

PH.D. ÉRTEKEZÉS

**REPÜLESBIZTONSÁGI SZINT ALAPÚ ELJÁRÁS-
BEFOLYÁSOLÁS A POLGÁRI CÉLÚ LÉGIKÖZLEKEDÉSBEN**

**– AZ AIRSIDE, PRE-TAKE-OFF OBJEKTUM- ÉS FOLYAMATCSOPORT
BIZTONSÁGINTEGRITÁSA –**

MEYER DÓRA ZSÓFIA

2015

**BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
KANDÓ KÁLMÁN KÖZLEKEDÉSTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

PH.D. ÉRTEKEZÉS

**REPÜLÉSBIZTONSÁGI SZINT ALAPÚ ELJÁRÁS-
BEFOLYÁSOLÁS A POLGÁRI CÉLÚ LÉGIKÖZLEKEDÉSBEN**

**– AZ AIRSIDE, PRE-TAKE-OFF OBJEKTUM- ÉS FOLYAMATCSOPORT
BIZTONSÁGINTEGRITÁSA –**

MEYER DÓRA ZSÓFIA

OKLEVELES KÖZLEKEDÉSMÉRNÖK

TÉMAVEZETŐ:

DR. HABIL. TARNAI GÉZA

PROF. EMERITUS

BUDAPEST

2015

NYILATKOZAT

Alulírott Meyer Dóra Zsófia kijelentem, hogy ezt a doktori értekezést magam készítettem és abban csak a megadott forrásokat használtam fel. Minden olyan részt, amelyet szó szerint vagy azonos tartalomban, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával jelöltem.

Budapest, 2015. június 7.

Aláírás

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Hálámat fejezem ki Isten felé, Aki minden tudás és bölcsesség ismerője, minden jó célra vezető erő és eredmény forrása!

Köszönetemet fejezem ki Szeretteim felé, akik robusztus hittel támogattak munkámban! Nélkülük egészen biztosan nem jutottam volna el ezen sorok megírásához!

Köszönöm Dr. Tarnai Géza Tanár Úr rendkívüli átadott elméleti és gyakorlati tudását és tapasztalatait, állhatatos munkáját, lendületét, intelligens problémakezelését, végtelen, szeretetteljes türelmét, precizitását, az életem iránti tiszteletet, mindezekkel mindvégig erősített és mellettem állt!

Köszönöm Tanszékünk vezetőségének azt a légkört és azokat a kereteket, amelyet megteremtettek ahhoz, hogy lendületünket fenntartsuk, a tudást mindinkább birtokolhassuk és személyes munkánkkal egészen újszerűvé és egyedivé tehesük.

Köszönöm jelenlegi és egykori egyetemi Kollégáim pótolhatatlan pártfogását!

Köszönöm az MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutatóintézetben dolgozó Kollégáimmal való konzultációkat!

Köszönöm azokat a külső szakmai konzultációkat, amelyek a gyakorlati szempontok szerinti kidolgozást kivételessé tették.

Végül köszönöm mindazok segítségét, akik az évek folyamán bármilyen segítséggel mellettem álltak!

SZAKMAI KONZULTÁCIÓK (2007-2015)

ARADI SZILÁRD, hibafa felvétele

DR. BAUER PÉTER, fuzzy logika
problematikára való alkalmazása

DR. BÉCSI TAMÁS, hibafa szcenárió-
analízise

DR. BEDE ZSUZSANNA, fuzzy logika
adott problematikára való alkalmazása

DR. BOKOR JÓZSEF, fuzzy logika adott
problematikára való alkalmazása

DR. GÁSPÁR PÉTER, rendszer hiba- és
zavarás-tűrésének kérdései, Fault Tolerant
Control rendszer alkalmazhatósága, felvétele

DR. HARMATI ISTVÁN, fuzzy logika
adott problematikára való alkalmazása

DR. IZSÓ LAJOS, hibás emberi cselekvés
megfigyelése a légitölekedésben, az emberi
teljesítőképesség és a stressz összefüggései

DR. MÉRŐ LÁSZLÓ, hibás emberi
cselekvés megfigyelésének és
számszerűsítésének lehetőségei

DR. SÁGHI BALÁZS, légitölekedési
megbízhatósági rendszermodell felvétele,
vasúti alkalmazásokkal való összevetése

DR. VARGA ISTVÁN, modellezési
lehetőségek, trajektória-előrebecslés
alkalmazása

DR. SZABÓ GÉZA, hibafa elemzés
megfelelősége az adott problematikára
vonatkozóan

DRASCHITZ GÁBOR, polgári
légitölekedés gyakorlata, hibafa felvétele

KÖRMENDY GÁBOR, polgári
légitölekedés gyakorlata, hibafa felvétele

MUDRA ISTVÁN, polgári légitölekedés
gyakorlata, hazai és nemzetközi vonatkozó
jogszabályi környezet

SESZTAKOV VIKTOR, hibás emberi
cselekvés megfigyelése és kezelése a közúti
közlekedésben

TÓTH GÁBOR, polgári légitölekedés
gyakorlata, hibafa felvétele

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|--|-----------|
| KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS | 4 |
| SZAKMAI KONZULTÁCIÓK (2007-2015) | 5 |
| AKRONIM- ÉS RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK | 8 |
| BEVEZETÉS, PROBLÉMAFELVETÉS | 12 |
| 1 RENDSZERFELMÉRÉS | 16 |
| 1.1 BIZTONSÁGIGAZOLÁS A POLGÁRI CÉLÚ LÉGIKÖZLEKEDÉS REPÜLŐTEREIN | 18 |
| 1.2 BIZTONSÁGIGAZOLÁS A LÉGIFORGALMI IRÁNYÍTÁSÁBAN | 19 |
| 1.3 A POLGÁRI CÉLÚ LÉGIKÖZLEKEDÉS LÉGIJÁRMŰVEINEK BIZTONSÁGIGAZOLÁSA | 21 |
| 1.4 HAZAI GYAKORLAT | 22 |
| 2 A REPÜLSBIZTONSÁG PRE-AKTUÁLIS SZINTJÉNEK MEGHATÁROZÁSÁRA ÉS OPTIMALIZÁLÁSÁRA TERVEZETT VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS ALAPÚ INTEGRÁLT ELJÁRÁS-BEFOLYÁSOLÓ RENDSZER ELŐKÉSZÍTÉSE | 25 |
| 2.1 AZ INTEGRÁLT, KOMPLEX LÉGIKÖZLEKEDÉSI RENDSZERMODELL IDENTIFIKÁCIÓJA | 25 |
| 2.1.1 AZ ELMÉLETI RENDSZERSTRUKTÚRA | 27 |
| 2.1.2 FUNKCIÓTÉR | 30 |
| 2.1.2.1 A valós funkcióter megbízhatósági modellje | 33 |
| 2.1.2.1.1 Földi kiszolgálási folyamatok a forgalmi előtéren | 34 |
| 2.1.2.1.2 Forgalmi előtér (APR, apron, α_1) | 36 |
| 2.1.2.1.3 Áttérés a forgalmi előtérről a gurulóútra (APR – TWY, α_2) | 37 |
| 2.1.2.1.4 Gurulóút (TWY, α_3) | 38 |
| 2.1.2.1.5 Áttérés a gurulóútról a futópályára (TWY – RWY, α_4) | 38 |
| 2.1.2.1.6 Futópálya (RWY, α_5) | 40 |
| 2.1.2.2 A modellbe képzett funkcióter szereplői és elemei | 44 |
| 2.2 RENDSZERBIZTONSÁGI MÓDSZERTANI ALAPOK | 48 |
| 2.2.1 VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS ÉS A BIZTONSÁGI SZINT MEGHATÁROZÁSA | 49 |
| 2.2.1.1 A veszély- és kockázatelemzés definitív meghatározása | 49 |
| 2.2.1.2 A rendszerbiztonság numerikus definiálása | 51 |
| 2.2.1.3 BME-módszer a biztonsági szint értékelésére | 52 |
| 2.2.2 FUZZY KÖVETKEZTETŐ LOGIKA | 53 |
| 2.2.2.1 A fuzzy logika rendszerbe illesztése | 53 |
| 2.2.2.2 A fuzzy következtető rendszer | 54 |
| 2.2.2.2.1 Az illeszkedési mérték meghatározása | 55 |
| 2.2.2.2.2 Következtetés | 56 |
| 2.2.2.2.3 Szabálybázis | 57 |
| 2.2.2.2.4 Defuzzifikáció | 57 |
| 2.3 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK | 59 |
| 3 A REPÜLSBIZTONSÁG PRE-AKTUÁLIS SZINTJÉNEK MEGHATÁROZÁSÁRA ÉS OPTIMALIZÁLÁSÁRA TERVEZETT VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS ALAPÚ INTEGRÁLT ELJÁRÁS-BEFOLYÁSOLÓ RENDSZER | 61 |
| 3.1 VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS | 62 |
| 3.1.1 A FUTÓPÁLYABALESET HIBAFÁJA | 62 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 3.1.1.1 | Modelltípus..... | 62 |
| 3.1.1.2 | Események | 62 |
| 3.1.1.3 | Hibafastruktúra | 65 |
| 3.1.2 | HIBAFÁ ANALÍZIS [Fus75], [OAH00], [RSM09],[Szabó08] | 65 |
| 3.1.3 | AZ ANALÍZIS EREDMÉNYEI..... | 67 |
| 3.2 | FUZZY KÖVETKEZTETŐ RENDSZER A REPÜLÉSBIZTONSÁGI SZINT MEGHATÁROZÁSÁRA | 74 |
| 3.2.1 | FUZZY PREDIKTÍV ALARP KÖVETKEZTETŐ RENDSZER A REPÜLÉSBIZTONSÁGI SZINT MONITOROZÁSÁRA | 74 |
| 3.2.1.1 | Antecedensek..... | 75 |
| 3.2.1.1.1. | A meteorológiai paraméterek tagsági függvényei..... | 79 |
| 3.2.1.1.2 | A műszaki paraméterek tagsági függvényei | 79 |
| 3.2.1.1.3 | Az üzemi paraméterek tagsági függvényei..... | 80 |
| 3.2.1.1.4 | A humán paraméterek tagsági függvényei | 80 |
| 3.2.1.2 | Implikáció..... | 81 |
| 3.2.2 | A FISPALARPFULL KÖVETKEZTETÉSI RENDSZER ÉS A RENDSZEREN VÉGZETT SZIMULÁCIÓK..... | 85 |
| 3.2.2.1 | A FISPALARPfull FIS jellemzői | 85 |
| 3.2.2.2 | Szimuláció és validáció..... | 87 |
| 3.3 | HIERARCHIKUS FUZZY PREDIKTÍV RENDSZER MODELL A REPÜLÉSBIZTONSÁGI SZINT ALAPÚ DÖNTÉSHOZATALRA ÉS ELJÁRÁS-BEFOLYÁSOLÁSRA..... | 88 |
| 3.3.1 | A hierarchikus felépítésű fuzzy repülésbiztonsági modell..... | 88 |
| 3.3.2 | Szimuláció..... | 95 |
| 3.3.2.1 | A kockázatterjedés vizsgálata..... | 95 |
| 3.3.2.2 | Repülésbiztonsági szint alapú eljárás-befolyásolás..... | 97 |
| 3.3.3 | Javaslatok, várható eredmények, fejlesztési irányok | 100 |
| 3.4 | ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK..... | 102 |
| | ÖSSZEFOGLALÁS | 107 |
| | ÁBRAJEGYZÉK..... | 109 |
| | TÁBLÁZATJEGYZÉK | 111 |
| | FORRÁSJEGYZÉK..... | 112 |
| | FÜGGELÉK | 119 |

AKRONIM- ÉS RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

| | | |
|-------------|--|---|
| ACC | Area Control Center | Körzeti Irányító Központ |
| ACN | Aircraft Classification Number | Légijármű besorolási száma |
| AD | Aerodrome | Repülőtér |
| ADA | Advisory Area | Tanácsadó Légtér |
| ADREP | Accident/Incident Reporting | Baleset/esemény jelentés |
| AFIL | Flight Plan Filed In The Air | Repülés közben leadott repülési terv |
| AFIS | Aerodrome Flight Information Service | Repülőtéri Repüléstájékoztató Szolgálat |
| AFTN | Aeronautical Fixed Telecommunication Network | Légiforgalmi Állandóhelyű Távközlési Hálózat |
| AIP | Aeronautical Information Publication | Légiközlekedési Tájékoztató Kiadvány |
| AIS | Aeronautical Information Service- | Légiforgalmi Tájékoztató Szolgálat |
| ALARP | As Low As Reasonably Practicable | Olyan alacsony, amely ésszerűen megvalósítható |
| ALMOS | ALMOS | Meteorológiai mérőhálózat BUD |
| AODB | Airport Operational Database | Repülőtérüzemeltetési adatbázis |
| APP | Approach Control | Bevezető irányítás |
| ASDA | Accelerate Stop Distance Available | gyorsításra-megállásra rendelkezésre álló távolság |
| A-SMGCS | Advanced Surface Movement Guidance System | Fejlett Földfelszíni Mozgásokat Ellenőrző és Irányító Rendszer |
| ASMS | Aerodrome Safety Management System | Repülőtéri repülésbiztonság-irányítási rendszer |
| ATC | Air Traffic Control | Légiforgalmi Irányító Szolgálat |
| ATM | Air Traffic Management | Légiforgalmi Menedzsment |
| ATS | Air Traffic Services | Légiforgalmi Szolgálatok |
| CDC | Clearance Delivery Controller | (Végső)engedélyeket kiadó légiforgalmi irányító (TWR) |
| CFIT | Controlled Flight Into Terrain | Irányított földnek ütközés |
| DGPS | Differential GPS | Differenciál GPS |
| DGR | Dangerous Goods Regulation | Veszélyes áruk szállításának szabályzata |
| DH | Decision Height | Elhatározási magasság |
| DME | Distance Measuring Equipment | Ferdetávolság – mérő berendezés |
| EATMN | European Air Traffic Management Network | Európai Légiforgalmi Menedzsment Hálózat |
| EC | Eurocontrol, European Organization for the Safety of Air Transport | Európai Szervezet a Légiközlekedés Biztonságáért |
| ECAC | European Civil Aviation Conference | Európai Polgári Repülési Konferencia |
| EN | Européen Norme | Európai Szabvány |
| ESARR | Eurocontrol Safety Regulatory Requirement | Eurocontrol biztonságsszabályozási követelmények |
| ESIMS | ESARR Implementation Monitoring And Support | Az ESARR-ok implementációjának és felügyeletének támogatása |
| ESP | European Safety Program | Európai Biztonsági Program |
| EUROCONTROL | EUROCONTROL Safety, Quality Management And Standardisation Unit | EC biztonsági, minőségmenedzsment és szabványokért felelős részlege |
| SQS | Functional Hazard Assessment | Funkcionális veszélyelemzés |
| FHA | Functional Hazard Assessment | Funkcionális veszélyelemzés |
| FIS | Fuzzy Inference System | Fuzzy következtető rendszer |

| | | |
|-----------|---|---|
| FL | Flight Level | Repülési szint |
| FM | Frequency Modulation | Frekvencia moduláció |
| FMCMDM | Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making | multikritériumos fuzzy döntéshozatal |
| FMEA | Failure Mode and Effect Analysis | Hibamód és – hatáselemzés |
| FMECA | Failure mode, effects and criticality analysis | Hibamód, -hatás és kritikusság elemzés |
| FMS | Flight Management System | Fedélzeti számítógépes rendszer |
| FOD | Foreign Object Damage | Idegen tárgy okozta veszély |
| FTA | Fault Tree Analysis | Hibafa elemzés |
| GPS | Global Positioning System | Globális Helymeghatározó Rendszer |
| GPWS | Ground Proximity Warning Systems | Veszélyes földközelség-jelző rendszer |
| HAZOP | Hazard and operability study | Veszély- és működőképesség elemzés |
| HERA | Human error in ATM | Emberi hiba a légiforgalmi menedzsmentben |
| HMI | Human machine interface | Ember gép felület |
| IATA | International Air Transport Association | Nemzetközi Légiközlekedési Társulás |
| ICAO | International Civil Aviation Organisation | Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet |
| IEC | International Electrotechnical Commission | Nemzetközi Elektrotechnikai Bizottság |
| IFR | Instrument Flight Rules | Műszeres repülési szabályok |
| ILS | Instrument Landing System | Műszeres leszállító rendszer |
| ILS-GS | ILS - Glide Slope | Siklópályaadó |
| ILS-LLZ | ILS – Localizer | Iránysávadó |
| IMC | Instrument Meteorological Conditions | Műszeres meteorológiai feltételek |
| JAR | Joint Aviation Requirements | Társult Légügyi Hatóságok |
| JAR-OPS | Joint Airworthiness Requirements Operations | Társult Légügyi Hatóságok Légügyi Követelményei |
| LDA | Landing Distance Available | Leszállásra rendelkezésre álló távolság |
| LVP | Low Visibility Procedures | Alacsony látásviszonyokhoz tartozó eljárások |
| MLS | Microwave Landing System | Mikrohullámú leszállító rendszer |
| NDB | Non- Directional Radio Bacon | Irányítatlan sugárzású rádió iránypadó |
| NOTAM | Notice To Airman | Feljegyzések (a változásokról) a repülést végzők számára |
| OCC | Operational Control Center | Működésfelügyeleti központ |
| PAPI | Precision Approach Path Indicator | Precíziós megközelítési pályajelző |
| PAR | Precision Approach Radar | Precíziós bevezető radar |
| PCN | Pavement Classification Number | Burkolat osztálybesorolási száma |
| PHA | Preliminary Hazard Analysis | Előzetes veszélyelemzés |
| PHI | Preliminary Hazard Identification | Előzetes veszély azonosítás |
| PSR | Primary Surveillance Radar | Elsődleges légtérellenőrző radar |
| PSSA | Preliminary System Safety Assessment | Előzetes rendszerbiztonsági értékelés |
| RADAR-SRE | Surveillance Radar Element Of Precision Approach Radar System | Légtér ellenőrző radar egység precíziós bevezető radar rendszer egysége |
| RADAR-SSR | Secondary Surveillance Radar | Másodlagos légtérellenőrző radar |
| RAMS | Reliability, Maintainability | Működőképesség, Karbantarthatóság |
| RPL | Repetitive flight plan | Ismétlődő repülési terv |
| RTCA | Radio Technical Commission For Aeronautics | A légiközlekedés rádiotechnikai bizottsága |
| RVR | Runway Visual Range | Futópályamenti látástávolság |
| RWY | Runway | Futópálya |

| | | |
|-------|---|---|
| SAM | Safety Assessment Methodology | Biztonságértékelési eljárás |
| SARPS | ICAO Standard And Recommended Practices | ICAO szabványok és ajánlott gyakorlatok |
| SHA | System Hazard Analysis | A rendszer veszélyelemzése |
| SIL | Safety Integrity Level | Biztonságintegritási szint |
| SMR | Surface Movement Radar | Gurítóradar |
| SRC | Safety Regulation Commission | Biztonságszabályozási Bizottság |
| SSA | System Safety Assessment | Rendszerbiztonsági értékelés |
| SSAP | European Strategic Safety Action Plan | Európai Biztonságstratégiai Cselekvési Terv |
| SSR | Secondary Surveillance Radar | Másodlagos légtérelenőrző radar |
| TCAS | Traffic Alert And Collision Avoidance System | Fedélzeti figyelmeztető és összeütközés megelőző rendszer |
| TLS | Target Level of Safety | A biztonság célértéke |
| TMA | Terminal Manoeuvring Area | Toronykörzeti légtér |
| TODA | Take-off Distance Available | Felzárásra rendelkezésre álló távolság |
| TORA | Take-off Run Available | Felzárási nekifutásra rendelkezésre álló távolság |
| TWL | Aerodrome Control Tower/Aerodrome Control | Repülőtéri légiforgalmi irányítás |
| TVOR | Terminal/ Test VOR (VHF Omnidirectional Radio) | Terminál VOR |
| TWR | Tower Control Unit | Toronyirányítás |
| TWY | Taxiway | Gurulót |
| UHF | Ultra High Frequency | Ultra magas frekvencia |
| USOAP | ICAO Universal Safety Oversight Audit Programme | ICAO általános biztonsági felügyeleti ellenőrző program |
| UTC | Coordinated Universal Time | Egyezményes koordinált világidő |
| VASIS | Visual Approach Slope Indicator System | Optikai siklópálya rendszer |
| VFR | Visual Flight Rules | Látvarepülési szabályok |
| VHF | Very High Frequency | Ultrarövidhullám |
| VDF | Radio Direction Finder | Iránymérő |
| VMC | Visual Meteorological Conditions | Látásos meteorológiai feltételek |
| VOR | VHF Omnidirectional Radio Range | Iránysáv Főantenna |
| VOT | VOR Airborne Equipment Test Facility | Fedélzeti VOR ellenőrzésére szolgáló berendezés |
| VSM | Vertical Separation Minima | Függőleges elkülönítési minimum |
| WGS84 | World Geodetic System | WGS84 vonatkoztatási rendszer |

BEVEZETÉS, PROBLÉMAFELVETÉS

BEVEZETÉS, PROBLÉMAFELVETÉS

A polgári légiközlekedés összetett, nagybonyolultságú biztonságkritikus rendszer. Biztonsági (aviation safety), biztonságigazolási szempontból hibridnek tekinthető, hiszen szabály alapú biztonságigazolást és valószínűségi alapú biztonságigazolási rendszerek sokaságát egyaránt tartalmazza a nagybiztonságú rendszerektől elvárt legmagasabb kritériumokat is teljesítve. A légiközlekedés, mint nagybiztonságú rendszer, önmaga is olyan nagybiztonságú alrendszerek összességéből áll, mint légiforgalmi irányítás, légijármű, repülőtér.

