol. 22, no. 2, pp. 13-15, 2017.
- [S24] D. Tokodi, G. Schuster, J. Ihász, 'SMART Rail technológiák lehetőségei, az intelligens vasúti hálózatok kialakításának kérdései: Kezdeti gondolatok', **Vezetékek Világa - Magyar Vasútechnikai Szemle**, vol. 19, no. 2, pp. 11–15, 2014.

### **Csak hazai társszerzőkkel és nem elsőszerzőként**

- [S25] L. Ady, D. Tokody, 'Komplex rendszerek kommunikációjának hatásai és tervezési irányelvei', **Repüléstudományi Közlemények**, vol. 31, no. 2, pp. 57-66, 2019.
- [S26] A. Szabó, J. Papp, D. Tokody, 'A biztonsági szolgálat őrészvédelmi oktatása a MÁV Zrt.-nél', **Műszaki Katonai Közlöny**, vol. 28, no. 4, p. 111-122, 2018.
- [S27] G. Schuster, G. Terpez, D. Tokody, 'Szoftver Megbízhatóság', **Repüléstudományi Közlemények**, vol. 28. no. 2, pp. 33-39, 2016.

### **Könyvrészlet**

- [S28] D. Tokody, J. Papp, L. B. Iantovics, F. Flammini, 'Complex, Resilient and Smart Systems', in **Resilience of Cyber-Physical Systems**, F. Flammini, Ed. Springer International Publishing, 2019, pp. 3–24.
- [S29] D. Tokody, D. Maros, G. Schuster, Z. Tiszavölgyi, 'Communication-based Intelligent Railway - Implementation of GSM-R System in Hungary', in SAMI 2016 - IEEE 14th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics - Proceedings, 2016, pp. 99–104. **Scopus: 84964597602, WoS: 000381795100016**
- [S30] D. Tokody, 'Okos városok tervezése', in **A Magyar Tudomány Napja a Délvidéken 2017 - Migráció, környezetvédelem - társadalom és természet**, Újvidék: Vajdasági Magyar Tudományos Társaság, 2017, pp. 437–444.

### **Csak hazai társszerzőkkel és nem elsőszerzőként**

- [S31] P. Holicza, D. Tokody, J. Papp, 'A kommunikációs és digitális felügyeleti rendszerek szükségessége a veszélyes áruk biztonságos vasúti szállításához', in **Vállalkozásfejlesztés a XXI.**

században 2019/2 kötet Kihívások a marketing és a menedzsment területén a XXI. században, Óbudai Egyetem, 2019, pp. 38–45.

- [S32] M. Tor, P. Holicza, D. Tokody, 'Európai Vasúti Kutatás, Fejlesztés és Innováció', in **Folyamat - Kapcsolat - Menedzsment : PRM: Process Relationship Management**, Szent István Egyetem Egyetemi Kiadó, 2019, pp. 166–173.
- [S33] A. Albini, D. Tokody, J. Papp, 'IT-infrastruktúra informatikai biztonsági aspektusai', in **Kiberbiztonság - Cyber Security: Tanulmánykötet a Biztonságtudományi Doktori Iskola kutatásaiból**, Z. Rajnai, Ed. Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 2018, pp. 127–140.
- [S34] A. Albini, D. Tokody, Z. Rajnai, 'The categorization and IT security of automated vehicles', in **Kiberbiztonság - Cyber Security: Tanulmánykötet a Biztonságtudományi Doktori Iskola kutatásaiból**, Z. Rajnai, Ed. Óbudai Egyetem, Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, 2018, pp. 229–235.
- [S35] P. Holicza, D. Tokody, J. Papp, 'Európa Súlyos Vonatbalesetei: A Leggyakoribb Kiváltó Okok', in **Vállalkozásfejlesztés a XXI. században VIII./1.: Integrált vállalkozásfejlesztési megoldások**, Á. Csiszárík-Kocsir and M. Garai-Fodor, Szerk. Óbudai Egyetem, Keleti Károly Gazdasági Kar, 2018, pp. 116–123.
- [S36] T. Kovács, Z. Nyikes, D. Tokody, 'Komplex monitoring-rendszer használata vasúti felépítmény vizsgálatában az Ipar 4.0-hoz', **Műszaki tudományos közlemények 6.**, pp. 151–162, 2017.

#### **Konferenciaközlemény folyóiratban vagy konferenciakötetben**

- [S37] D. Tokody, I. J. Mezei, 'Creating smart, sustainable and safe cities', in **2017 IEEE 15th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)**, 2017, pp. 000141–000146. **Scopus: 85040197537, WoS: 000427311500025**
- [S38] D. Tokody, 'Vasúti kutatások az európai vasúti ágazat versenyképessége', in **Műszaki Tudományos Közlemények 7. A XXII. Fial Műszakiak Tudományos Ülésszak**, 2017, pp. 375–378.
- [S39] D. Tokody, G. Schuster, P. Holicza, 'Development of the Infocommunication System for the Intelligent Rail Transport System of Dangerous Goods in', in **International Conference on Applied Internet and Information Technologies**, 2016, pp. 321–332.
- [S40] D. Tokody, P. Holicza, G. Schuster, 'The smart mobility aspects of intelligent railway', in **SACI 2016 - 11th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics**, Proceedings, 2016, pp. 323–326. **Scopus: 84981320767, WoS: 000387119900058**
- [S41] Tokody D., 'Okos mobilitás', in **Műszaki Tudományos Közlemények 5. A XXI. Fial Műszakiak Tudományos Ülésszak Előadásai**, 2016, pp. 401–404.
- [S42] D. Tokodi, G. Schuster, J. Papp, 'The challenges of the intelligent railway network implementation', in **3rd International Conference and Workshop Mechatronics in Practice and Education - MECHEdu 2015.**, 2015, pp. 179–185.
- [S43] D. Tokody, G. Schuster, J. Papp, 'Smart City, Smart Infrastructure, Smart Railway', in **International Conference on Applied Internet and Information Technologies: ICAIIT 2015**, 2015, pp. 231–258.
- [S44] D. Tokody, J. Papp, G. Schuster, 'Az intelligens vasúti rendszer megvalósításának elméleti és technológiai háttere', in **Tanulmánykötet a 6. Báthory - Brassai nemzetközi konferencia előadásaiból**, Budapest, 2015, pp. 335–348.
- [S45] D. Tokody, G. Schuster, 'I2 - Intelligent Infrastructure', in **Fifth International Scientific Videoconference of Scientists and PhD. students or candidates**, 2015, pp. 121–128.
- [S46] D. Tokody, G. Schuster, J. Papp, 'Study of how to implement an intelligent railway system in Hungary', in **2015 IEEE 13th International Symposium on Intelligent Systems and Informatics (SISY)**, 2015. **WoS: 000376677600037**
- [S47] D. Tokody, G. Schuster, 'ITS (Intelligent Transportation Systems) szerepe a vasúti kritikus infrastruktúra védelmében', in **IESB 2014: Nemzetközi Gépész és Biztonságtechnikai Szimpózium**, 2014.

- [S48] D. Tokody, 'Az IIVR projekt: integrált intelligens vasútfelügyeleti rendszer kifejlesztése', in **Okos Közlekedési Tudományos Konferencia 2019.**, Doktoranduszok Országos Szövetsége Műszaki Tudományok Osztály, 2017, p. 19.

### **További tudományos művek**

#### **Hazai kiadású szakfolyóiratban idegen nyelven megjelent tudományos folyóiratcikk, csak hazai társszerzőkkel és nem elsőszerzőként**

- [S49] P. Holicza, D. Tokody, 'Field of Challenges: A Critical Analysis of the Hungarian SME Sector within the European Economy' **Hadmérnök**, vol. 11, no. 3 pp. 110-120. , 11 p. (2016)

### **Könyvek szerkesztőként**

- [S50] D. Tokody (szerk.), E. Balla, Esztella (szerk.), K. Németh (szerk.), **Okos Közlekedési Tudományos Konferencia 2019.: Absztraktkötet.** Doktoranduszok Országos Szövetsége Műszaki Tudományok Osztály, 2019. 19 p. ISBN: 9786155586385
- [S51] D. Tokody (szerk.), N. Tokodyné, Szabadi (szerk.), Z. Tokodi(szerk.), **European Smart, Sustainable and Safe Cities Conference 2019 Abstract Book**, Budapest, Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2019. 32 p. ISBN: 9786155586354
- [S52] D. Tokody (szerk.), N. Tokodyné, Szabadi (szerk.), **Smart, Sustainable and Safe Cities Conference 2018 Abstract Book**, Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2018. 40 p. ISBN: 9786155586279
- [S53] G. Keresztes (szerk.), Zs. Kohus (szerk.), K. P. Szabó (szerk.), D. Tokody (szerk.), **Tavaszi Szél Konferencia 2017: Nemzetközi Multidiszciplináris Konferencia: Absztraktkötet**, Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2017. 477 p. ISBN: 9786155586149
- [S54] D. Tokody (szerk.), G. Sopková (szerk.), **Smart City Konferencia 2017 Absztraktkötet: Smart City 2017 Conference Abstract Book**, Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2017. 38 p. ISBN: 9786155586101