A polgári légiközlekedés repülésbiztonsága, annak elméleti háttere az 1950-es évektől kezdve napjainkig rendkívüli mértékű fejlődést mutat. Az ICAO a 2009. januárjától hatályos Biztonságmenedzsment Kézikönyvében (SMM, Safety Management Manual) alátámasztja, hogy a kezdetekben reaktív biztonságigazolási filozófiát felváltó proaktív elméletet napjainkban a prediktív megközelítésnek kell követnie. Más megközelítéssel pedig hangsúlyozza, hogy amíg az 1950-es években a biztonságigazolási kultúra a technikai elemek vizsgálatára szorítkozott, addig az 1970-es években az emberi tényezőt is magában foglaló biztonságigazolási rendszerek születtek, napjainkban pedig a szervezeti szintű, folyamatorientált kezelés válik szükségessé. [SMM13]

A polgári légiközlekedés szakaszai közül a futópálya és környezetének eseményei kiemelkedően kritikusak. A légiközlekedési katasztrófák 17%-a a felszállás és a kezdeti emelkedés fázisában történik, a végső megközelítés és a leszállás során további 51% a bekövetkezési arány. A rendkívül magas értékeket némileg enyhíti, hogy a halálozással végződő katasztrófák aránya ugyanezen fázispárokban sorrendben 22% és 18%. Mindemellett látványos, hogy az átlagosnak mondható, 1,5 órás utakat alapul véve ezen fázisok sorrendben a légiközlekedési cselekmény mindössze 2 és 4 %-át teszik ki. Látható tehát, hogy a futópálya és környezete kiemelten fontos területét kell, hogy képezze a repülésbiztonsági fejlesztéseknek. [Mud08], [Mey10a], [Mey10b]

A legújabb légiközlekedési forgalmi statisztikákon alapuló közép- és hosszútávú prognózisok szerint az elkövetkező évekre is Európa-szerte jellemző lesz a forgalmi értékek monoton növekvő jellege [EUC]. Ezáltal – többek között – a biztonsági felelősségű rendszerek fejlesztésének igénye is előtérbe kerül, ami a biztonságigazolással összefüggő feladatok számának növekedésével jár [SES]. Több légijármű és egyéb kiszolgáló jármű esetén a forgalmi helyzet, illetve az előkészítés fázisainak bármelyike a potenciális téves megítélés, vagy hibás műszaki beavatkozás tekintetében jóval sérülékenyebb. A forgalomnövekedéssel egyrészt az időegységre vonatkozó, egy főre eső feladatszám, illetve terhelési stressz-szint növekedhet, másrészt a térbeli konfliktuspontok kialakulásának száma [Deb06] is radikálisan emelkedhet. [ERG09] Mindezek látens, illetve direkt

hibaokat képezhetnek a légi járművek, forgalmi kiszolgáló eszközök, egyéb kiszolgáló létesítmények veszélyes megközelítési számának ugrásszerű növekedésével, vagy az előkészítés, illetve kivitelezés során fellelhető esetleges hibás emberi beavatkozás eseményvalószínűségének növekedésével. Egyre inkább sürgetővé válik tehát a biztonságkritikus gócpontok feltárása is és azok oly módon – akár az eljárások megváltoztatásával – való biztonságorientált racionalizálása, hogy a rendszer aktuális biztonsági szintje (ALS, Actual Level of Safety) a megnövekedett terhelés mellett is maradéktalanul teljesítse a vonatkozó előírásokat, biztonsági határértékeket (TLS, Target Levels of Safety). [Bro06], [MeyTS07a], ugyanakkor a rendszer túlbiztosítása több okból sem célszerű, így a rendszerbiztonságot egy előre definiált tartományban lenne kívánatos megtartani.

A kritikus rendszerek üzembe helyezése – így a légiközlekedési rendszereké is – hatósági engedélyezési eljáráshoz kötött. Az engedélyezési eljárás számára, a rendszer biztonsági megítéléséhez a gyártó vagy az üzemeltető biztonságigazolást kell, hogy készíttessen, be kell, hogy mutassa az alkalmazott (kockázat)becslési és fejlesztési technikákat, minden, a biztonságot befolyásoló szempontot és azok kezelését, beleértve a biztonságos üzemvitelre vonatkozó előírásokat is. [Tarn09a]

A biztonságigazolás érvelési rendszere inkább mérnöki megítélésen, mintsem szigorú formális logikán alapul, általában valószínűségi alapú kockázatbecsléssel támogatva. A biztonságigazolás azt dokumentálja, hogy a rendszerrel kapcsolatos kockázatokat gondosan figyelembe vették, és megfelelő intézkedéseket tettek a kockázatok kezelésére. [Tarn09a]

A légiközlekedésben jelenleg alkalmazott biztonságigazolási eljárások alapvető jellemzője, hogy feladatkör- vagy objektumorientáltak. A biztonságigazolási eljárások célobjektumai és a vonatkozó feladatkörök, valamint azok végrehajtói: a légi jármű és személyzete, a repülőtér és személyzete és a légi forgalmi irányítás és személyzete; mindhárom egység önálló, egymástól kvázi független, mégis egymás hatáskörébe érő, kiváló biztonságigazolási rendszerrel működik [IA1913], [SAE94], [SRC]. Ennek megfelelően a veszély-és kockázatelemzéssel vizsgált területek is az adott feladatkörhöz, vagy objektumhoz köthetőek.

További aspektus, hogy a polgári célú légiközlekedés biztonsági vonatkozású területeinek fejlődésében tapasztalható tendencia szerint a globális és komplex, szervezeti szintű folyamattervezés és az uniformizált eszközfelhasználások képezik a kutatás-fejlesztési projektek döntő hányadát. Ilyen komplex eljárás a több szervezet (például EASA, FAA, NASA, EUROCONTROL) által támogatott „gate to gate” koncepció, vagy a SESAR kezdeményezés, **amelyek azonban nem térnek ki a folyamatok biztonságigazolási kérdéseinek, pontos leírására** [IA1913], [SES].

Kérdés azonban, hogy **a prediktív, szervezeti szintű, folyamatorientált rendszerszemlélet biztonságigazolásának megvalósítása milyen eszközökkel történik** a jelenben és a tervezett eljárások esetében. Az aktuális stratégia ugyanis, bár tartalmaz például – a disszertációban szereplő eljárással rokon – visszacsatolásokkal működő eljárásra vonatkozó javaslatot, de a gyakorlati megvalósítással kapcsolatban nem foglal állást, illetve nem közöl ajánlást, a megvalósítás feladata minden tagállam sajátja.

Egy megelőzésre felépített, az airside, pre-take-off objektum- és folyamatcsoportot érintő repülésbiztonsági modell adaptálásával olyan megoldáshoz juthatunk, amely a veszély- és kockázati értékek pre-online megbecsülésével, eljárás-befolyásolással avatkozik be úgy, hogy a biztonságosnak tekinthető, de a túlméretezéseket kikerülő kockázati szintet permanensen fenntartja.

Az értekezés célja **annak bemutatása és igazolása, hogy**

- a mennyiségi veszély- és kockázatelemzés elidegeníthetetlen részét kell, hogy képezze a biztonságosan működő rendszernek a polgári célú légiközlekedés felszállást megelőző fázisaiban;
- a mennyiségi veszély- és kockázatelemzést jelen rendszerre vonatkozóan több aspektus alapján is új irányelvekkel és megközelítéssel szükséges elvégezni;
- az új irányelvekkel leírt és megvalósított megközelítés egyértelműen elősegíti a polgári célú légiközlekedés biztonságigazolási rendszerének fejlesztését.

Az értekezés tartalmazza annak igazolását, hogy **a feladat- és objektumorientált, szervezeti szintű repülésbiztonságigazolási eljárások alkalmazása mellett az integrált, folyamatorientált és formalizált, dinamikus beavatkozó, prediktív és járatszintű megközelítés igénye is erősen indokolt.**

Az értekezés bemutatja azt az eljárást, valamint annak elméleti eszközrendszerét, amellyel mindez megvalósítható, mindemellett ismerteti annak működését és hatásmechanizmusát is.

1. FEJEZET: RENDSZERFELMÉRÉS

1 RENDSZERFELMÉRÉS

A rendszerfelmérés során a vizsgált rendszer a disszertáció készültekor aktuálisnak vehető állapotát tanulmányozza, ahol a rendszerismereti anyag bázisát mindazon ajánlott szabványok és gyakorlatok képezik, amelyek a nemzetközi szerződésekben foglaltak szerint, a közösségi (Európai Unió) egyezmények alapján, valamint a nemzeti, tagállami szabályozási környezet szerint mérvadónak tekinthetők.

A repülés biztonságára vonatkozóan a jelenlegi biztonságigazolási rendszer alapjai az ICAO vonatkozó dokumentumaiban találhatóak meg, amelyekből elsősorban a következőket tekinthetjük mérvadónak:

- Annex 1 — Személyi alkalmasság (Personnel Licensing);
- Annex 6 — A légi jármű üzemeltetése, I. és III. rész, Nemzetközi kereskedelmi légiszállítás – Repülőgépek és Helikopterek (Operation of Aircraft, Part I — International Commercial Air Transport — Aeroplanes and Part III — International Operations — Helicopters).
- Annex 8 — A légi jármű légi alkalmassága (Airworthiness of Aircraft);
- Annex 11 — Légiforgalmi szolgálatok (Air Traffic Services)
- Annex 13 - Légi jármű balesetek és események kivizsgálása (Aircraft Accident and Incident Investigation)
- Annex 14 — Repülőterek: Repülőter tervezés és üzemeltetés (Aerodromes, Volume I — Aerodrome Design and Operation),
- Annex 19 — Safety Management, valamint
- az ICAO Biztonságmenedzsmenttel foglalkozó kézikönyve (ICAO Safety Management Manual (Doc 9859)
- ICAO Doc 9756
- ICAO Doc 9156

[IA106], [IA601], [IA1101], [IA1301], [IA1404], [IA1913], [SMM13], [Mud09]

Megjegyzendő ugyanakkor, hogy a későbbiekben definiált integrált rendszerszemlélet következtében egyik hatályos

ICAO annex sem hagyható figyelmen kívül.

Európai vonatkozásban az Európai Unió szabályozások: 94/56/EC, 2003/42/EC, 2096/2005/EC vannak érvényben. [DEC03], [CD94], [EC05], [Mud08]

Ezekon felül pedig a légitraffic szereplőire vonatkozó specifikumok, amelyeket az Annexekhez harmonizáltak és amelyek lényegi bemutatását az alábbiak és az alpontok tartalmazzák.

A légitrafficban – kisebb különbség az általános értelmezéshez képest – a repülés biztonságát érintő eseményeket összefoglalóan *Eseményeknek* neveznek, amelyet súlyosságuk szerint növekvő értelmezéssel rendre *Rendellenességnek*, *Repüléseseményeknek (Nem súlyos és Súlyos)*, végül *Balesetnek* neveznek, ezt a terminológiát és az értelmezését a historikus adatok értelmezésénél, valamint a rendszer állapotvizsgálata során figyelembe kell venni.

A repülőterekre és a légitraffic irányításra vonatkozó jelenlegi veszély- és kockázatelemzési rendszer az ICAO Biztonságmenedzsment rendszerének (SMS, Safety Management System) részét képezi [SMM13]. Az SMS a polgári légitrafficban alkalmazott komplex biztonságszabályozási – irányítási, ellenőrzési rendszer, amelyet az összes biztonsági kívánalomnak való megfelelés biztosítása, és a biztonsági rendszer adottságainak folyamatos továbbfejlesztése érdekében hoztak létre. Az SMS tehát egy olyan átfogó rendszer a légitrafficban, amely a térben vagy feladatkörben távolabb eső légitraffic szereplőket egy rendszerben kezeli, így alapjául szolgálhat egyrészt mint közös „nyelv” és eljárásrend akár a kontinensek közötti párbeszédnek, másrészt a repülőterek és légitraffic irányítás együttműködésének is. Egy jelenleg is dinamikusan fejlődő rendszerről van szó, amelynek része a kockázatelemzés és -kezelés, a biztonsági jelentőrendszer létrehozása, a biztonsági revízió és kiértékelés, a baleset és esemény jelentése és kivizsgálása. A rendszer tartalmazza a proaktív veszély- és kockázatkezelési egységet, amelyet a veszélyforrások proaktív azonosítása, a kockázatok meghatározása, kiértékelése, a biztonságkritikus folyamatokra méretezett irányítási rendszer bevezetése céljából hoztak létre, és amelynek következő lépcsőfoka a prediktív megközelítés bevezetése.

Kiemelendő, hogy az SMS nem tér ki a földi kiszolgálás biztonságirányítási rendszer szintű szabályozására.

A veszély- és kockázatelemzéssel kapcsolatos megkívánt határértékek megfelelnek a biztonságkritikus rendszerek esetében általánosan használatos határértékeknek. [Tarn09a] A polgári célú légitraffic légitrafficműveire vonatkozóan a fentiekől eltérő eljárások vannak érvényben, amelyek forrását az 1.3. fejezet ismerteti.

1.1 BIZTONSÁGIGAZOLÁS A POLGÁRI CÉLÚ LÉGIKÖZLEKEDÉS REPÜLŐTEREIN

A polgári célú légi közlekedés repülőterein alkalmazott biztonságigazolási rendszer a repülőtér alkalmassági igazolás (Airport Certification) részét, azon belül is más néven a repülőterekre vonatkozó SMS (ASMS, Airport Safety Management System) részét képezi; mindazon forrásokból táplálkozva, amelyeket az 1. fejezet ismertet. Az ASMS-ben megadott kockázatkezelési eljárás a kockázati tényezők azonosításával kezdődik, és az egész repülőterre, mint vállalatra vonatkoztatva értelmezi a rendszerhatárokat, ami az implementáció vonatkozásában diverzitások forrását képezi. *Kérdés, hogy ez a kockázati szint objektív megítélésének igénye mellett elfogadható-e.* Előkészítő tanulmányok és azok közlése szükséges a kockázatelemzési eljárás tanúsíthatósága érdekében. A kockázatértékelési eljárások vizsgálják a különböző veszélyeztetések hatásait és megjelenési gyakoriságukat, illetve becsült bekövetkezési valószínűségi értékeiket.

Ahol az audit során nem-megfelelőséget észlelnek, ott a kockázatértékelés újra elvégzésével újra besorolást, az alkalmazott eljárások megváltoztatását, rekonstruálását el kell végezni.

Ebből következően kijelenthető, hogy a kockázati besorolás megállapítása az audit eseményéhez köthető, ami által a jelenlegi biztonságigazolási rendszer statikus tulajdonságú és dinamikus, aktuál-repülésbiztonsági értéket nem közöl.

Az olyan veszélyforrásokról, amelyek bizonytalan kimenetelű eseményekhez vezethetnek, egy lista kell, hogy készüljön, amely tartalmazza a veszélyes kimeneti eshetőségeket és azok védelmi szükségleteinek felsorolását. A valószínűség becsült értéke az empirikus adatokon alapul, és azon, hogy a vállalat szempontjából milyen jelentőségű [SMM13], [MeyT09b].

Kijelenthető, hogy az objektív kockázati szint meghatározása kérdéses.

Mindemellett a kívánt biztonsági szint igazolása követelmény. Kérdés azonban az igazolás mikéntje. Amennyiben az aktuális és objektív kockázati szint megítélését célozzuk, a polgári célú légi közlekedés repülőterein alkalmazott kockázatelemzésben a megfelelően körülhatárolt információk igénye, az egyértelműség irányába való fejlesztés erősen indokolt. A fejlesztés eszközeinek többféleségét a következő fejezetek tartalmazzák.