## MELLÉKLETEK

### 1. MELLÉKLET - ÁBRÁK JEGYZÉKE

- 1.1.1. ábra. Az „intelligens vasúttal” kapcsolatos szabadalmak számának éves megoszlása
- 1.2.1. ábra. Az ember által elkövetett cselekvési hiba hatásmechanizmusa
- 1.2.2. ábra. Reason-féle „Svájci sajt modell” a balesetek bekövetkezésének vizsgálatára
- 1.2.3. ábra. A biztonság értelmezési módjai vasúti rendszerben alkalmazott biztonságkritikus rendszer esetében
- 1.3.1. ábra. A kutatásom körfolyamata
- 1.10.1. ábra. A disszertáció megírása és az IIVR projekt során általam alkalmazott hélix szerű irodalomkutatás módszertana
- 1.10.2. ábra. A tudományos problémamegoldás folyamata az IIVR K+F Projekt kapcsán
- 1.11.1. ábra. A disszertáció logikai felépítése
- 2.3.1. ábra. Magasszintű áttekintése a rugalmasság ontológiának
- 2.3.2. ábra. Műveletek sorozata a különféle intelligens rendszer modellek
- 2.3.3. ábra. Rendszer modell: az IBM antifragilis intelligens rendszert MAPE-K architektúrája
- 2.3.4. ábra. A kritikus infrastruktúra rugalmassági ciklusa
- 2.3.5. ábra. A műszaki rugalmasságot meghatározó összetevők és változók általános ábrázolása
- 2.4.1. ábra. A kritikus közlekedési infrastruktúrát befolyásoló főbb veszélyek
- 2.4.2. ábra. A kritikus infrastruktúra elemek védelmének menedzsmentje
- 2.4.3. ábra. A közlekedési szektor vasúti szállítás szempontjából meghatározó elemek
- 2.5.1. ábra. A digitális átalakulás integrált szakpolitikai és stratégiai keretrendszere a gazdasági növekedésért és a jóllétért
- 2.7.1. ábra. Az öt prioritási terület: az IKT-szabványosítás építőelemei
- 3.1.1. ábra. A rendszertechnika helye a kutatásban
- 3.5.1. ábra. Doménspecifikus baleset definíciók összefüggései
- 3.5.2. ábra. Jelentős vasúti balesetek Európában
- 3.5.3. ábra. 1997 és 2012 között vasúti átjáróban történt járműelütések személyi következményei a MÁV hálózaton
- 3.7.1. ábra. Biztosítóberendezések funkcionális modellje a vasúttechnika kézikönyv szerint
- 3.7.2. ábra. A biztosítóberendezési elrendezés vázlatok jelfogós biztosítóberendezés
- 3.7.3. ábra. Elektronikus biztosítóberendezés (Elektra2) rendszer architektúra
- 3.7.4. ábra. Eulynx által kidolgozott biztosítóberendezési referenciamodell
- 4.6.1. ábra. Funkcionális biztonsági szabványok
- 4.6.2. ábra. Rasmussen féle dinamikus biztonsági modell
- 4.6.4. ábra. Kiber-fizikai rendszeráltalános struktúrája
- 4.6.5. ábra. Az okos kiber-fizikai rendszer általános architektúrája
- 4.8.1. ábra. A Budapesti Központi Indóház (Dörre Tivadar rajza)
- 4.8.2. ábra. Budapest-Keleti Pályaudvar 2019-ben
- 4.8.3. ábra. LGS fájl megjelenítése Leica JetStream Viewer-rel
- 4.8.4. ábra. Budapest Keleti pályaudvar csarnok átnézeti alaprajz részlet - 2019.04.
- 4.8.5. ábra. Leica RTC360 3D lézer scanner
- 4.8.6. ábra. Budapest Keleti személypályaudvar villamos felsővezeték hálózatának megvalósulási terve – 1990.10 – részlet
- 4.8.7. ábra. Budapest Keleti személypályaudvar vasúti villamos felsővezeték hálózatának modellje
- 4.8.8. ábra. A vasúti villamos felsővezeték hálózat modelljének és a nagy felbontású valós képfelvételnek az összetett megjelenítése
- 4.8.9. ábra. Keresztmező csomópont
- 6.1.1. ábra. Boulding féle rendszerosztályozás