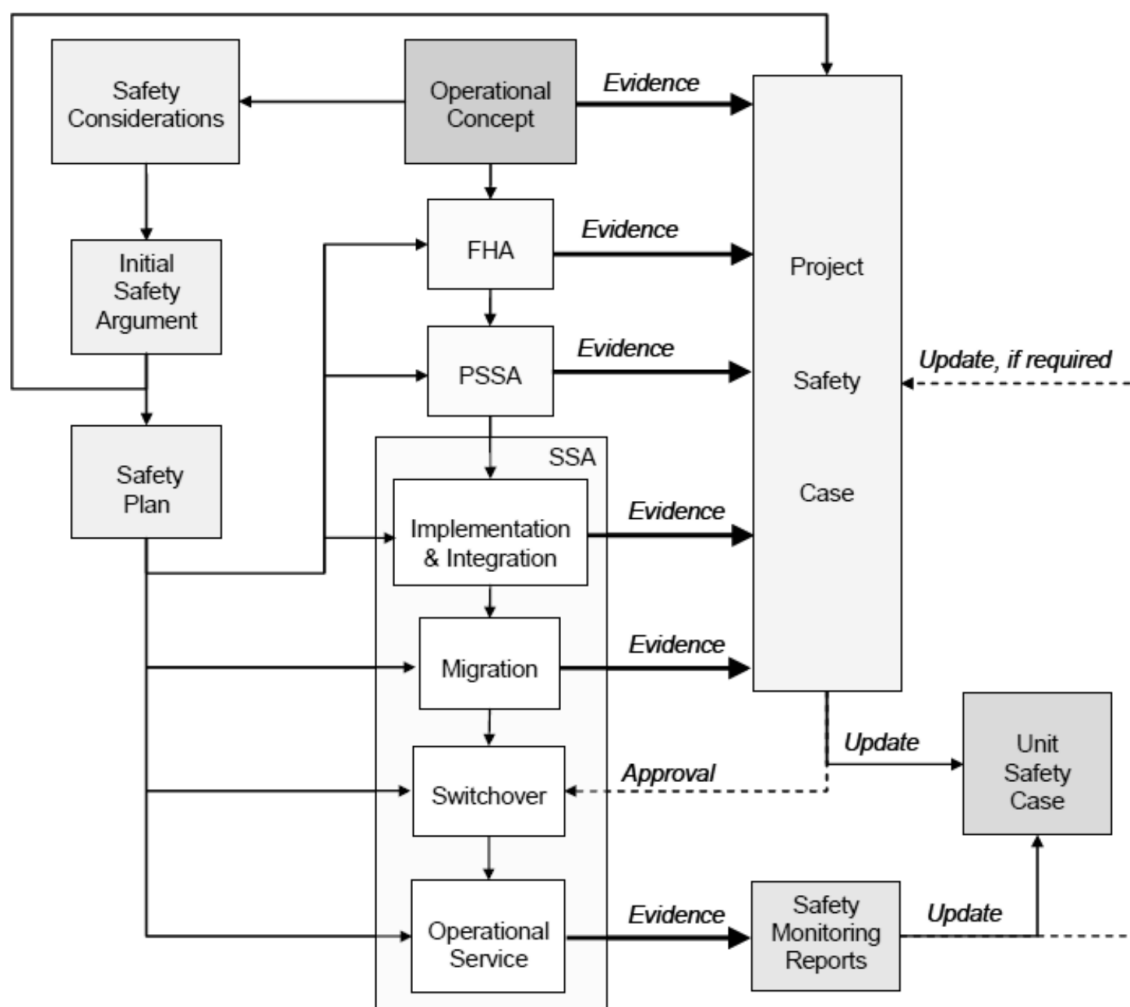
1.2 BIZTONSÁGIGAZOLÁS A LÉGIFORGALMI IRÁNYÍTÁSÁBAN

A Légitforgalmi Szolgálatok (Air Traffic Services, ATS) közül a Légitforgalmi Irányító Szolgálatok (Air Traffic Control, ATC) munkája, annak kockázatelemzése egységes rendszerben működik. Az ATC-n belül tehát a Körzeti Irányítás (Area Control Centre, ACC), a Bevezető Irányítás (Approach Control, APP), valamint Toronykörzeti Irányítás (Tower Control Unit, TWR) vonatkozásában nincsen megkülönböztetett eljárásrend. Ezek háttere hogy az EUROCONTROL SQS biztonságszabályozási követelményeket (ESARRs) dolgozott ki, amelyek a légiközlekedési irányítás biztonságigazolásának alapját képezik [ESARR2],[ESARR3], [ESARR4]. Megalkotta az azok implementációjához, monitorozásához és fenntartásához szükséges ESIMS rendszert SRC tervezéssel és SSAP támogatással, amelynek jelenlegi utóda az ESP. Cél, hogy az ICAO SARPS, és az USOAP , illetve az ECAC fejlesztésű stratégiák és eljárások, összehangolhatóak legyenek szabványok és ajánlott eljárások tekintetében [EUC]. Veszély- és kockázatelemzés vonatkozásában az ESARR 2-es, ESARR 3-as és az ESARR 4-es a mérvadó. A kockázati besorolásokat és eltűrhető határértékeket tekintve némi eltérés mutatkozik a repülőtereken használatosakhoz képest, de nagyságrendekkel nem tér el az általános nagybiztonságú rendszerek esetében megszokott előírásoktól [Tarn09a].

A veszély- és kockázatelemzés folyamatában jelentős különbség az általában a nagybiztonságú rendszerek esetében alkalmazott eljárásokhoz képest, hogy az emberi tényező az ATM különösen hangsúlyos területét képezi, amelyet HERA vagy HERA-JANUS módszerrel vesznek figyelembe. Ez utóbbi használatos Európán belül. [EUC03a], [EUC03b], [MeyT09b] Szembeötlő, hogy a kockázatelemzésben figyelembe vett tényezők a légitforgalmi irányítás esetében is statikus jellegűek, a kockázatelemzés is statikus tulajdonságú, továbbá, hogy az alkalmazott paraméterek sokasága a minél finomabb elemzés céljából tovább bővíthető.

A kérdés további aspektusa a kockázatelemzés veszély- és kockázatelemzési rendszerbe helyezése. Egy, az EUROCONTROL által alkalmazott biztonsági projekt folyamat egyszerűsített életciklus modelljét ismerteti az 1. ábra. A biztonsági projekt egy légiközlekedési rendszer kiépítésére, illetve fejlesztésére vonatkozhat. Ezen belül a veszély- és kockázatelemzés fő moduljaiként a következő biztonságértékelési módszerek tekinthetők: funkcionális veszélyelemzés, (Functional Hazard Assessment, FHA), előzetes rendszerbiztonsági értékelés (Preliminary System Safety Assessment, PSSA), valamint a rendszerbiztonsági értékelés (System Safety Assessment, SSA).

1. ábra: Projekt-biztonsági folyamat fejlesztésének lépései [EUC05]



Az FHA által meghatározott biztonsági követelményeket az iteratív jellegű PSSA-ba építve, kvalitatív és kvantitatív biztonsági követelmények segítségével alakul ki az SSA inputjaként az a protektív stratégia, amely átfogó rendszerértékelést ad. Mindezen lépések azonban a rendszer üzembe helyezését készítik elő, így nem az éles üzem során eredményeznek dinamikus kockázatértékelést, ebben az összefüggésben tehát az eljárás statikusnak tekinthető¹.

¹ Az ábra egyéb angol megnevezései:

Safety Considerations: biztonsági megfontolások

Initial Safety Argument: kezdeti biztonsági érv

Safety Plan: biztonsági terv

Operational Concept: üzemeltetési koncepció

Implementation & Integration: végrehajtás és integráció

Migration: migráció, Switchover: átkapcsolás

Operational Service: operatív szerviz/beavatkozás

Evidence: bizonyíték, Approval: jóváhagyás, Update: frissítés, Update if required: szükség esetén frissítés

Project Safety Case: projekt biztonságigazolása

Safety Monitoring Reports: biztonság-megfigyelési jelentések

Unit Safety Case: az egység biztonságigazolása

1.3 A POLGÁRI CÉLÚ LÉGIKÖZLEKEDÉS LÉGIJÁRMŰVEINEK BIZTONSÁGIGAZOLÁSA

A légijárművek biztonságigazolására vonatkozóan rendkívül összetett követelményrendszer van érvényben. Az üzemeltetés során a légialkalmasság megállapításában a JAR-OPS (Joint Airworthiness Requirements Operations, Társult Légügyi Hatóságok Légügyi Követelményei) rendelkezik, azon belül is a JAR/FAR 25.1309, valamint a Part145 mérvadó. A veszély- és kockázatelemzés témakörében a következő előírások hatályosak: RTCA DO-178, RTCA DO-254, SAE ARP4761, SAE ARP4754. [JAR07], [SAE94], [SAE95], [DO178],[DO254]

Az értekezés a légijárművet annak üzemére vonatkozóan tekinti a veszély- és kockázatelemzés tárgyának.

A karbantartás legelemibb szintje a felszállás előtti műszaki ellenőrzés, amelyet a startszerelői szolgálat és a légijármű parancsnoka végez el. A légijármű parancsnoka ezt követően átveszi a légijárművet, amely szintén egy szemrevételező ellenőrzéssel is jár. Ebbe beletartozik a légijármű körüljárása és a műszaki hibára utaló jelek felmérése. A légijármű felszállását megelőzi a felszállás előtti ellenőrző listán található elemek kontrollja is, amelyet a légijármű vezetői futtatnak végig. Ha mindezek közben bármi olyan jellemzőt találnak, amely a biztonságot veszélyeztetheti, akkor a légijármű nem szállhat fel.

A karbantartási szintet illetően a következő lépés az általában naponta vagy kétnaponta elvégezendő ellenőrzés, ami az alapvető rendszerek működőképességét vizsgálja. Ilyen például a pilótafülke műszereinek és visszajelző lámpáinak, a gumik állapotának, a kormánysszervek működésének ellenőrzése. A következő szinteken jellemző vizsgálatok általában repült órákhoz vagy naptári időhöz vannak kötve. Ezek angol elnevezése „A”, „B”, „C” illetve „D”-check. Az ismertetett karakterisztikák az illetékes hatóságok előírásaitól, a gyártó által megszabott előírásoktól, a légijármű típusától egyaránt függenek. [SG09], [WP09]

A kockázati szint alapú biztonság igazolása ugyanakkor ebben az esetben is statikus alapokon nyugszik, tehát nem található meg olyan aktív rendszer, ami adott légijármű esetében kockázatelemzést realizál.

1.4 HAZAI GYAKORLAT

A magyar légtér Budapest Repüléstájékoztató Körzet (Budapest Flight Information Region, Budapest FIR -, vagy LHCC FIR) az európai nemzetközi légiútvonalhálózat egyik nagyforgalmú területén helyezkedik el, ahol északnyugatról délkeletre tartó és ellenkező irányú forgalmas légiútvonalak keresztezik egymást. Ebből következően Budapest FIR a Nemzetközi Polgári Repülési Szervezet (International Civil Aviation Organization, ICAO) Európai és Észak-Atlanti Körzetén belül igen összetett és forgalmas légiforgalmi irányítói körzetnek számít. Budapest Légiforgalmi Irányító Központ működési területéhez Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér és Wien Schwechat, illetve Pozsony Nemzetközi Repülőtér forgalmának egy relatív csekély része egyaránt hozzátartozik. [Mey09a] Hazai tekintetben Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtér vonatkozásában - összhangban a nemzetközi előírásokkal - az alábbiakban foglaltak tekinthetők mérvadónak:

a légiközlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény (a továbbiakban: Lt.), a Nemzeti Közlekedési Hatóságról szóló 263/2006. (XII. 20.) Korm. rendelet (a továbbiakban: Korm. rend.), a légi közlekedésről szóló 1995. évi XCVII. törvény végrehajtásáról szóló 141/1995. (XI. 30.) Korm. rendelet (a továbbiakban: Vhr.).

A repülőterek és leszállóhelyek engedélyezésének hatósági eljárásait az Lt., Korm. Rend., valamint 159/2010. (V. 6.) Korm. rendelet, 24/1999. (VIII. 13.) KHVM rendelet szabályozza. A nemzetközivé nyilvánított kereskedelmi repülőtérrel, a légiközlekedés biztonságát érintő építményekkel kapcsolatos szakhatósági eljárásról Lt. és Korm. Rend. rendelkezik.

A vizsgált EATMN (European Air Traffic Management Network) rendszerelemek a következők:

1. Légtérgazdálkodási rendszerek és eljárások.
2. A légiforgalmi áramlás szervezésének rendszerei és eljárásai.
3. A légiforgalmi szolgálatok rendszerei és eljárásai, különösen a repülési adatokat feldolgozó rendszerek, a légtérelőirányítási adatokat feldolgozó rendszerek és az ember-gép interfészrendszerek.
4. Távközlési rendszerek és eljárások a földi, a fedélzet és a földi irányítás közötti, valamint a fedélzetek közötti kommunikációhoz.
5. Navigációs rendszerek és eljárások.
6. Légtérelőirányító rendszerek és eljárások.
7. A légiforgalmi tájékoztató szolgálatok rendszerei és eljárásai.
8. A meteorológiai adatok felhasználására szolgáló rendszerek és eljárások [EK04].

A hatósági eljárás tételesen a következő rendszerelemekre terjed ki: A léginavigációs szolgáltatók tanúsítása a Korm. rend., az 549/2004/EK rendelet, valamint a 1035/2011/EU rendelet iránymutatásai alapján valósul meg. Az irányítástechnikai berendezések és rendszerek, valamint rádiótávközlő berendezések kérelemre történő létesítésének, üzemben tartásának és időszakos felülvizsgálatának hatósági eljárásairól Lt. és Korm. rend., valamint 68/2011. (XI. 30.) NFM rendelet rendelkezik. A légi járműveket és felszereléseiket előállító, javító, ellenőrző és üzemben tartó üzemek alkalmasságának vizsgálata és engedélyezése, azon belül egyedi vizsgálat gyártó tevékenység esetében, a légi jármű üzemben tartása, légi jármű karbantartó szervezetek engedélyeztetése az Lt., Korm. rendelet, 216/2008/EK rendelet, 20/2002. (III. 30.) Kövim rendelet, 2042/2003/EK rendelet hatályos. A légi járművek földi és légi üzemeltetésével, minősítésével és engedélyezésével kapcsolatos hatósági eljárások, engedélyezések vonatkozásában, a típusalkalmassági vizsgálatra vonatkozóan Lt., Korm. Rend., 63/2001. (XII. 23.) KöViM rendelet, 216/2008/EK rendelet a szabályozó. A légi jármű légi alkalmasságának biztosítása, felülvizsgálata, bizonyítvány kiadása és az érvényességi idejének meghosszabbítása [3/2002]

Összefoglalva tehát, az 1. fejezetből látható, hogy a polgári légiközlekedésben alkalmazott biztonságigazolási eljárások középpontjában és hatókörében három fő egység áll: a repülőtér, a légiközlekedési irányítás és a légi jármű, mindhárom egység önálló veszély- és kockázatelemzési és biztonságigazolási rendszerrel rendelkezik, amely feladat-, illetve objektumorientált tulajdonságú, de természeténél fogva, indirekt módon hordoz kapcsolódási felületeket a társegységekkel. A három egység hatóköre tehát a vizsgált rendszer karakterisztikájából adódóan szükségszerűen átfedésben van egymással, de mint komplex nagybiztonságú rendszer, nem rendelkezik a három szereplőt együttesen kezelő biztonságigazolási eljárással. A fentiek okán növekvő forgalmi értékek esetén erősen aggályosnak prognosztizálhatóak a következők:

1. a három rendszer átfedésben levő feladatköreinek, illesztési felületeinek folyamatorientált, rendszerszintű, szisztematikus és dinamikus vizsgálatának hiánya;
2. a folyamatok komplexitás-felülvizsgálatának hiánya, aminek alapján az egyes elemek vagy szereplők feladatterhelése, az aktuális veszély- és kockázati szint számszerűsített értéke megkapható lenne;
3. a repülés és előkészítésével összefüggő folyamatok aktuális és globális veszély- és kockázatelemzésének hiánya.

Mіндеzen konklúziók alapján feltétlenül szükségesnek ítélem a következő fejezetekben bemutatott eljárás kidolgozását.

2.FEJEZET

A REPÜLESBIZTONSÁG PRE-AKTUÁLIS SZINTJÉNEK MEGHATÁROZÁSÁRA ÉS OPTIMALIZÁSÁRA TERVEZETT VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS ALAPÚ INTEGRÁLT ELJÁRÁS-BEFOLYÁSOLÓ RENDSZER ELŐKÉSZÍTÉSE

2 A REPÜLESBIZTONSÁG PRE-AKTUÁLIS SZINTJÉNEK MEGHATÁROZÁSÁRA ÉS OPTIMALIZÁLÁSÁRA TERVEZETT VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS ALAPÚ INTEGRÁLT ELJÁRÁS-BEFOLYÁSOLÓ RENDSZER ELŐKÉSZÍTÉSE

Az új határokkal értelmezett, integrált, dinamikus, járatszintű biztonságigazolási rendszer kiépítésének első lépéseként az értekezésben a biztonságkritikus cselekményt előkészítő objektumokat, folyamatokat integrálom, majd a kiterjesztett biztonsági határokkal értelmezett modellt terhelem, annak veszély- és kockázatelemzését készítem elő, amelynek az airside fizikai objektumai, pre-take-off járatelőkészítési cselekményhalmaz veszély- és kockázatelemzési koncepciója feleltethető meg.

2.1 AZ INTEGRÁLT, KOMPLEX LÉGIKÖZLEKEDÉSI RENDSZERMODELL IDENTIFIKÁCIÓJA

Az új határokkal értelmezett rendszer identifikációjához rendszerelméleti és rendszertervezési elméleti alapokat figyelembe véve adtam meg az integrált, komplex légiközlekedési rendszermodell határait.

Rendszerelmélet

Az alapul vett rendszerelméleti megközelítésben, a rendszer fogalmának definiálását illetően a *Zadeh*-féle rendszer definícióban a rendszer olyan objektumok összessége, amelyeket kölcsönhatások és kölcsönös összefüggések kapcsolnak össze. Mindehhez *Zadeh* bevezette az absztrakt objektum fogalmát, amellyel az objektum tulajdonságait reprezentáló rendezett időfüggvények, zártsági feltételt kielégítő időfüggvény párok közötti kapcsolatok halmazát adja meg. [Zad72]

Tervezési elmélet

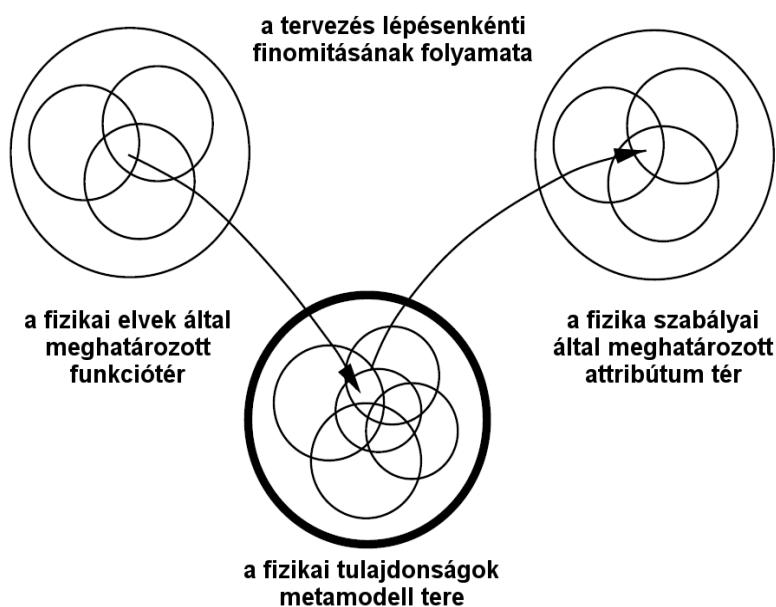
A *Takeda*, *Veerkamp*, *Tomiyama* és *Yoshikawwa* kutatásai során felállított tervezési elméletet a 2. ábra szemlélteti, ahol megjelenik a fizikai elvek által meghatározott funkciótér, a fizikai tulajdonságok metamodell tere és a fizika szabályai által meghatározott attribútum tér összefüggéseinek lefektetése. [Tak90][Pir12]

A modellezés esettanulmányaiként felfogható kutatási folyamatok rendszerelméleti megközelítése alapján létrejött automatizálás (metamodell) *Pitlik, Bunkóczi, Pető* szerint nem más, mint egy magas szintű tanulási folyamat. Egy hatékony modellezés automatizálás bár elvileg lehetne kontextus-független, de a gyakorlatban mégis esettanulmányokon keresztül bizonyítható legkézenfekvőbbben az automatizálás sikere. [Pit05]

Jelen értekezésben az esettanulmányok tapasztalatainak beépítését számos szakmai konzultáció kísérte², hiszen a kontextus-függetlenség, azaz a felhasználási terület indifferenciájának elmélete szakmai szempontok szerint nem védhető és nem is cél a bevezetőben ismertetett problémafelvetésekkel (hipotézisekkel), célkitűzés-igazolásokkal összefüggésben.

Az integrált, komplex légitársasági rendszermodell identifikációja során tehát a két alapelmélet ötvözésével és kiterjesztésével, valamint az elméleti összefüggések gyakorlati elemekkel való kibővítésével, valós rendszerelemek sokaságának tartalommal való feltöltésével jutottam el a modell elméleti rendszerstruktúrájának felállításához.

Mіндеzeket alapul véve tehát a rendszermodell elméleti alapjait az alfejezetekben foglaltaknak megfelelően a következőkben állapítottam meg.



2. ábra: Tervezési attribútumok leképezése [Pir12]

² A szakmai konzultációs névsor a disszertáció kezdetén megtalálható

2.1.1 AZ ELMÉLETI RENDSZERSTRUKTÚRA

„...minden szellemi sémánk csupán alázatos erőfeszítés, amellyel megkíséreljük újrarajzolni a valóság roppant birodalmának néhány vonását.”

LUDWIG VON BERTALANFFY

A különböző tudományterületek, illetve interdiszciplináris megközelítések az általuk vizsgált rendszerek leírására különböző rendszerdefiníciókat alkottak. A rendszer fogalma a tudományok és a tudományfilozófia egyik legalapvetőbb fogalma, mégis csak a huszadik században alkották meg a rendszerelmélet más fogalmaival együtt. Ezt az elméletet *Ludwig von Bertalanffy* magyar származású osztrák biológus kezdte kidolgozni. [WP15]

A műszaki területen az egyik legáltalánosabb és legsokoldalúbban alkalmazható rendszerdefiníció *Kálmán Rudolf*, a modern irányításelmélet egyik megalapítója nevéhez fűződik. A Kalman-féle rendszerdefiníció a rendszer viselkedését nemcsak a bemenetekre adott kimeneti válaszok függvényében vizsgálja, hanem a rendszer működésének és pontosabb leírásának érdekében bevezeti a belső állapot fogalmát. Ennek megfelelően egy rendszer működését a pillanatnyi állapota és az ugyanekkor az azt ért bemenet hatására bekövetkező állapotváltozás és kimeneti változói értékének függvényében írható le. Mindemellett jelen esetben a rendszer felmérésekor, a modellezés céljainak specifikációit tekintve nem ez az eszköz bizonyult a legalkalmasabbnak.

A rendszer definiálását *Zadeh* objektum- és kölcsönhatásaikat fókuszban tartó értelmezését kiterjesztve a polgári légiközlekedés airside, pre-take-off fázisseregének teljes szereplői körére, infrastruktúrájára és szabályrendszerére az elméleti rendszerstruktúra, az integrált légiközlekedési rendszermodellt szemléltető sematikus blokkdiagramon (3. ábra) látható, ahol G az integrált légiközlekedési rendszer, mint absztrakt objektum a zártsági feltételt [Zad72] kielégítő bemenet-kimenet párok összességéként az alábbi egyenlet szerint:

$$G = \{(\mathbf{u}, \mathbf{y})\},$$

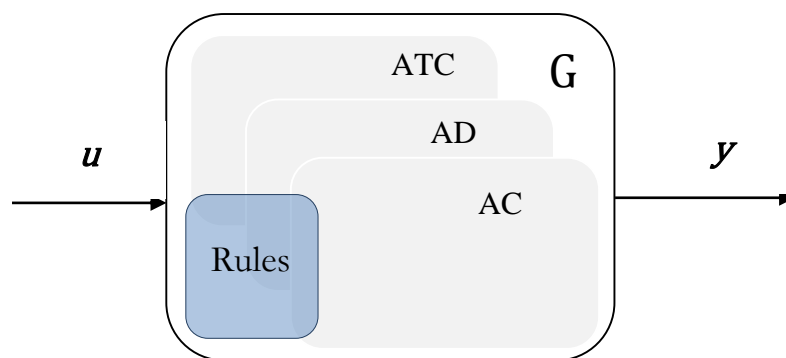
az időfüggvények

$$D(G) \stackrel{\text{def}}{=} \{(\mathbf{u} | \mathbf{u}, \mathbf{y}) \in G\}$$

összességét a G értelmezési tartományának, az

$$R(G) \stackrel{\text{def}}{=} \{(\mathbf{y} | \mathbf{u}, \mathbf{y}) \in G\}$$

össességét pedig G értékészletének véve kerül a légiközlekedési rendszermodell definiálásra.



3. ábra: Az integrált légiközlekedési rendszermodell sematikus blokkdiagramja

Az absztrakt objektum definíciójában foglaltaknak megfelelően az integrált légiközlekedési rendszermodellnél sem szerepel olyan megszorítás, miszerint minden u bemenethez egyetlen y kimenet tartozna, hanem adott u bemenethez jellemzően több y kimenet tartozik, ami a későbbiekben láthatóan nemcsak a bemenettől, hanem az objektum kezdeti állapotától is függ.

Az integrált légiközlekedési modell (G) képzése során a teljes légiközlekedési rendszer, a légiforgalmi irányítás (Air Traffic Control, ATC), a repülőtér (Aerodrome, AD) és a légijármű (Aircraft, AC), mint a rendszer partíciók teljes modellbe képzése a hatályos nemzetközi és nemzeti szabályozásban (Rules) fellelhető rendszerelemek figyelembe vételével történik.

Megjegyzendő, hogy az integrált, folyamatorientált, kauzális rendszermegközelítés fontosságának hangsúlyozását és az erre épülő kockázatbecslést már az *Ale et al* által taglalt kutatások és a „gate to gate” koncepció is sajátosan magában foglalja [Ale06], ugyanakkor a disszertáció 3. fejezetében igazoltan repülésbiztonsági relevanciájú tényezők ok-okozati összefüggések kutatása az airside, pre-take-off objektum és cselekményhalmazra, a légiközlekedés ezen szegmensének fázisseregére vonatkozóan nem differenciálódik és a kutatás sem mélyül el ebben az irányban. Ennek megfelelően egy rendkívül hangsúlyos csoport kerül ki a vizsgálat alól.

További aspektus a látenciában maradó hibák felszámolásának igénye. Mindemellett a repülésbiztonság makro-szintű kezelésének szükségességét *Brooker* már az überlingeni katasztrófa nyomán megállapítja.[Bro07]

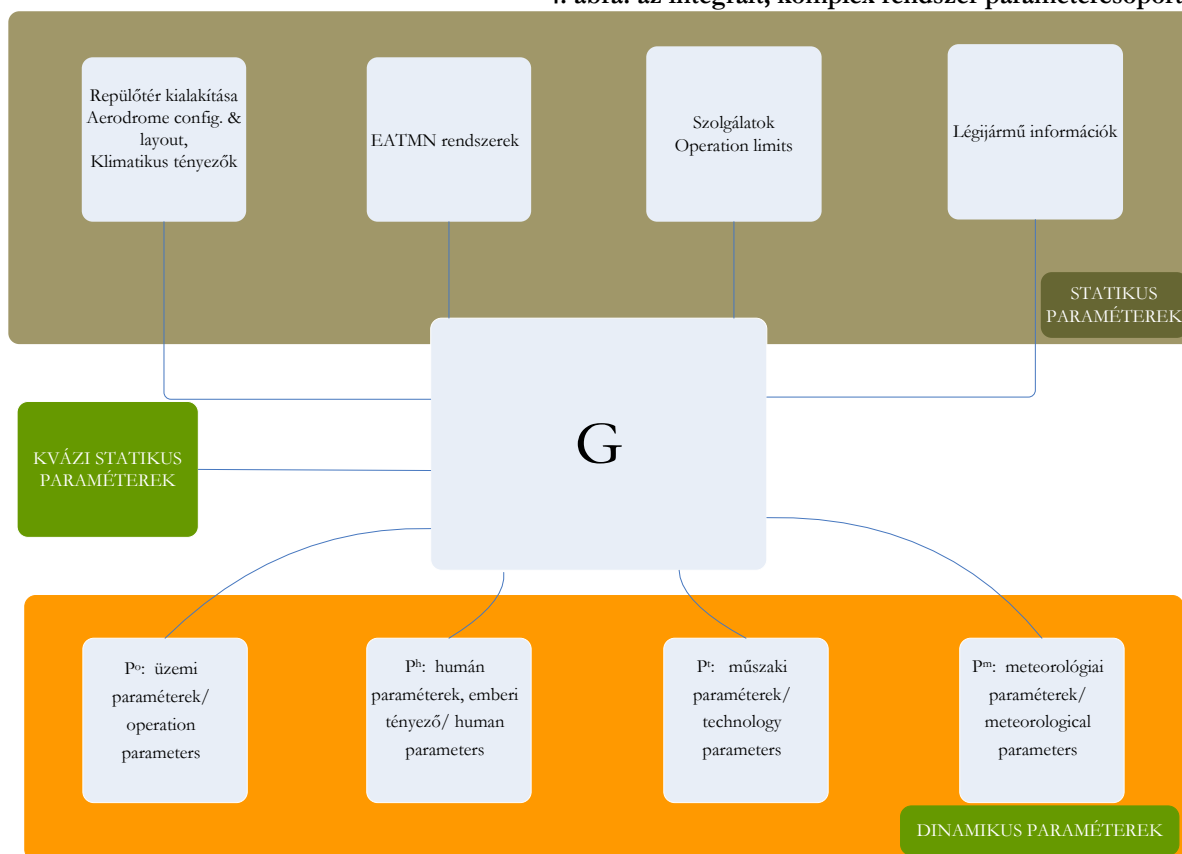
Az integrált rendszer komplexitásának elmélete

A rendszermodell komplexitását az adja, hogy figyelembe veszi a rendszer általános paramétereit és a rendszert érő aktuális terhelési paramétercsoportokat is. Terminológiáját és elméletét tekintve a légiforgalmi irányításban már alkalmazott *légtérkomplexitás* fogalmával [Mey09a] rokon természetű paramétercsoportok vonatkozó rendszerre történő leképezése és kiterjesztése segítségével egy **adott járatra épített komplexitás-fogalmat** deklaráln.

Az integrált, komplex rendszer a 4. ábra szerint statikus, dinamikus és kvázi statikus paramétercsoportokból áll.

Az egyes paramétercsoportok ismertetésére a funkciótér bemutatása során tér ki a disszertáció.

4. ábra: az integrált, komplex rendszer paramétercsoportjai



2.1.2 FUNKCIÓTÉR

Az absztrakt objektumot, mint a légiközlekedési rendszer modelljét az objektum repülésbiztonsági tulajdonságaiban bekövetkező változtatásokkal kapcsolatos lehetséges észlelések összességével kívánom azonosítani, amihez a tervezési attribútumok funkciótérbe képezése szükséges.

A **fizikai elvek által meghatározott funkciótéren** az integrált, komplex légiközlekedési rendszer paramétercsoportos ábrázolásának megfelelően az egyes **paramétercsoportok** halmaza értendő. Beletartozik tehát a statikus paramétercsoport: repülőtér kialakítása, klimatikus tényezők, EATMN rendszerek, különböző fix telepítésű szolgálatok és a légi jármű alap-információi. Ugyanígy, a fizikai elvek által meghatározott funkciótér részét képezhetik azok a kvázi statikus paraméterek, amelyek bár nem tartoznak az airside, pre-take-off légiközlekedési cselekményhalmaz állandó elemeihez, de azon paraméterek karakterisztikája a statikus paraméterek irányába mutat. (Azaz minimum 3 hónapig fennálló változtatás az alaprendszeren.)

A dinamikus paraméterek a következők:

P^{op}: üzemi paraméterek/ operation parameters

P^{hp}: humán paraméterek, emberi tényező/ human parameters

P^t: műszaki paraméterek/ technology parameters

P^m: meteorológiai paraméterek/ meteorological parameters

Az egyes paramétercsoportokhoz tartozó paraméterek részletezését a 3. fejezet tartalmazza.

A funkciótér leírása

A funkciótér fizikai leírásának alapja az integrált, komplex modell horizontális és vertikális rendszerfelosztással értelmezett szintjeinek megadásával leírt airside környezet, amik az 5. ábra jelöléseinek megfelelően sorrendben a következők:

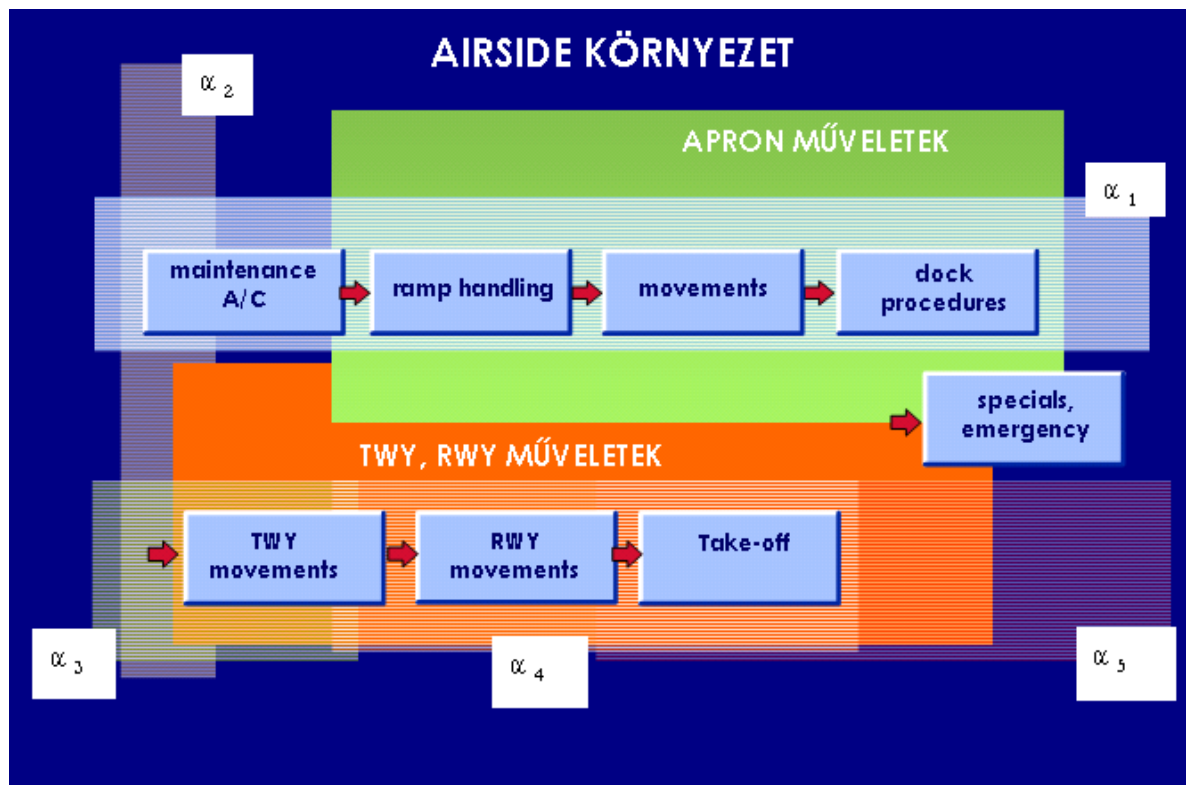
α_1 : Forgalmi előtér (APR, apron), ahol az 5. ábrán látható feliratok fordítása sorrendben: légi jármű karbantartása, földi kiszolgálás, mozgások, állóhely elfoglalás/elhagyási műveletek;

α_2 : Áttérés a forgalmi előtérről a gurulóútra (APR – TWY, taxiway);

α_3 : Gurulóút, TWY, ahol az 5. ábrán látható feliratok fordítása sorrendben: a TWY, RWY mozgásokat és a felszállást jelölik;

α_4 : Áttérés a gurulóútról a futópályára (TWY – RWY, runway);

α_5 : Futópálya, RWY; mindezekre a speciális, vészhelyzeti reakcióterveknek megfelelő folyamatok is értendők



5. ábra: Az airside környezet, mint a funkciótér horizontális fizikai alapja

Az integrált, komplex légiközlekedési rendszer tehát a repülőtér fizikai környezetére alapozva öt alrendszerből áll – horizontális rendszerfelosztás szerint: α_n rendszer, amelynek további elméleti szintjei – vertikális felosztás szerint - lesznek azok a szervezeti egységek, személyek és kiszolgáló berendezések, amelyek az adott szinteken, adott járatok esetében potenciálisan feladatokat látnak el: β_n rendszer.

A β_n rendszer elemei a következők:

β_1 : Légiforgalmi irányítás (ATC)

β_2 : Légijármű és személyzete (A/C)

β_3 : Egyéb, a járatkiszolgálásban résztvevő szolgálatok (AD)

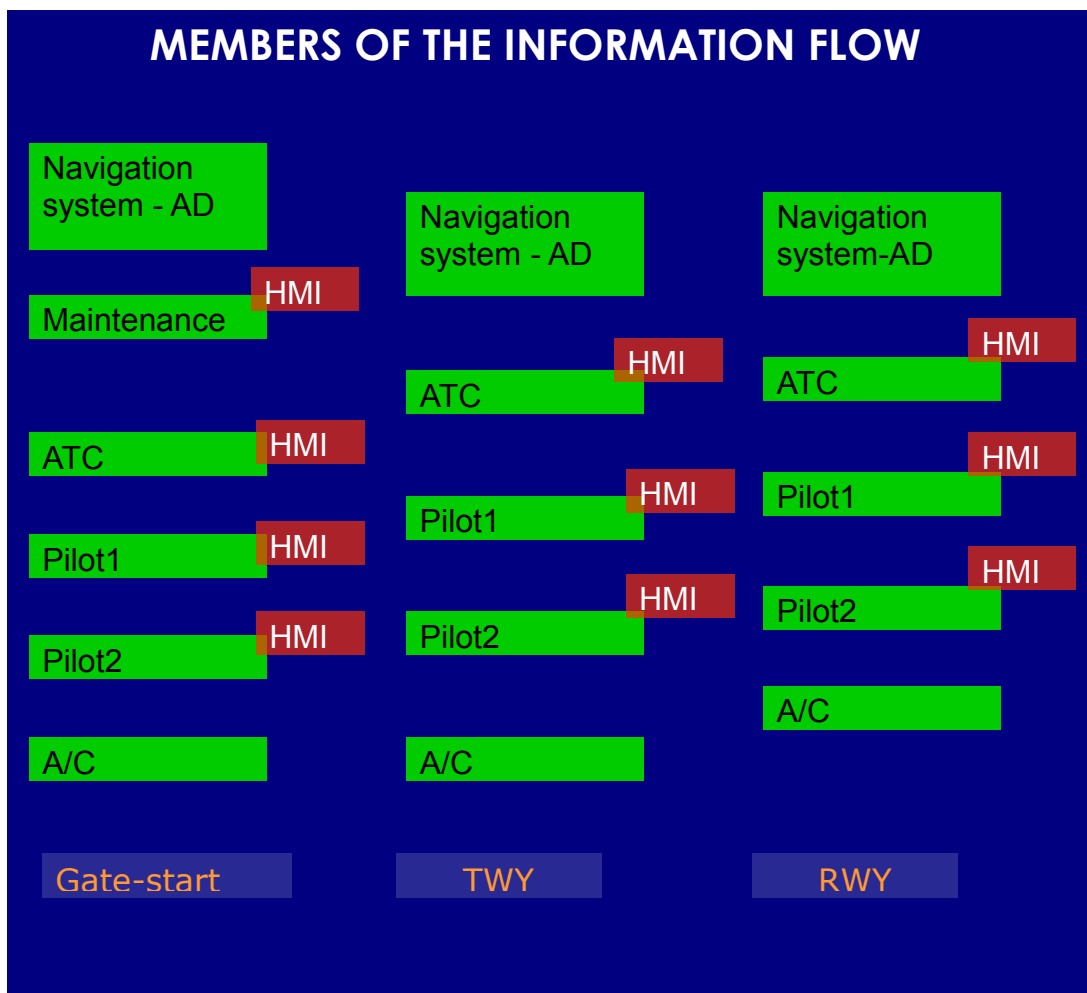
Az α_2 -es és α_4 -es fizikai szempontból hibridnek tekinthető szint differenciálását a β_n rendszerbeli esetleges különbsége indokolhatja, de a funkciótér leírásakor a β_n szintet az egyes elemek partícionálásával nem tagolja az értekezés. Mindemellett látható (6. ábra) a β_n szint ember-gép felületeinek (human-machine interface, HMI) dominanciája, ami a funkciótér kockázati elemzésénél „hot spot”-ként jelenik meg.