- 6.1.2. ábra Boulding féle rendszerosztályozás módosítása
- 6.1.3. ábra. Holonikus okos ágens működési architektúrája (saját ábra a [252] forrás felhasználásával)
- 6.1.4. ábra. Okos multi-ágens rendszer architektúrája (saját ábra)
- 6.1.5. ábra. Ad-hoc hálózatosodott okos multi-ágens rendszerek szociogramja (saját ábra) komplex rendszerek hálózatelmélete alapján elképzelve [253]
- 6.2.1. ábra. 5C tervezési architektúra okos kiber-fizikai rendszerekhez
- 6.2.2.1. ábra. Használhatósági tervezés folyamata (IEC 62366:2007, Fig. D.1)
- 6.2.1.1.1. ábra. Az MIQ három összetevőjének ábrázolása
- 6.3.1. ábra. Az emberi észlelés és az emberi szerű gépezékelés modellje
- 6.3.2. ábra. A négydimenziós intelligens kibertér, a Gépi Intelligencia Index vizualizációja
- 6.3.3. ábra. Hexeract (hatdimenziós hiperkocka) - Petrie polygon Orthographikus vetületei – az okos kibertér ábrázolása a hatodik dimenzióban

## 2. MELLÉKLET - TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

- 1.10.1. táblázat. A kutatás során választott kutatási módszerek
- 2.3.1. táblázat. A kritikus infrastruktúra elemek rugalmasságát meghatározó összetevők és változók. Műszaki és szervezeti aspektusból.
- 2.4.1. táblázat. A magyarországi vasúti pálya kritikus pontjai
- 3.4.1. táblázat. Az automatizáltság fokozatai földalatti vasúti rendszerek esetében az UITP szerint
- 3.5.1. táblázat. Hőnfutás miatt bekövetkezett balesetek a MÁV Zrt. hálózatán 2014-ig
- 3.5.2. táblázat. MÁV Zrt. közlekedésbiztonsági projektjei során a magyar vasúti rendszerbe illesztett új „intelligensnek” mondott elemek
- 3R1. táblázat. A GoA szintek infrastruktúrára való alkalmazása (nagy vasúti automatizációs szintek)
- 4.6.1. táblázat. Biztonság integritási szint
- 6.1. táblázat. Az okosság hányados származtatása a revízió alá vett MIQ-val
- 7.1.1. táblázat. Deduktív és induktív érvelés
- 7.4.1. táblázat. Az IntelliSys-R kiépítési változatai
- 7.2.1.1. táblázat. Tézisekhez kapcsolódó publikációim
- 7.2.1. táblázat. Téziscsoportok