A „hot spot” kifejezés a szakirodalomban egy repülőtér mozgási területének olyan fizikai helye, ahol az ütközésnek vagy futópálya-sértésnek historikus adatok alapján kiemelt kockázata van, ezért fokozott figyelemre van szükség [Mud09], [ICAO04], [ICAO05].

Jelen kutatás a hot spot fogalmának kiterjesztését is célozza azzal, hogy nem csak a fizikai környezetben, hanem az integrált, komplex járatspecifikus rendszer folyamataiban is kívánja megtalálni a gyenge pontokat.

A kutatás szempontjából tehát relevanciát képező integrált megközelítésnél maradván az (α_n, β_n) **rendszer értelmezendő az integrált, komplex légiközlekedési modell funkcióterén**, aminek egyes területeit a kutatások ismertetéséhez tovább részletezi a disszertáció³.

6. ábra: β_n szint domináns ember-gép felületei



³ Az 5. és 6. ábra egyéb helyeken fel nem tüntetett angol kifejezései és fordításai rendre:

maintenance: karbantartás, ramp handling: forgalmi előtéri kiszolgálási feladatok, movements: mozgások, dock procedures: állóhely elfoglalási és elhagyási eljárások, folyamatok, specials, emergency: speciális feladatok, vészhelyzet, take-off: felszállás, Members of the information flow: a információáramlás tagjai, Navigation system: navigációs rendszer, Pilot: légi jármű vezetője, Gate-start: gate, állóhely elhagyás

2.1.2.1 A valós funkcióter megbízhatósági modellje

A funkcióter szereplői és elemei, valamint a vonatkozó relációk elmélyített szintű, aprólékos lefektetése meghaladná a kutatás jelenlegi kereteit, ugyanakkor a kiindulás mégis a teljes rendszerismeretre épül. A folyamatok vizsgálatának mélységét a rendszerfeltárás során, folyamatos konzultációk mentén a jelenlegi ismeretanyaghoz illeszthetően és az 1. fejezetben ismertetett hatályos hazai és nemzetközi szabványok és ajánlott gyakorlatok, jogszabályi környezetben foglaltaknak megfelelően az elemi eseménynek vehető események szintjéig, a 7. ábra szerint deklaráltam.

A légiforgalmi irányítók a toronykörzeti légtérben, valamint a repülőtéren a be- és kivezetési eljárásokkal, valamint a gurulások irányításával, ezzel összefüggésben az elkülönítési távolságokkal gyakorolhatnak befolyást a repülőter kapacitására és biztonságára, amelyek szoros kapcsolatban állnak a környezeti és időjárási viszonyokkal, a futópálya műszerezettségével. A futópályára való, gurulótútról történő behaladást, valamint a fel- és leszállás műveleteit, a légiközlekedés biztonságos üzemét megközelítőleg 150 optikai-, fénytechnikai-, rádiónavigációs és radarberendezés, valamint jelölések és jelzések biztosítják a repülőtéren [Mey06], [IA1404].

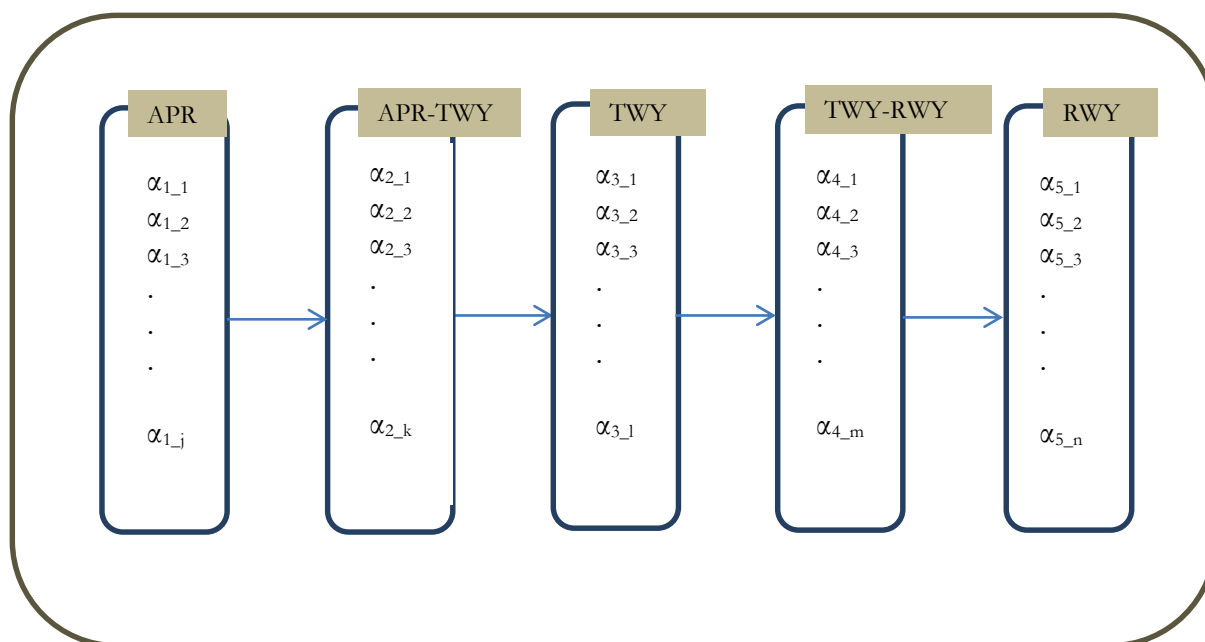
Míndezek tehát befolyást gyakorolnak az airtide, pre-take-off műveletekre. Ezért az integrált modellben a rendszerhatárok megállapítása mindezen berendezések, illetve az összes repülőteret illető fizikai kondíciók figyelembe vételével történik. Ezek mellett a légijárművel kapcsolatos minden pre-take-off művelet, az azokat végzők és az alkalmazott eszközök is a rendszer részeit képezik.

Az irányítótorony és a TMA feladata, hogy a megfelelő elkülönítést biztosítsa a

- forgalmi körön működő gépek között
- munkaterületen levő gépek között
- fel és leszálló gépek között
- munkaterületen lévő gépek és egyéb járművek között
- munkaterületen lévő gépek és az ott lévő akadályok között

, valamint ellássa a különböző optikai navigációs rendszerek, mint például megállító keresztfényoszlopok, vagy az ILS területen belüli zöld-sárga középvonalfények kezelését.

A gép érkezésében a csoportvezető (SV), repülőterei irányító (ADC), gurító irányító (GRD), valamint a gurító koordinátor együttes munkája van jelen.



7. ábra: A valós funkcióter megbízhatósági modellje

Megbízhatóságelméleti szempontból az egyes $\alpha_{i,x}$ elemek kapcsolata is mérvadó, a modell felállítása a kutatás folytatásának részét céltzott képezni.

2.1.2.1.1 Földi kiszolgálási folyamatok a forgalmi előtérén

A forgalmi előtér inherens módon hordozza a látens veszélyeztetések azon halmazát, amelyek potenciális direkt veszélyforrást képezhetnek, ezért az ott végzett műveletek a földi kiszolgálás feltételeiről és engedélyezésének rendjéről szóló 7/2002-es KöViM rendelet alapján az alábbiakban kerülnek ismertetésre:

1. A rakodás irányítása, kézbesítés és távközlés, a repülőgép súly- és súlypont számítása (Load Control).
2. Egységtrakomány eszközök (ULD) kezelése, raktározása és adminisztrációja.
3. Utaskezelés: az érkező, induló, transzfer és tranzitutasok kezelése, beleértve a jegyek és úti okmányok ellenőrzését, a poggyászfelvételt és a poggyászok továbbítását a válogató területére.
4. Poggyászkezelés: a poggyászok kezelése, válogatása és az indulásra való előkészítése a válogatóban, a poggyászoknak a légi jármű és a válogató közötti szállítására szolgáló járműre történő felrakodása és arról való lerakodása, valamint a poggyászok továbbítása a válogatóból a poggyászkidóba.
5. Áru- és postai küldemények kezelése (Cargo & Post Office Mail):

- 5.1. áru vonatkozásában az export, import és transzfer áru fizikai kezelése, a kapcsolódó okmányok kezelése, vám eljárás és a felek megállapodása szerinti, illetve a körülmények alapján szükséges biztonsági eljárások lebonyolítása;
- 5.2. postai küldemények vonatkozásában a bejövő és kimenő postai küldemények fizikai kezelése, a kapcsolódó okmányok kezelése és a felek megállapodása szerinti, illetve a körülmények alapján szükséges biztonsági eljárások lebonyolítása.
6. Előtéri kiszolgálás (Ramp handling)
 - 6.1. a légi jármű földi beállítása induláskor és érkezéskor;
 - 6.2. a légi jármű rakodásának segítése és a megfelelő berendezések biztosítása;
 - 6.3. kommunikáció a légi jármű és az indulási oldal szolgáltatója között;
 - 6.4. a légi jármű ki- és berakodása, beleértve a megfelelő eszközök biztosítását és működtetését, a legénység és az utasok szállítása a légi jármű és a terminál között, valamint a poggyászok szállítása a légi jármű és a terminál között;
 - 6.5. a hajtóművek indításához szükséges egységek biztosítása és működtetése;
 - 6.6. a légi jármű mozgatása érkezéskor és induláskor, valamint a megfelelő berendezések biztosítása és működtetése.
7. A légi jármű kiszolgálása:
 - 7.1. a légi jármű külső és belső tisztítása, valamint a mellékkelhelyiséggel és a vízellátással kapcsolatos szolgáltatások;
 - 7.2. a kabin hűtése és melegítése, a hó és jég eltávolítása, a légi jármű jégtelenítése;
 - 7.3. a kabin átrendezése a megfelelő berendezési tárgyakkal, valamint ezek tárolása.
8. Üzemanyag- és kenőanyag-kezelés:
 - 8.1. az üzemanyag-töltés és -leeresztés szervezése és elvégzése, beleértve az üzemanyag tárolását és az üzemanyag-szállítványok minőségének és mennyiségének ellenőrzését;
 - 8.2. kenőanyag és egyéb folyadékok utántöltése.
9. A légi jármű karbantartása:
 - 9.1. az indulást megelőző rutinellenőrzés;
 - 9.2. a repülőtér-használó által kért nem rutinjavítások;
 - 9.3. pótalkatrészek és megfelelő eszközök biztosítása és kezelése;
10. Repülőüzemi szolgáltatások és a személyzet adminisztrálása, az üzemelés irányítása (Flight Operation):
 - 10.1. a járat előkészítése az indulási repülőtéren vagy egyéb ponton;
 - 10.2. repülés közbeni támogatás, beleértve az esetleg szükséges átirányítást;
 - 10.3. repülés utáni tevékenységek;

11. Földi szállítás:

- 11.1. a személyzet, az utasok, a poggyászok, az áruk és a postai küldemények szállításának szervezése és elvégzése az adott repülőtér különböző termináljai között, kivéve ugyanezt a szállítást a légi jármű és az adott repülőtér területén lévő bármely más pont között;
- 11.2. a repülőtér-használó által kért egyéb speciális szállítás.

12. Fedélzeti ellátás:

- 12.1. ételek és italok szállítása, a légi járműre történő felrakodása és a légi járműről történő lerakodása;
- 12.2. az élelmiszer, az italok és az ezek elkészítéséhez szükséges eszközök tárolása;
- 12.3. az eszközök, a barkedő és az élelmiszerek előkészítése és szállítása.

13. Kapcsolattartás a szállítókkal és adminisztratív tevékenység: minden egyéb felügyeleti szolgáltatás a repülés előtt, alatt és után, valamint a repülőtér-használó által kért minden egyéb adminisztratív szolgáltatás.

14. Biztonság (Security):

- 14.1. utas és poggyász átvilágítás;
- 14.2. áru- és postai küldemények;
- 14.3. fedélzeti kiszolgálás (catering);
- 14.4. repülőgépbiztonság, őrzés;
- 14.5. egyéb biztonsági szolgáltatások. [7/2002]

2.1.2.1.2 Forgalmi előtér (APR, apron, α_1)

- | | |
|---|--|
| α_1_1 . áruszállítás- berakodás | α_1_{10} . fedélzeten végzett műveletek |
| α_1_2 . ASU ⁴ | α_1_{11} . féktuskó elhelyezés |
| α_1_3 . biztonsági vonal jelölések, burkolt, teherbíró felület széle | α_1_{12} . fényvisszaverő burkolati jelölések |
| α_1_4 . cabin service | α_1_{13} . GPU ⁵ |
| α_1_5 . catering | α_1_{14} . high loader |
| α_1_6 . crew car | α_1_{15} . jégtelenítés |
| α_1_7 . csomagszállítók | α_1_{16} . jégtelenítő / jégmentesítő létesítmény kijáratí fények |
| α_1_8 . élőállat szállítása | α_1_{17} . jelzőablak |
| α_1_9 . előtér-világítás | |

⁴ Air Starter Unit

⁵ Ground Power Unit, földi áramforrás

- | | |
|---|---|
| $\alpha 1_{18}$. kísért küldemény: pl. értékküldemény | $\alpha 1_{34}$. tájékoztatási jelölés (ahova szükséges, mert a tájékoztatást tartalmazó jelzőtáblát nem szabad elhelyezni) |
| $\alpha 1_{19}$. konténerszállítók | $\alpha 1_{35}$. toalett service |
| $\alpha 1_{20}$. közlekedési útvonal jelölések | $\alpha 1_{36}$. tüzelőanyag feltöltés |
| $\alpha 1_{21}$. látásos beállási útmutató rendszer | $\alpha 1_{37}$. utasítás- jelölés (ha szükséges, mert az utasítást jelölő jelzőtáblát nem lehet kihelyezni) |
| $\alpha 1_{22}$. légi jármű állóhely azonosító | $\alpha 1_{38}$. utaslépcső leengedés |
| $\alpha 1_{23}$. légi jármű állóhely jelölések | $\alpha 1_{39}$. utasszállító autóbusz |
| $\alpha 1_{24}$. légi jármű állóhely manőverezési útmutató fények | $\alpha 1_{40}$. üzemi úton kijelölt várópont jelölése |
| $\alpha 1_{25}$. légkondicionáló berendezés | $\alpha 1_{41}$. üzemi úton kijelölt várópontot jelző fények |
| $\alpha 1_{26}$. nehézáru szállítása | $\alpha 1_{42}$. veszélyes áru szállítása |
| $\alpha 1_{27}$. power-back műveletek | $\alpha 1_{43}$. VIP busz |
| $\alpha 1_{28}$. push- back műveletek | $\alpha 1_{44}$. vízfeltöltés |
| $\alpha 1_{29}$. rádió készülékek | |
| $\alpha 1_{30}$. repülőgép vontatása | |
| $\alpha 1_{31}$. szállítószalag | |
| $\alpha 1_{32}$. szervízlépcső | |
| $\alpha 1_{33}$. szolgálati személygépkocsik | |

2.1.2.1.3 Áttérés a forgalmi előtérről a gurulóútra (APR – TWY, α_2)

- | | |
|---|--|
| $\alpha 2_1$. a gurulóút felület és hajtóműsugar hatótávolságban értelmezett környezetének tisztasága, | $\alpha 2_9$. gurulóút közép vonal jelölés, |
| $\alpha 2_2$. a gurulóút fizikai, geometriai tulajdonságainak megfelelése | $\alpha 2_{10}$. gurulóút közép vonalának jelzésére szolgáló jelzőeszközök, |
| $\alpha 2_3$. a gurulóút ívek megfelelése, | $\alpha 2_{11}$. gurulóút szegély jelzésére szolgáló jelzőeszközök, ha léteznek, |
| $\alpha 2_4$. a gurulóút teherbírásának megfelelése, | $\alpha 2_{12}$. gurulóút szegélyfények, |
| $\alpha 2_5$. burkolat nélküli gurulóút szegély jelzésére szolgáló jelzőeszközök, ha léteznek, | $\alpha 2_{13}$. közbenső gurulási várópont jelölése, |
| $\alpha 2_6$. fényvisszaverő burkolati jelölések, | $\alpha 2_{14}$. megállító keresztfények, |
| $\alpha 2_7$. gurulóút jelölések, | $\alpha 2_{15}$. stop bar-ok, |
| $\alpha 2_8$. gurulóút közép vonal fények, | $\alpha 2_{16}$. tájékoztatást tartalmazó jelzőtáblák, |
| | $\alpha 2_{17}$. utasítást jelölő jelzőtáblák. |

2.1.2.1.4 Gurulóút (TWY, α_3)

α_3_1 . a gurulóút felület és hajtóműsugar
hatótávolságban értelmezett
környezetének tisztasága,
 α_3_2 . a gurulóút fizikai, geometriai
tulajdonságainak megfelelése
 α_3_3 . a gurulóút ívek megfelelése,
 α_3_4 . a gurulóút teherbírásának
megfelelése,
 α_3_5 . burkolat nélküli gurulóút szegély
jelzésére szolgáló jelzőeszközök, ha
léteznek,
 α_3_6 . fényvisszaverő burkolati jelölések,
 α_3_7 . gurulóút jelölések,

α_3_8 . gurulóút középvonal fények,
 α_3_9 . gurulóút középvonal jelölés,
 α_3_{10} . gurulóút középvonalának jelzésére
szolgáló jelzőeszközök,
 α_3_{11} . gurulóút szegély jelzésére szolgáló
jelzőeszközök, ha léteznek,
 α_3_{12} . gurulóút szegélyfények,
 α_3_{13} . közbenső gurulási várópont jelölése,
 α_3_{14} . megállító keresztfények,
 α_3_{15} . stop bar-ok,
 α_3_{16} . tájékoztatást tartalmazó jelzőtáblák,
 α_3_{17} . utasítást jelölő jelzőtáblák.

2.1.2.1.5 Áttérés a gurulóútról a futópályára (TWY – RWY, α_4)

α_4_1 . áthelyezett futópálya küszöb jelölés,
 α_4_2 . bevezető fény sorok,
 α_4_3 . biztonsági megállási terület fények,
 α_4_4 . biztonsági megállási terület
szegélyének jelzésére szolgáló
jelzőeszközök, ha léteznek,
 α_4_5 . burkolat nélküli futópályák
szegélyének és pályavégeinek jelzésére
szolgáló jelzőeszközök, ha léteznek,
 α_4_6 . DGPS⁶(differenciál GPS,
méréshez),
 α_4_7 . DME⁷(távolságmérés),

α_4_8 . DME/P (katonai precíziós
kód),
 α_4_9 . DVOR⁸,
 α_4_{10} . fényintenzitás és vezérlés,
 α_4_{11} . földterési zóna fények,
 α_4_{12} . földterési zóna jelölések,
 α_4_{13} . földfelszín felett telepített
megközelítési fényrendszer
lámpatestek,
 α_4_{14} . földfelszín feletti egyéb
lámpatestek,
 α_4_{15} . futópálya azonosító jelölés,

⁶ Differential GPS

⁷ Distance Measuring Equipment, általában DVOR-
ral együtt telepített ferdetávolság –mérő berendezés

⁸ Doppler VOR

| | | | |
|--------|---|--------|--|
| α4_16. | futópálya biztonsági sáv. | α4_36. | IILS-MLS ¹¹ , |
| α4_17. | futópálya jelölések, | α4_37. | IM (inner marker), |
| α4_18. | futópálya középvonal- fények, | α4_38. | jelzőlámpa (repülőtéri irányító tornyot el kell látni jelzőlámpával az ellenőrzött repülőtereken), |
| α4_19. | futópálya középvonal jelölés, | α4_39. | körözési útmutató fények, |
| α4_20. | futópálya küszöb – és szárny – keresztoszor fények, | α4_40. | közbenső gurulási várópont fények, ebben az esetben feltételezhetően nincs megállító keresztoszor |
| α4_21. | futópálya küszöb jelölés, | α4_41. | légiforgalmi fényjeladók- azonosító fényjeladó, ha létezik, |
| α4_22. | futópálya küszöbazonosító fények, | α4_42. | légiforgalmi fényjeladók- repülőtéri fényjeladó, |
| α4_23. | futópálya öböl fények, | α4_43. | leszállási célterület jelölése, |
| α4_24. | futópálya öböl jelölés (ha van, a 180°-os forduló végrehajtásához, mellyel lehetőség nyílik visszatérni a futópálya középvonalra), | α4_44. | leszállási irányjelző, |
| α4_25. | futópálya szegély jelölése, | α4_45. | megállító keresztoszorok, |
| α4_26. | futópálya szegélyfények, | α4_46. | megközelítési fényrendszerek- I, vagy II., vagy III. kategóriájú precíziós megközelítésű futópályákhoz, |
| α4_27. | futópálya várópont jelölése, | α4_47. | megközelítési fényrendszerek- nem műszeres futópályákhoz, |
| α4_28. | futópálya védőfények, | α4_48. | megközelítési fényrendszerek- nem precíziós megközelítésű futópályákhoz, |
| α4_29. | futópályára rávezető fényrendszerek, | α4_49. | MLS (mikrohullámú leszállító rendszer), |
| α4_30. | futópályavég fények, | α4_50. | MM (middle marker) középső marker, |
| α4_31. | GPS, | | |
| α4_32. | határvonal jelzésére szolgáló jelzőeszközök, ha léteznek, | | |
| α4_33. | hóval borított futópályák szegély jelzésére szolgáló jelzőeszközök, ha léteznek, | | |
| α4_34. | IILS-GS (Cat. I, II, III) ⁹ , | | |
| α4_35. | IILS-LLZ (Cat. I, II, III) ¹⁰ , | | |

⁹ IILS - Glide Slope, Siklópályaadó, a leszállás irányában a siklópálya szögét adja meg.

¹⁰ IILS – Localizer, Iránysávadó, a leszállás irányát adja meg.

¹¹ Microwave Landing System, mikrohullámú leszállító rendszer

| | | |
|--------|---|--|
| α4_51. | NDB ¹² (hosszúhullámú irányadó), | földi berendezés, transzponder → légi egység), |
| α4_52. | OM (outer marker) külső marker, | α4_63. repülőter azonosító felirat, |
| α4_53. | optikai siklópályajelző rendszerek: APAPI, | α4_64. repülőterei VOR ²⁰ ellenőrző pont jelölése, |
| α4_54. | optikai siklópályajelző rendszerek: AT-VASIS, | α4_65. repülőterei VOR ellenőrző pontot jelölő jelzőtábla, |
| α4_55. | optikai siklópályajelző rendszerek: PAPI ¹³ , | α4_66. RETIL-ek ²¹ , ha léteznek, |
| α4_56. | optikai siklópályajelző rendszerek: T-VASIS | α4_67. süllyesztett lámpatestek, |
| α4_57. | optikai siklópályajelző rendszerek: VASIS ¹⁴ , | α4_68. Szélirányjelzők, |
| α4_58. | RADAR-PAR ¹⁵ , | α4_69. TACAN ²² , |
| α4_59. | RADAR-PSR ¹⁶ (primer radar), | α4_70. TVOR ²³ (a repülőteren felszerelt VOR, tesztelésre), |
| α4_60. | RADAR-SMR ¹⁷ , | α4_71. UHF ²⁴ Comm, |
| α4_61. | RADAR-SRE ¹⁸ , | α4_72. VDF ²⁵ (radio direction finder), |
| α4_62. | RADAR-SSR ¹⁹ (szekunder radar, interrogátor → | α4_73. VHF ²⁶ Comm, |
| | | α4_74. VOR (útvonalirányítás), |
| | | α4_75. VOT ²⁷ |

2.1.2.1.6 Futópálya (RWY, α₅)

- α5_1. áthelyezett futópálya küszöb jelölés,
- α5_2. bevezető fény sorok,
- α5_3. biztonsági megállási terület fények,

¹² Non- directional radio bacon, Irányítatlan sugárzású rádió irányadó

¹³ Precision Approach Path Indicator; precíziós megközelítési pályajelző

¹⁴ VASIS: Visual Approach Slope Indicator System, optikai siklópálya rendszer

¹⁵ Precision Approach Radar, precíziós bevezető radar

¹⁶ Primary Surveillance Radar , elsődleges légtérelőző radar

¹⁷ Surface Movement Radar, gurítóradar

¹⁸ Surveillance radar element of precision approach radar system, légtér ellenőrző radar egység precíziós bevezető radar rendszer egysége

¹⁹ Secondary Surveillance Radar, másodlagos légtérelőző radar

²⁰ VHF omnidirectional radio range; VHF körsugárzó rádió irányadó berendezés

²¹ Gyorslegurulóút jelző fények.

²² UHF tactical navigation aid, UHF sávú – ultra high frequency- taktikai navigációs berendezés

²³ Terminal, Test VOR

²⁴ ultra high frequency, ultra magas frekvencia 300-3000MHz

²⁵ iránymérő, segítség az irányítóknak, hogy milyen irányból hívja a gép

²⁶ very high frequency, nagyon magas frekvencia, 30-300 Mhz

²⁷ VOR airborne equipment test facility, fedélzeti VOR ellenőrzésére szolgáló berendezés

- α5_4. biztonsági megállási terület szegélyének jelzésére szolgáló jelzőeszközök, ha léteznek,
- α5_5. burkolat nélküli futópályák szegélyének és pályavégeinek jelzésére szolgáló jelzőeszközök, ha léteznek,
- α5_6. DGPS²⁸(differenciál GPS, méréshez),
- α5_7. DME²⁹(távolságmérés),
- α5_8. DME/P (katonai precíziós kód),
- α5_9. DVOR³⁰,
- α5_10. fényintenzitás és vezérlés,
- α5_11. földtérési zóna fények,
- α5_12. földtérési zóna jelölések,
- α5_13. földfelszín felett telepített megközelítési fényrendszer lámpatestek,
- α5_14. földfelszín feletti egyéb lámpatestek,
- α5_15. futópálya azonosító jelölés,
- α5_16. futópálya biztonsági sáv.
- α5_17. futópálya jelölések,
- α5_18. futópálya középvonal- fények,
- α5_19. futópálya középvonal jelölés,
- α5_20. futópálya küszöb – és szárny – keresztsor fények,
- α5_21. futópálya küszöb jelölés,
- α5_22. futópálya küszöbazonosító fények,
- α5_23. futópálya öböl fények,
- α5_24. futópálya öböl jelölés (ha van, a 180°-os forduló végrehajtásához, mellyel lehetőség nyílik visszatérni a futópálya középvonalra),
- α5_25. futópálya szegély jelölése,
- α5_26. futópálya szegélyfények,
- α5_27. futópálya várópont jelölése,
- α5_28. futópálya védőfények,
- α5_29. futópályára rávezető fényrendszerek,
- α5_30. futópályavég fények,
- α5_31. GPS,
- α5_32. határvonal jelzésére szolgáló jelzőeszközök, ha léteznek,
- α5_33. hóval borított futópályák szegély jelzésére szolgáló jelzőeszközök

²⁸ Differential GPS

²⁹ Distance Measuring Equipment, általában DVOR-ral együtt telepített ferdetávolság –mérő berendezés

³⁰ Doppler VOR

- α5_34. ILS-GS (Cat. I, II, III)³¹,
- α5_35. ILS-LLZ (Cat. I, II, III)³²,
- α5_36. ILS-MLS³³
- α5_37. IM (inner marker),
- α5_38. jelzőlámpa (repülőtéri irányító tornyot el kell látni jelzőlámpával az ellenőrzött repülőtereken),
- α5_39. körözési útmutató fények,
- α5_40. közbenső gurulási várópont fények, ebben az esetben feltételezhetően nincs megállító keresztfény sor
- α5_41. légiforgalmi fényjeladók- azonosító fényjeladó,
- α5_42. légiforgalmi fényjeladók- repülőtéri fényjeladó,
- α5_43. leszállási célterület jelölése,
- α5_44. leszállási irányjelző,
- α5_45. megállító keresztfény sorok,
- α5_46. megközelítési fényrendszerek- I, vagy II., vagy III. kategóriájú precíziós megközelítésű futópályákhoz,
- α5_47. megközelítési fényrendszerek- nem műszeres futópályákhoz,
- α5_48. megközelítési fényrendszerek- nem precíziós megközelítésű futópályákhoz,
- α5_49. MLS (mikrohullámú leszállító rendszer),
- α5_50. MM (middle marker) középső marker,
- α5_51. NDB³⁴ (hosszúhullámú irányadó),
- α5_52. OM (outer marker) külső marker,
- α5_53. optikai sikló pályajelző rendszerek: APAPI,
- α5_54. optikai sikló pályajelző rendszerek: AT-VASIS,
- α5_55. optikai sikló pályajelző rendszerek: PAPI³⁵,
- α5_56. optikai sikló pályajelző rendszerek: T-VASIS
- α5_57. optikai sikló pályajelző rendszerek: VASIS³⁶,
- α5_58. RADAR-PAR³⁷,
- α5_59. RADAR-PSR³⁸

³¹ ILS - Glide Slope, Sikló pályaadó, a leszállás irányában a sikló pályá szögét adja meg.

³² ILS – Localizer, Iránysávadó, a leszállás irányát adja meg.

³³ Microwave Landing System, mikrohullámú leszállító rendszer

³⁴ Non- directional radio beacon, Irányítatlan sugárzású rádió irányadó

³⁵ Precision Approach Path Indicator; precíziós megközelítési pályajelző

³⁶ VASIS: Visual Approach Slope Indicator System, optikai sikló pályá rendszer

³⁷ Precision Approach Radar, precíziós bevezető radar

³⁸ Primary Surveillance Radar , elsődleges légtérelőző radar

- α5_60. RADAR-SMR³⁹,
- α5_61. RADAR-SRE⁴⁰,
- α5_62. RADAR-SSR⁴¹ (szekunder radar, interrogátor → földi berendezés, transzponder → fedélzeti egység),
- α5_63. repülőtér azonosító felirat,
- α5_64. repülőtéri VOR⁴² ellenőrző pont jelölése,
- α5_65. repülőtéri VOR ellenőrző pontot jelölő jelzőtábla,
- α5_66. RETIL-ek⁴³, ha léteznek,
- α5_67. süllyesztett lámpatestek,
- α5_68. Szélirányjelzők,
- α5_69. TACAN⁴⁴,
- α5_70. TVOR⁴⁵ (a repülőtéren felszerelt VOR, tesztelésre),
- α5_71. UHF⁴⁶ Comm,
- α5_72. VDF⁴⁷ (radio direction finder),
- α5_73. VHF⁴⁸ Comm,
- α5_74. VOR (útvonalirányítás),
- α5_75. VOT⁴⁹

³⁹ Surface Movement Radar, gurítóradar

⁴⁰ Surveillance radar element of precision approach radar system, légtér ellenőrző radar egység precíziós bevezető radar rendszer egysége

⁴¹ Secondary Surveillance Radar, másodlagos légtérelenőrző radar

⁴² VHF omnidirectional radio range; VHF körsugárzó rádió irányadó berendezés

⁴³ Gyorslegurulót jelző fények.

⁴⁴ UHF tactical navigation aid, UHF sávú – ultra high frequency- taktikai navigációs berendezés

⁴⁵ Terminal, Test VOR

⁴⁶ ultra high frequency, ultra magas frekvencia 300-3000MHz

⁴⁷ iránymérő, segítség az irányítóknak, hogy milyen irányból hívja a gép

⁴⁸ very high frequency, nagyon magas frekvencia, 30-300 Mhz

⁴⁹ VOR airborn equipment test facility, fedélzeti VOR ellenőrzésére szolgáló berendezés

2.1.2.2 A modellbe képzett funkciótér szereplői és elemei

A biztonság meghatározásához alacsonyabb komplexitású rendszerrel dolgozik a disszertáció.

A valós rendszer modellbe képzése az alábbi kritériumrendszer szerint történt: a képzett funkciótér a Budapest Liszt Ferenc Nemzetközi Repülőtérre vonatkozó értelmezhetőség mellett elégségesen elégíti ki a rendszer rendszerbiztonsággal összefüggő paramétereinek meghatározását. A kutatás során a 1. táblázatban foglalt személyek és elemek képzik a funkciótér bázisát, a modellbe képzett funkciótér szereplőit és elemeit, ahol az „IKLR_BE” megjelölés az Integrált, komplex légiközlekedési rendszer elemi eseményszintig (basic events) történő bemutatásának tipológiáját hivatott előkészíteni.

1. táblázat: Az integrált, komplex airside, pre-take-off rendszer szereplői és elemei

A rendszer szereplői és elemei

| | |
|------------|---|
| IKLR_BE1. | ADC (Aerodrome Controller) |
| IKLR_BE2. | ALMOS rendszer |
| IKLR_BE3. | AODB rendszer |
| IKLR_BE4. | Apron guide eszköz |
| IKLR_BE5. | Apron guide |
| IKLR_BE6. | A-SMGCS |
| IKLR_BE7. | Betegmozgató jármű |
| IKLR_BE8. | Bevezető fénysor |
| IKLR_BE9. | Cabin crew busz járművezető |
| IKLR_BE10. | Cargo bázis személyzet |
| IKLR_BE11. | CDC (Clearance Delivery Controller) |
| IKLR_BE12. | DME |
| IKLR_BE13. | D-VOR |
| IKLR_BE14. | Elsőtiszt (first officer) |
| IKLR_BE15. | Energiaellátás (Szünetmentes áramforrások és készenléti energiaellátás) |

| | |
|------------|--|
| IKLR_BE16. | Fegyveres biztonsági őrség |
| IKLR_BE17. | Forgalmi előtéri karbantartási eszköz kezelő |
| IKLR_BE18. | Forgalmi kiszolgáló eszköz |
| IKLR_BE19. | Forgalmi kiszolgáló eszköz vezető |
| IKLR_BE20. | Futópálya felület |
| IKLR_BE21. | Futópálya középvonalfények |
| IKLR_BE22. | Futópálya küszöbfények |
| IKLR_BE23. | Futópálya szegélyfények |
| IKLR_BE24. | Futópályához kapcsolódó gurulóút középvonalfények |
| IKLR_BE25. | Futópályához kapcsolódó gurulóút szegélyfények |
| IKLR_BE26. | GAREX rendszerhiba (Kommunikációs rendszer) |
| IKLR_BE27. | GRC (Ground Controller) |
| IKLR_BE28. | Gyalogos |
| IKLR_BE29. | HAWK meteorológiai munkaállomás |
| IKLR_BE30. | ILS irányításvadó |
| IKLR_BE31. | ILS markeradó |
| IKLR_BE32. | ILS sikló pályaadó |
| IKLR_BE33. | Jégeső |
| IKLR_BE34. | Jégtelenítés |
| IKLR_BE35. | Jelzések és jelölések |
| IKLR_BE36. | Kommunikációs rendszerek (Rádióforgalmazási adatkapcsolat) |
| IKLR_BE37. | Köd |
| IKLR_BE38. | LAN RADAR |
| IKLR_BE39. | Légijármű parancsnokának (Capt) |
| IKLR_BE40. | Légijármű |
| IKLR_BE41. | Légkondicionáló eszköz |

| | |
|------------|---|
| IKLR_BE42. | Madárriasztás |
| IKLR_BE43. | MAGIC FLIGHT II |
| IKLR_BE44. | MATIAS |
| IKLR_BE45. | Tereptárgy |
| IKLR_BE46. | NDB irányadó (útvonali) |
| IKLR_BE47. | PAPI |
| IKLR_BE48. | Poggyászfelügyelet |
| IKLR_BE49. | QFS adó (repülőtéri NDB) |
| IKLR_BE50. | Ramp officer |
| IKLR_BE51. | Rendőrség |
| IKLR_BE52. | Repülőtéri gurítóradar |
| IKLR_BE53. | RWY STS (Futópálya foglaltság jelző) |
| IKLR_BE54. | SAT FÉNYTECHNIKAI RENDSZER TWR egység |
| IKLR_BE55. | Startszerelő |
| IKLR_BE56. | STOPBAR (megállító keresztfényoszlop) |
| IKLR_BE57. | Súlyos turbulencia |
| IKLR_BE58. | Szélnyírás |
| IKLR_BE59. | TPC (Tower Planning Controller) |
| IKLR_BE60. | Tüzelőanyag feltöltés |
| IKLR_BE61. | Tűzoltósági hiba |
| IKLR_BE62. | T-VOR meghibásodás |
| IKLR_BE63. | TWR SV (Aerodrome Control Tower Supervisor) |
| IKLR_BE64. | Utashíd |
| IKLR_BE65. | Utaslépcső |
| IKLR_BE66. | Utasszállító buszok |
| IKLR_BE67. | Üzemanyag feltöltés |

| | |
|------------|--------------------|
| IKLR_BE68. | Vadvédelem |
| IKLR_BE69. | Villámcsapás |
| IKLR_BE70. | Villanó fényoszlop |
| IKLR_BE71. | VOT hitelesítő adó |

A biztonság igazolásához mindazon fizikai, műszaki és humán kondíciók, információáramlások, emberi és gépi beavatkozások, környezeti hatások, amelyek a járat előkészítésében részt vesznek vizsgálat alá kell, hogy essenek. Kérdés azonban, hogy a vizsgálat végrehajtása milyen eszköz- és feltételrendszerrel történik. A kritikus eseményvalószínűségű közlekedésirányítási folyamat a jelenleg alkalmazott eljárásokhoz képest matematikailag formalizáltabban, valamint valószínűségi értékek alkalmazásával lényegesen jobban kezelhető, optimalizálható és igazolható, hiszen a különböző előírt biztonsági kritériumok is valószínűségi értékekkel definiált tartományok [SMM13]. A jelenlegi eljárások esetében a formalizálás és a számszerűsítés kevésbé jelenik meg a gyakorlatban, ami aktuálisan ugyan elegendőnek bizonyul, de hosszútávon mindenképpen szükségesnek látszik a rendszer ez irányú fejlesztése. [MeyT09b]

A fenti fejezetek alapján látható volt, hogy a jelenleg alkalmazott eljárások és az aktuális fejlesztési filozófiák is nélkülözik a polgári légiközlekedésben a járatszintű- és fókuszú biztonságigazolási jelleget. Ugyanakkor tekintetbe véve olyan jellemzőket, mint a meteorológiai körülmények folyamatbefolyásoló jellege, a szállított áruk minősége és mennyisége, vagy a számos mindezekről, valamint az emberi hibáktól függő ember-gép kapcsolat, amelyek mind arra engednek következtetni, hogy az egyes járatok jellemzőinek összességéből adódó különbségek nem engedhetik meg az egységes kezelésmódot. Példa erre, hogy a meteorológiai, látási viszonyoktól függően az alkalmazott navigációs eszközök használata változik fel- és leszállásnál. A csökkent látási viszonyoknak megfelelően az eljárásrend is alakul, mind a megközelítés, mind a földi mozgás során. Ezen esetben a repülőtérről kapacitása jelentősen csökken, növekednek az elkülönítési minimum értékek, illetve például az ILS kritikus és érzékenységi terület miatt különleges, ún. „kategóriás” várópontok vannak kijelölve.