### 3. MELLÉKLET - RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

3C	Együttműködés, kultúra, képességek	Collaboration, culture, capability
3D	Három dimenzió	Three dimensions
ÁME	Átjárhatósági műszaki előírások	Technical Specifications for Interoperability (TSI)
ATO	Automatikus vonat működés	Automatic train operation
ATP	Automatikus vonat védelem	Automatic train protection
CAD	Számítógéppel segített tervezés	Computer-aided design
CBTC	Kommunikáció alapú vonat irányítás	Communications-based train control
CPS	Kiber-fizikai rendszer	Cyber-physical systems
CCS	Ellenőrző és irányító rendszerek Hiba valószínűsége szerinti fejlesztést érintő biztosítási szint	Control Command and Signalling
DAL		Development Assurance Level
EGNOS	Európa globális navigációs műholdrendszer	European Global Navigation Satellite
EIB	Európai beruházási bank	European Investment Bank
EIRENE	Egységes európai vasúti integrált rádióhálózat	European Integrated Railway Radio Enhanced Network
ENE	vasúti energia alrendszer	Energy
EPCIP	Létfontosságú infrastruktúrák védelmére vonatkozó európai program	European Programme for Critical Infrastructure Protection
ERTMS	Egységes európai vasúti közlekedésirányítási rendszer	European Rail Traffic Management System
et al.	és egyéb	Et alias
ETCS	Európai egységes vonatbefolyásoló rendszer	European Train Control System
ETSI	Európai Távközlési Szabványosítási Intézet	European Telecommunications Standards Institute
FET	Felsővezetéki energia távvezérlés	-
GDP	Bruttó hazai termék/ Gazdaságfejlesztési és Innovációs Operatív Program	Gross Domestic Product Economic Development and Innovation Operational Programme
GINOP		
GSM-R	Sajátcélú vasúti GSM rendszer Globális helymeghatározást és a navigációt szolgáló rendszerek	Global System for Mobile Communications – Railway Global Navigational Satellite System
GSSN		
HETA	Helyi távműködtető berendezés	-
HVAC	Fűtés, szellőzés, légkondicionálás	Heating, Ventilation, Air Conditioning
HVM	Magas minőségű gyártási technológia	High Value Manufacturing
IBM	-	International Business Machines
ICAO	Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet	International Civil Aviation Organization
IEEE	vilamosmérnököket egyesítő nemzetközi szervezet	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IIVR	Integrált Intelligens Vasútfelügyeleti Rendszer kifejlesztése	-
IK	Kritikussági fok	Overall criticality index
IKT/ICT	Információs és kommunikációs technológiák	Information and Communications Technology
INF	Infrastruktúra	Infrastructure
IoT	Dolgok, tárgyak internete	Internet of Things
IT	Informatika	Information technology
ITS	Intelligens közlekedési rendszerek	Intelligent Transportation System



K+F/ R&D	Kutatás és fejlesztés	Research and Development
K+F+I	Kutatás, fejlesztés és innováció	Research, Development and Innovation
KÖFE	Központi forgalomellenőrző berendezés	-
KÖFI	Forgalomirányító berendezés	-
LoA	Automatizációs szint	Levels of automation
LTE	Hosszútávú fejlődés	Long Term Evolution
M2M	Gép-gép kommunikáció	Machine-to-Machine communication
MAPE-K	Monitorozás, elemzés, tervezés, végrehajtás - tudásbázis	Monitor, Analyse, Planning and Execution - Knowledge
MÁV	Magyar Államvasutak Zrt.	Hungarian State Railways
MI/AI	Mesterséges intelligencia	Artificial Intelligence
MIQ	gépi intelligenciahányados	Machine Intelligence Quotient
MIT	Massachusettsi Műszaki Egyetem	Massachusetts Institute of Technology
MMK	Magyar Mérnöki Kamara	Hungarian Chamber of Engineers
NKH	Nemzeti Közlekedési Hatóság	The National Transport Authority
OECD	Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet	Organisation for Economic Co-operation and Development
OKJ	Országos Képzési Jegyzék	-
OPE	Forgalomüzemeltetés és - irányítás	Operation and traffic management
OVSZ	Országos Vasúti Szabályzat	-
PDCA	Tervezés, cselekvés, ellenőrzés, beavatkozás	Plan-Do-Check-Act
QM	Minőség ellenőrzés	Quality Management
RFID	Rádiófrekvenciás azonosítás	Radio Frequency Identification
RIS	Folyami forgalmi információs rendszer	River Information Services - traffic management infrastructure on the inland waterway network
SafeSeaNet	Tengeri forgalmi információs rendszer	Vessel Traffic Monitoring System
SCADA	Ipari felügyeleti és vezérlő rendszer	Supervisory Control and Data Acquisition
S-CPS	Okos kiber-fizikai rendszer	Smart cyber-physical systems
SESAR		The Single European Sky Air Traffic Management Research
SIL/ ASIL	Biztonság integritási szint	Safety Integrity Level/ Automotive Safety Integrity Level
TRL	Technológiai készültségi fok	Technology Readiness Levels
UIC	Vasutak nemzetközi szövetsége	Union Internationale des Chemins de fer
UITP	Nemzetközi tömegközlekedési szövetség	Union Internationale des Transports Publics
UKCIP	Az Egyesült Királyság éghajlati hatásainak programja	UK climate impacts programme
US	Egyesült Államok	United States
UTO	Vezető nélküli üzem	Unattended Train Operation
VPE	Vasúti Pályakapacitás-elosztó	-
VPR	Videós pályafelügyeleti rendszer	Video Inspection System
WAG, LOC, PAS	Vasúti járművek	Rolling stock
WLAN	Vezetéknélküli helyi hálózat	Wireless Local Area Network