A meteorológiai körülményektől függően tehát változik a navigációs berendezések alkalmazása és az eljárásrend, ami a légi jármű vezetőit, a légi forgalmi irányítás személyzetét és magát a légi járművet egyaránt érinti, adott esetben korlátozza a jogosultságokat. Minél rosszabbak a látási viszonyok, annál több ellenőrzési pontot tartalmaz a folyamat, az állóhelyről való kigurulástól a futópályára lépésig.

A járatok különbözőségével nemcsak a biztonsági szint, hanem a kiszolgálási idő is módosul. Jelenleg azonban a kiszolgálási rendet és ezzel összefüggésben a fordulódőket nem a biztonsági szint alapján, hanem a járatot teljesítő légi jármű típusához deklaráltan határozzák meg. [IATA09], [MeyT09b]

2.2 RENDSZERBIZTONSÁGI MÓDSZERTANI ALAPOK

Már a XX. század első felében foglalkoztatta a tudományos világot a hatékonyság maximalizálásának gondolata. Ilyen ágazat volt például a rendszerelméleten kívül a kibernetika, majd a különböző működő, működési mechanizmusok kutatása, illetve a döntési és hasznossági elméletek fejlesztése, összefoglalóan a technikai rendszerekre vonatkoztatott rendszerismereti tudományok. Ezek alapján született 1950-ben a rendszertechnika, melynek két fő alappillére a rendszerelemzés és a preferencia-szintézis vizsgálat. A fejlődési „főcsapást” azért fontos figyelembe venni, mert ezen tudományágak biztosítják az elméleti, és átvitt értelemben gyakorlati alapot is a kutatáshoz [Mey02].

Igenbergs szerint a rendszerelméletben használatos főbb irányelvek, hogy minden áttekinthető, definiálható kell, hogy legyen, a rendszer és környezetét is beleértve, a rendszer kapcsolatban kell, hogy legyen a környezetével, a rendszernek feladata kell, hogy legyen, valamint a rendszer tartalmazhat alrendszereket és a rendszer elemei leírható függvénykapcsolatban vannak egymással [Ige02].

Az értekezés témáját tekintve a legfontosabb, hogy az integrált, komplex légiközlekedési rendszer fogalmát meghatározza, amely rendszer definiált elemeket tartalmaz, az elemek leírható tulajdonságokkal rendelkeznek, az elemek kölcsönösen hatnak egymásra, amely kölcsönhatást a disszertáció vizsgálja. Egy elem adott esetben jelenthet egy, az eredeti rendszerrel meghatározott kapcsolatban álló, vagy szélsőséges esetben független, különálló, vagy beágyazott rendszert is.

A 2.1. fejezetben a képzett rendszerre vonatkozóan az elemek definiálása és ezáltal számosságának meghatározása elkészült, ugyanakkor megbízhatósági szempontból a rendszeren belüli relációk, a variálhatóság, összekapcsolhatóság – az elemek összekapcsolhatóságának gráfelméleti terminológiával értelmezendő iránya, ami a veszély- és kockázatelemzés alappillére, még nem deklarált, mindehhez a veszély- és kockázatelemzés elengedhetetlen.

Pitlik, Bunkóczi, Pető szerint a nemzetközi mesterséges intelligencia kutatásai által felkínált részmegoldások (pl. neurális hálózatok, autonóm adaptív ágensek, genetikus algoritmusok, stb.) világosan rámutatnak arra, hogy a modellezés automatizálása – jelen problematikára vonatkoztatva a veszély- és kockázatelemzésalapú eljárás-befolyásolás - lényegében „csak” az adekvát keresésvezérlés célfüggvényének egzaktján, ill. a keresést befolyásoló kombinatorikai tér

milyenységén múlik [Pit05]. A célfüggvény – jelen esetben az igazolt biztonsági szint - egzaktágát a rendszer jellemzőiből adódóan veszély- és kockázatelemzéssel, majd fuzzy logikával működő szabályozással valósítja meg a kutatás.

A polgári célú légi közlekedés rendszerét a szakszemélyzet munkája, légi forgalmi objektumok, légi járművek, valamint a mindezeket összekötő különböző szintű adatkapcsolati csatornák alkotják. A rendszer biztonságos működéséhez szükséges emberi és gépi beavatkozások igen különböző jellegűek. A biztonságos működtetés többszintű és – típusú tartalékolással biztosított. Az ilyen és ehhez hasonló, összetett karakterisztikával rendelkező biztonságreleváns rendszerek megbízható működtetése kizárólag megfelelő, formalizált biztonságigazolási rendszer alapján engedélyezhető. A rendszer biztonságos működése – tekintettel az emberi tényező dominanciájára – szabály alapú biztonságigazolással tartható fenn, ugyanakkor a rendszert alkotó elemek biztonságigazolása valószínűségi alapú eljárásokkal történik és a folyamatok biztonságigazolása is formalizált, számszerűsített alapokon nyugszik [EK06], [IA106], [IA1104], [IA1913], [IA805], [IATA09], [ICAO01], [SMM13], [Tarn05].

2.2.1 VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS ÉS A BIZTONSÁGI SZINT MEGHATÁROZÁSA

A veszély- és kockázatelemzéssel kapcsolatban szabványok és ajánlott gyakorlatok vannak érvényben az ipar területén általánosságban, iparági szabványok speciálisan, valamint a közlekedési ágazatokra vonatkozóan szabványok és ajánlott gyakorlatok ágazatspecifikusan [EN50126], [EN50129], [SAE94], [SAE95], [JAR07], [DO178], [DO254], [ESARR2], [ESARR3], [ESARR4], [SMM13], [IA1913], [Tarn05]. Mindezek nem tekinthetők egymástól tökéletesen elszigetelt rendszereknek, a cél minden esetben a biztonság fenntartása. Például az európai légi forgalmi irányítás esetében olyan párhuzamok figyelhetők meg, mint az ESARR3-nak az ISO 9001:2000-rel való összevetése [EAM/GUI04].

2.2.1.1 A veszély- és kockázatelemzés definitív meghatározása

A veszély- és kockázatelemzés definitív meghatározása felhasználási területtől függően eltérő lehet. A közlekedési ágazatok közül a vasúti közlekedés és a légi közlekedés, mint biztonságkritikus rendszerek rokon természetűek. Több kutatás foglalkozik a két ágazat vonatkozó veszély- és kockázatelemzési eljárásainak, előírásainak összehasonlításával, ágazatközi transzferrel [Brab03], [Mil04], [Dro07], [MeyTS07a]. A veszély- és kockázatelemzési és értékelési eljárások, valamint a biztonsági, biztonságintegritási szint meghatározásánál mindkét ágazat esetén közel azonos

biztonsági határértékeket állapítanak meg. Emellett fellelhetőek olyan különbségek is, amelyek esetleges átvételének segítségével fejlődhetne az egyes ágazatok biztonsági kultúrája. [MeyTS07a]

A **veszély** behatárolásával a rendszer és alrendszerének szisztematikus elemzése történik egészen a funkciók szintjére való bontással bezárólag, illetve az életciklus során esetleg felmerülő kedvezőtlen feltételek (veszélyek) meghatározása. Az ilyen kedvezőtlen körülmények vezethetnek potenciálisan személyi sérüléshez, vagy környezet-károsodáshoz. [EN50129], [ESARR4]

Valamely veszélyeztető hatás jelentőségét egy alkalmazásban a **biztonsági kockázat** fejezi ki. A biztonsági kockázat a veszélyeztetésből adódó baleset bekövetkezési valószínűségének vagy gyakoriságának és a keletkező sérülések súlyosságának a kombinációja. A kockázat meghatározása történhet mennyiségi, valamint minőségi alapokkal, amelyet más néven kockázatosztályozásként nevez a szakirodalom.[Tarn09a] [Tarn09c], [ESARR4], [Brab04b] Az értekezés a kockázatelemzés mindkét változatát alkalmazza. A kockázatcsökkentés két alapvető formája az aktív és a passzív módosítás. Aktív kockázatcsökkentés esetén a megelőzésen, a baleset – illetve jelen tárgyalásban a légiközlekedési esemény – bekövetkezési valószínűségének csökkentésén van a hangsúly, amelyek elérése a veszélyforrások kiküszöbölésével, azok aktivizálódásának megakadályozásával, illetve közvetlenül az esemény bekövetkezésének megakadályozásával lehetséges, például folyamatirányító rendszerek alkalmazásával. A passzív kockázatcsökkentés esetében a bekövetkezett kár mérséklése történik [Tarn09a]. **Az értekezés a veszély- és kockázatelemzés segítségével az aktív kockázatcsökkentést irányozza elő, a megelőzés területén építkezik a biztonsági túlbiztosítások vonatkozásában is.**

A veszélymeghatározás történhet empirikus és kreatív úton, ugyanakkor ki is egészíthetik egymást, megerősítve annak bizonyosságát, hogy a teljes lehetséges veszélyállapottér lefedése megtörtént, amivel az összes lényeges veszély meghatározásra került [EN50129]. Az értekezés magában foglalja mindkét veszélymeghatározási módot, illetve azok kombinációját.

A veszélyek a rendszermeghatározástól és főként a rendszerhatároktól függenek. Az egzakt rendszermeghatározás által lehetővé válik a veszélyek – rendszereket és alrendszereket figyelembe vevő – hierarchikus struktúrájú besorolása. Ez azt is jelenti, hogy a veszélymeghatározást és az ok-elemzést a rendszerfejlesztési fázis során a részletezés több szintjén, ismételten el kell végezni. [EN50129]. „A vasút a biztonságkritikus funkciókat illetően kockázatelemzést hajt végre, és megadja az elfogadható kockázat nagyságát, mint biztonsági célt. Ezen biztonsági célok alapján a gyártó kifejleszti a megfelelő műszaki megoldást, amelyet veszélyeztetési elemzésnek vet alá. A veszélyeztetési elemzés eredményének táblázatos kiértékeléséből kapjuk meg a biztonsági követelmény fokozatokat (Safety Integrity Level, SIL) a műszaki megoldás egyes komponenseinek szoftvere számára...”[Ság03].

2.2.1.2 A rendszerbiztonság numerikus definiálása

A megfelelően működő modell elengedhetetlen egysége a rendszerbiztonság numerikus definiálására szolgáló modul és a biztonságkritikus rendszer gyenge pontjainak, valamint azok rendszer-összefüggéseinek identifikálása és elemzése. Az 1.2 fejezetben bemutatott eljárások ismeretében, az ismertett rendszertulajdonságoknak megfelelően, a 2.1.1 fejezetben ismertett integrált rendszerre vonatkoztatva, az 1. fejezetben ismertett kívánt cél elérése érdekében a következők szerint jártam el. Az elemzés módszere a valószínűségi biztonságelemzés (Probabilistic Safety Analysis, PSA), amely az értekezésben foglalt eredmények biztosítására a Risc Spectrum PSA Professional - Version 2.10.04 – FTA moduljának segítségével, hibafa elemzéssel történt. Választásom oka, hogy a biztonságelemzés ismertebb módszerei közül: Előzetes veszélyelemzés (PHA), Hibamód és – Hatáselemzés (FMEA), Hibamód, -hatás és kritikusság elemzés (FMECA), Veszély- és működőképesség elemzés (HAZOP), Eseményfa (ETA), Ok – következmény diagramok (CCD), Markov-modellek, Megbízhatósági blokkdiagram (RBD), Zonális elemzés, Közös okú meghibásodások elemzése (CCF)) a feladat megoldására a hibafa analízis bizonyult a legalkalmasabbnak [Tarn05]. Az elemzés segítségével elvégezhető a tervezett rendszer megbízhatósági, illetve biztonsági jellemzőinek az elvárásokkal való összevetésére, a gyenge pontjainak kimutatására, valamint a megbízhatósági, illetve biztonsági szempontból alul- és túlméretezésének elkerülésére. Az elvégzett és dokumentált hibafa elemzés az előírt követelmények teljesítésének igazolásául, illetve a vizsgált rendszerkoncepció javításának kiindulási pontjául is szolgál. A hibafa analízist az általam definiált csúcseseményre vonatkoztatva hajtottam végre. A hibafa a rendszertulajdonságokhoz illeszkedően átfogóan három fő részből áll: emberi hibák, rendszerelemek hibái, környezeti befolyásoló tényezők, beleértve a fizikai kondíciókat, meteorológiai hatásokat is, valamint az információs csatornák hibáit is.

A csúcseseményből kiinduló deduktív elemzés során a hibaokok megkeresésében, a hatásmechanizmusok lefektetésében és értékelésében, egyaránt döntő szerepet játszott a vonatkozó és rendelkezésre álló historikus, illetve statisztikai adatok feldolgozása, a hatályos előírások feltételezett betartásán alapuló következtetések, mindamellet, hogy a hibafa végleges szerkezetének felállításához az érintett szakmák képviselőivel konzultálva, hibamód- és hatáselemzés jellegű eljárással jutottam el, így az aktuális gyakorlati információkat is beépítettem munkámba. A csúcsesemény, köztes események és elemi események halmaza egyaránt tartalmazza a jelenleg hatályos nemzetközi és hazai előírásokban foglaltakat [CD94], [DEC03], [16/2000], historikus adatokat [EAP03], valamint empirikus adatokat, ugyanakkor a hibafa felállításának szempontjából felülvizsgálja és kiegészíti azokat. A humán hibákkal, teljesítményt befolyásoló

tudati feltételekkel, fáradtsági szintet előtérbe helyező személyzetrotációs kérdésekkel, reakcióidőkkel kapcsolatban több kutatás bizonyítja, hogy rendkívül hangsúlyos a folyamat dinamizmusának, ugyanakkor biztonságának vonatkozásában az emberi tényező és az ember-gép felület [Des96], [Teo98]. Ezzel összefüggésben is értelmezendő a nagygépes személyi hibás esetek jellemzője, miszerint visszatérő okok, jelenségek találhatóak meg bennük, és jelentős hányadukban több szakterületen tevékenykedő személyek érintettek (hajózó és földi személyzet egyaránt). Az információáramlás hiányossága például szinte minden esetben döntő tényező, valamint észlelhetőségi viszonyok is szerepet játszanak, illetve a gyakorlatlanság – nagy gyakorlat (rutin) látszólagos ellentmondása figyelhető meg. A fáradtságnak, mint az események kapcsán fellépő egyik jelentős emberi tényező elemnek, a légitársaságokban mindeközéig nincs számszerűen kifejezhető formája. A maximálisan repülhető időket azonban a már említett, személyi alkalmasság megállapításánál alkalmazott dokumentumok szigorúan korlátozzák [IA106]. A humán faktorok, elsősorban a légi jármű vezetőkre és a légitársasági irányítókra vonatkozóan, de a közvetlen kiszolgálásban érintett személyek esetében is mérvadóak. Ez érvényes a felfedett és a látens veszélyeztetés, valamint a potenciális hibák tekintetében egyaránt. [TEO98], [DES96]

Összefoglalva a hibafa elemzésének céljai:

1. Valószínűségi alapú elemzés a csúcsesemény bekövetkezésének hipotetikus számszerűsítésére;
2. A csúcsesemény bekövetkezésében közrejátszó eseménykombinációk megtalálása - minimális vágatok elemzése;
3. A csúcsesemény valószínűségének függése az egyes elemi események értékeinek változásától - fontossági és érzékenység vizsgálat, valamint mindezek alapján;
4. következtetések levonása, amely eredményeket az integrált, járatszintű, dinamikus modell elkészítésekor figyelembe vesszük.

A hibafa és elemzésének részletes bemutatását a 3. fejezet tartalmazza, valamint a hibafa és az elemzés részeredményei a függelékben megtekinthetők.

2.2.1.3 BME-módszer a biztonsági szint értékelésére

Módszertani alap továbbá a BME-módszer. A BME-módszer olyan kvantitatív veszély- és kockázatelemzési módszer, amelyet a biztonsági követelményeknek a meghatározására és az egyes funkciókhoz való hozzárendelésére fejlesztettek ki a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem egykori Közlekedésautomatikai, jelenleg Közlekedés- és Járműirányítási Tanszékén [Tarn05]. Jelen tárgyalásban a biztonsági tartomány alulméretezési kérdéseivel kapcsolatban képez alapot.

2.2.2 FUZZY KÖVETKEZTETŐ LOGIKA

A fuzzy logika alapjait *Zadeh* teszi le, amikor állítja, hogy az emberi gondolkodásmód sokkal jobban modellezhető olyan fogalmakkal, amelyeknek nincsenek éles határai, ahol az átmenet egy adott jellegzetesség megléte vagy hiánya között folytonos vagy homályos (fuzzy). *Zadeh* a későbbiekben nagybonyolultságú rendszerek leírására fejleszti elméletét. Az előzőeken alapuló szabályozó rendszereket a hetvenes évek közepétől használják ipari alkalmazásokban, a nyolcvanas évek közepétől főleg Japánban, a kilencvenes évek eleje óta pedig már szinte minden fejlett ipari országban egyre nagyobb teret kap. [Kóc01]

2.2.2.1 A fuzzy logika rendszerbe illesztése

A vizsgált rendszer 1. és 2.1 fejezetben ismertett jellemzői okán a soft computing (lágy számítási) módszer, többértékű logikai szemantika választása indokolt. A sok ponton egzakt leírhatóság hiánya miatt (emberi tényezők, időjárási viszonyok, stb.) a rendszer jelenleg intelligens közelítések, optimális függvény approximáció alkalmazásával formalizálható, amely technika a fuzzifikálás során realizálható.

Cél a biztonsági értékek dinamikus optimalizációjának folytonos időben történő elérése, mindemellett az emberi beavatkozással, nagyszámú, időben változó peremfeltételekkel működő, nagyfokú adaptivitást és rugalmasságot igénylő komplex légiközlekedési optimalizálási feladatot ellátó rendszer modellezése.

Fuzzy logika melletti választásomat számos kutatás támasztotta alá. *Harmati* szerint a genetikus algoritmus alkalmazások bár több lokális optimummal rendelkező komplex problémákra megoldást adhatnak, és bár globális módszer, de sztochasztikus jellege és lassúsága miatt on-line feladatmegoldásokhoz többnyire nem alkalmas [Har14].

Knyldh és Karasahin polgári légiközlekedés területén forgalmi problémákra, utaskezelés-kapacitási kérdésekre keresi a választ fuzzy szabályozás segítségével [Kny08], személyzetrotációs problematikára *Teodorović és Lukić* [Teo98].

Légtérsektorizációs kérdések fuzzy logikával történő megoldását *Babić és Krstić* taglalja [Bab00].

Ale et al. hibafa elemzéssel társított hibrid fuzzy rendszerben vizsgálja a vezetett földnek ütközést (CFIT) [Ale06].

Naderpour és Zhang biztonságkritikus rendszerekre vonatkozóan, az abnormalitások modellezésére szolgáló dinamikus és objektum-orientált Bayes hálózatok és fuzzy logika segítségével építi ki az ember-gép felületek biztonsági aspektusait is vizsgáló rendszerét [Nad15],

Kurd és Kelly biztonságkritikus mesterséges neurális hálózatok fuzziifikálásának vonatkozásában eredményes [Kur07].

Mardani et al. 1994-2014-ig, 150 referált folyóirat 403 folyóiratcikkén keresztül vizsgálja szisztematikusan a fuzzy döntéshozatali eljárásokat, a mindezekkel kapcsolatos publikációkat, a multikritériumos fuzzy döntéshozatali rendszereket (Fuzzy Multiple Criteria Decision-Making, FMCDM), és a hibrid változatokat is. A kutatás rámutat, hogy a fuzzy döntéshozatali rendszerekkel kapcsolatos publikációk a 2007-es évet követően rendkívüli ütemű fejlődésnek indultak, valamint kifejti, hogy a hibrid és a moduláris fuzzy módszerek egyre nagyobb teret nyernek [Mar15].

2.2.2.2 A fuzzy következtető rendszer

[Bécs08], [Kóc01], [Kóc06], [Fod15], [Kov93], [Har09], [Röv05]

A fuzzy irányítási rendszerek alapelvét először tehát *Zadeh* javasolta 1973-ban a nagy bonyolultságú, matematikailag nehezen leírható rendszerek modellezését tekintve elsődleges célnak. 1975-ben az általa alkalmazott, max és min normákon (a valószínűségelmélet geometriai aspektusán értelmezett trianguláris normák) alapuló kompozíciós következtetési szabály algoritmus egyszerűsítésével *Mamdani* a *Zadeh* reláció ortogonális projekcióin működő algoritmust használ, amely számításigényét tekintve is egyszerűbb, hiszen k -dimenziós relációk helyett k számú egydimenziós relációvetület hengeres kiterjesztésének metszetével számol: a bemeneti adatok és az egyes szabályok kompozícióit külön-külön határozza meg, majd a kapott részkonklúziók fuzzy uniójaként határozza meg a kimenetet

A fuzzy irányítási rendszerek tovább fejlődésével újabb alkalmazások születtek, amelyekkel együtt a fuzzy irányítási rendszerek két csoportra tagolhatók. Az egyik esetben fuzzy halmaz kimenetű a fuzzy irányítási rendszer (*Mamdani*, *Larsen*, 8. ábra), a másik esetben a konzekvens oldal crisp - nem fuzzy - halmaz (*Takagi-Sugeno*, *Sugeno*). A továbbiakban a kutatás jellegéből adódóan a *Mamdani* szabályozót tekinti az értekezés.

A fuzziifikált értékek és a standard logikai műveletek közötti alapvető különbség, hogy a fuzzy logika szerint egy bizonyos elem hovatartozásának (tagságának) mértékét adja meg, nem pedig a Boole algebra szerinti megközelítéssel értelmezve kezeli, a halmazba tartozás „igaz” vagy „hamis” megközelítéssel. Nem összetévesztendő azzal az értelmezéssel, amely a valószínűségi értéket keresve számolja egy elem hovatartozását, miszerint milyen valószínűséggel tartozik bele az általánosságban vett elem egy bizonyos halmazba. Mindemellett a fuzzy logika megengedi, hogy

bármely x elem több A_i részhalmazhoz tartozzon, valamilyen mértékig. Így a fuzzy partíciók átlapolással épülnek egymásra.

A kutatásban alkalmazott Mamdani inferencia - következtető - rendszer elkészítésének folyamata egy olyan leképezés megvalósítása, amely a bemeneti értékek (aktuális megfigyelés) - fuzziifikálásukat követően - definitív szabályok, a szabályok antecedenseinek (feltétel oldal) illesztése szerinti leképezése a kimeneti, szintén fuzziifikált értékre.



8. ábra: Általános fuzzy következtető rendszer vázlata [K6c01]

2.2.2.2.1 Az illeszkedési mérték meghatározása

Minden egyes szabályantecedenshez meg kell határozni a megfigyeléssel való illeszkedés (tüzelés vagy hasonlóság) mértékét, amelynek alapján meghatározható, hogy az egyes szabályok milyen mértékben játszanak szerepet a konklúzió megalkotásában. Az illeszkedési mérték meghatározása során tehát a szabályok antecedens része kerül összehasonlításra a megfigyelt értékekkel. Az illeszkedési mérték meghatározása minden egyes szabályra szükséges, hiszen az, az adott szabály kompetenciáját, (súly)mértékét jelzi. Azok a szabályok, amelyekre $w > 0$, tüzelő szabályok. A következtetési eljárás az egyes szabályok konzekvens részét az adott szabály érvényességi mértékének megfelelően veszi figyelembe.

2.2.2.2.2 Következtetés

A Mamdani-féle módszert alkalmazva, a minimum fuzzy implikációt S-normával (t-konormával) valósítja meg a leképezés, ezért az egész szabálybázishoz tartozó összesített következtetés az egyes szabályokhoz tartozó következtetések uniójaként áll elő, diszjunkcióval. Ennek megfelelően A és B halmazok fuzzy uniója az egységnégyzeten való bináris operátorként definiálható:

$$S: [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$$

A fuzzy uniók alaptulajdonságait leíró axiómák, vagyis a fuzzy uniók (t-konormák, S-normák) axiomatikus váza a következő:

$$s1 \text{ axióma, peremfeltétel: } s(a, 0) = a, \quad \forall a \in [0,1]\text{-re.}$$

$$s2 \text{ axióma, monotonitás: } b \leq c \Rightarrow s(a,b) \leq s(a, c), \quad \forall a,b,c \in [0,1]\text{-re}$$

$$s3 \text{ axióma, kommutativitás: } s(a,b) = s(b,a), \quad \forall a,b \in [0,1]\text{-re.}$$

$$s4 \text{ axióma, asszociativitás: } s(a,s(b,c)) = s(s(a,b), c) \quad \forall a,b,c \in [0,1]\text{-re .}$$

Az első három axióma biztosítja, hogy a fuzzy unió crisp halmazok esetén a hagyományos halmazműveletekkel megegyező eredményt adjon. Emellett további kiegészítő feltételek az s5-s7 axiómákban foglaltak:

$$s5 \text{ axióma: } s \text{ folytonos függvény}$$

$$s6a \text{ axióma, szuperidempotencia: } s(a, a) > a ,$$

$$s6b \text{ axióma, idempotencia: } s(a, a) = a$$

$$s7 \text{ axióma, szigorú monotonitás: } \text{ha } a_1 < a_2 \text{ és } b_1 < b_2, \text{ akkor } s(a_1, b_1) < s(a_2, b_2)$$

(*Archimédészinek*, illetve *szigorú archimédészinek* nevezzük a monoton, illetve szigorúan monoton, szuperidempotens és folytonos t-konormákat.)

A Zadeh-féle unió az egyetlen idempotens konorma:

$$s(a,b) = \max(a,b)$$

2.2.2.2.3 Szabálybázis

A fuzzy következtető rendszerek magját (azon elemek összességét, amelyek tagsági értéke 1) a rendszer működéséről rendelkezésre álló tudást általában „ha – akkor” típusú szabályok formájában leíró szabálybázis alkotja. *Zadeh* fuzzy relációként interpretált szabálybázisa:

$$\mu_r : X \times Y \rightarrow [0,1]$$

A modellezett rendszer bonyolultságától függően a szabálybázis általában többdimenziós szabályokat tartalmaz. Ha a rendszernek n bemenete és m kimenete van, akkor az i -edik szabály általánosan:

$$R_i: \text{ha } \underline{x} = \underline{A}_i, \text{ akkor } \underline{y} = \underline{B}_i, \text{ alakú,}$$

ahol

a bemeneti értékek vektora: $\underline{x} = \langle x_1 \dots x_n \rangle, \quad x_j \in X_j$

az alaphalmaz: $X = X_1 \times \dots \times X_n$

az antecedens halmazok vektora: $\underline{A}_i = \langle A_{1i}, \dots, A_{ni} \rangle, \quad A_i \in X$

a kimeneti változók vektora: $\underline{y} = \langle y_1 \dots y_m \rangle, \quad y_j \in Y_j$

a kimeneti változók alaphalmaza: $Y = Y_1 \times \dots \times Y_m$

a konzekvens halmazok vektora: $\underline{B}_i = \langle B_{1i}, \dots, B_{mi} \rangle, \quad B_i \in Y$

a szabályok száma: $r, i \in [1, r]$

A szabályok egyszerűsített jelölése implikációval: $R_i: A_i \Rightarrow B_i$

2.2.2.2.4 Defuzzifikáció

A következtetési eljárással kapott fuzzy halmaz valamilyen jellemző számértékkel való helyettesítése, a számérték meghatározása defuzzifikációs eljárással történik. A defuzzifikáláshoz többféle eljárás ismert, amelyek közös jellemzője, hogy a fuzzy tagsági függvény legjellemzőbb, valamilyen értelemben vett középértékét választják ki.

A legelterjedtebbek közé tartozik a geometriai középpont (center of area, COA) módszer, amely a fuzzy következtetéssel kapott teljes halmaz tagsági értékkel súlyozott átlagát adja. A súlypont (center of gravity, COG) módszer, amely a COA-val ellentétben a részkonklúziók középpontjainak geometriai középpontját számolja. A maximumok közepe (mean of maxima, MOM) módszer, a kimenet a fuzzy következtetés maximális tagsági értékkel rendelkező elemeinek

átlaga és a középső maximum (center of maxima, COM) módszer, amely a fuzzy konklúzió legnagyobb tagsági értékkel rendelkező elemei közül választja ki a középsőt.

Megemlítendő, hogy bizonyos esetekben fuzzy kimenet esetén sem szükséges a defuzzifikáció, mert esetenként a kapott fuzzy tagsági függvény több információt nyújt, mint egyetlen számérték.

2.3 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. TÉZIS

OLYAN, A POLGÁRI LÉGIKÖZLEKEDÉSBEN HASZNÁLATOS FUTÓPÁLYÁRA ÉS KÖRNYEZETÉRE ILLESZTETT **INTEGRÁLT**, KOMPLEX MEGBÍZHATÓSÁGI MODELLT HOZTAM LÉTRE, AMELY A VONATKOZÓ SZAKIRODALOMBAN TALÁLHATÓ EDDIGI EREDMÉNYEKHEZ KÉPEST ÚJSZERŰEN A FUTÓPÁLYÁT ÉS KÖRNYEZETÉT, A FUTÓPÁLYA-MŰVELETEKET, VALAMINT AZ AIRSIDE, PRE-TAKE-OFF MŰVELETEK ÖSSZESEGÉT, AZ AZOKBAN ÉRINTETT SZEMÉLYEKET ÉS ELEMÉKET, TOVÁBBÁ A METEOROLÓGIAI KONDÍCIÓKAT MINT BIZTONSÁGKRITIKUS RENDSZERT ALKOTÓ FUNKCIÓTÉR EGYSÉGET EGY ABSZTRAKT OBJEKTUM RENDSZERBEN KEZELI.

A tézishoz kapcsolódó publikációk: [MeyTS07], [MeyTS07a], [MeyTS08], [MeyT09b]

A szakirodalom és a jelenleg működő rendszer összevetése nyomán megállapítottam, hogy az **egész rendszerre kiterjesztett mennyiségi veszély- és kockázatelemzés** elidegeníthetetlen részét kell, hogy képezze a biztonságosan működő légiforgalmi rendszernek a polgári célú légi közlekedés felszállást megelőző fázisaiban, az airside, pre-take-off objektum- és folyamatcsoport vonatkozásában.

A mennyiségi veszély- és kockázatelemzést jelen rendszerre vonatkozóan több aspektus alapján is új irányelvekkel és megközelítéssel szükséges elvégezni, az új irányelvekkel leírt és megvalósított megközelítés egyértelműen elősegíti a polgári célú légi közlekedés biztonságigazolási rendszerének fejlesztését

Az új megközelítés igazolhatóságához egy több szinten **integrált, komplex rendszerstruktúra** felállítása szükséges.

3. FEJEZET

A REPÜLSBIZTONSÁG PRE-AKTUÁLIS SZINTJÉNEK MEGHATÁROZÁSÁRA ÉS OPTIMALIZÁLÁSÁRA TERVEZETT VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS ALAPÚ INTEGRÁLT ELJÁRÁS-BEFOLYÁSOLÓ RENDSZER

3 A REPÜLESBIZTONSÁG PRE-AKTUÁLIS SZINTJÉNEK MEGHATÁROZÁSÁRA ÉS OPTIMALIZÁLÁSÁRA TERVEZETT VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS ALAPÚ INTEGRÁLT ELJÁRÁS-BEFOLYÁSOLÓ RENDSZER

A polgári célú légi közlekedés futópálya-biztonságát elősegítendő, annak teljeskörű, integrált, prediktív, pre-online, járatspecifikus veszély- és kockázatelemzésében kívánok lépéseket tenni. Ennek oka, hogy ez az a folyamatcsoport, amely légi közlekedési fázisseregben statisztikai mutatószámok alapján jelentős a légi közlekedési esemény bekövetkezési valószínűsége, valamint a későbbi fázisokra való kihatás valószínűsége inaktív vagy látens hiba okán.

Cél tehát a futópálya-cselekményben érintett airside, pre-take-off folyamatcsoport teljes horizontális és vertikális integrációjával létrejött rendszerre vonatkozó hibafa analízissel kombinált veszély- és kockázatelemzés alapú eljárás-befolyásoló rendszer kialakítása, a veszély- és kockázatelemzés alapú rekonfigurált irányítás megvalósítása.

3.1 VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS

A veszély- és kockázatelemzés szakmai konzultációk mentén, valamint az elemi eseményekben érintett személyekre, elemekre vonatkozó előírások (1. fejezet) alapján, hipotetikus eseményvalószínűségi értékekkel a 2.1 fejezetben ismertetett integrált, komplex légiközlekedési rendszer airside, pre-take-off objektum- és folyamatcsoport modellbe képzett funkcióterének szereplőire és elemeire vonatkoztatva, hibafa elemzéssel készült.

3.1.1 A FUTÓPÁLYABALESET HIBAFÁJA

A futópályabaleset hibafa elemzése a modelltípus meghatározásából, a hibafa felépítéséből, majd annak analíziséből, végül pedig scenárió-analízisből áll.

3.1.1.1 Modelltípus

A biztonsági elemzés e fázisában legalkalmasabbnak ítélt, a rendszerösszetevők megbízhatóságának modellezéséhez, a biztonsági elemzés elvégzéséhez választott modelltípus a „Fixed failure probability model”. Ez a modell idő- és – a rendszerelemek szempontjából – környezetfüggetlen. Javíthatósággal, időfüggéssel, periodikusan tesztelt rendszerek leírására szolgáló modelltípusokkal, illetve további finomításokat igénylő modelltípusokkal a rendszer komplexitása miatt nem lehetséges számolni, a várható eredmények hitelességének megkérdőjelezhetősége okán [RSM09]. Jelen eljárásban legfőbb cél a feltételezett elemi esemény értékek alkalmazásával a rendszer gyenge pontjainak detektálása a majdani kiterjesztett, funkcionális hot spot fogalmának megalkotásához, valamint a repülésbiztonsági veszély- és kockázatelemzés alapú eljárás megalkotásához, hiszen ezen összefüggésekre, valamint a historikus, statisztikai és empirikus adatokra építve adható meg a megfelelően működő veszély- és kockázatelemzés alapú eljárás-befolyásoló rendszeralgorithmus.

3.1.1.2 Események

A hibafa az integrált, járat-specifikus rendszerre vonatkoztatott **csúcsesemény**ből: „*Baleset a futópályaművelet során*” kiindulva **négy fő köztes eseményen**:

- „légijármű és forgalmi kiszolgáló eszköz konfliktus”,
- „két légijármű konfliktusa”,
- „légijármű konfliktusa tereptárggyal, túlfutás”,

- „légijármű konfliktusa élőlényel”

és számos további köztes eseményen át vezet az elemi eseményekig. Az egyes köztes események alá tartozó hibafák az alfák.

Az elemi események definiálása, parametrizálása és a vonatkozó hipotézisek tekintetében a következő logikát követi az elemzés: az elemi események bekövetkezését illető valószínűségi értékek (Q_i) felvételekor a hazai és a nemzetközi polgári légiforgalmi szakirodalomban található előírásoknak megfelelő értékek [16/2000], valamint az emberi hibavalószínűség esetében az általános hibás emberi cselekvés valószínűségének irányadó empirikus középértéke a kiindulási alap. Az elemi eseményeket és paramétereit a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat: Elemi események és a hozzájuk felvett valószínűségi értékek, valamint azonosítójuk

| Elemi esemény leírása | ID (Elemi esemény) | Q_i | ID (Q_i) |
|--|-----------------------|----------|-----------------|
| ADC (Aerodrome Controller) hibája | BE68 | 5,50E-04 | Q |
| ALMOS rendszer hibája | BE70 | 1,00E-07 | QHS |
| AODB rendszerhiba | BE80 | 1,55E-08 | QH |
| Apron guide eszközhiba | BE99 | 1,00E-05 | QM |
| Apron guide személyi hibája | BE98 | 5,50E-04 | Q |
| A-SMGCS hiba | BE55 | 1,55E-08 | QH |
| Betegmozgató járművel kapcsolatos humán hiba | BE15 | 5,50E-04 | Q |
| Bevezető fényosz hibája | BE82 | 1,00E-05 | QM |
| Cabin crew busz - humán hiba | BE17 | 5,50E-04 | Q |
| Cargo bázis személyzeti hiba | BE10 | 5,50E-04 | Q |
| CDC (Clearance Delivery Controller) | BE26 | 5,50E-04 | Q |
| DME meghibásodás | BE102 | 1,00E-07 | QHS |
| D-VOR meghibásodás | BE100 | 1,00E-07 | QHS |
| Elsőtiszt (first officer) hiba | BE24 | 5,50E-04 | Q |
| Energiaellátás hibája (Szünetmentes áramforrások és készenléti energiaellátás együttes hibája) | BE86 | 1,00E-09 | QHT |
| Fegyveres biztonsági őr hibája | BE21 | 5,50E-04 | Q |
| Forgalmi előtéri karbantartási eszköz kezelői hiba | BE18 | 5,50E-04 | Q |
| Forgalmi kiszolgáló eszköz meghibásodása | BE87 | 5,50E-04 | Q |
| Forgalmi kiszolgáló eszköz vezetőjének hibája | BE53 | 5,50E-04 | Q |
| Futópálya felületének nemmegfelelősége, pályaalkalmatlanság | BE88 | 1,00E-05 | QM |
| Futópálya középvonalfények hibája | BE60 | 1,00E-05 | QM |
| Futópálya küszöbfények hibája | BE63 | 1,00E-05 | QM |
| Futópálya szegélyfények hibája | BE61 | 1,00E-05 | QM |
| Futópályához kapcsolódó gurulóút középvonalfényeinek hibája | BE85 | 1,00E-05 | QM |
| Futópályához kapcsolódó gurulóút szegélyfényeinek hibája | BE84 | 1,00E-05 | QM |

| | | | |
|--|-------|----------|-----|
| GAREX rendszerhiba (Kommunikációs rendszerhiba) | BE76 | 1,55E-08 | QH |
| GRC (Ground Controller) emberi hibája | BE25 | 5,50E-04 | Q |
| Gyalogos hibája | BE65 | 5,50E-04 | Q |
| HAWK meteorológiai munkaállomás hibája | BE71 | 1,00E-07 | QHS |
| ILS irányásvadó meghibásodás | BE57 | 1,55E-08 | QH |
| ILS markeradó meghibásodás | BE105 | 1,55E-08 | QH |
| ILS siklópályaadó meghibásodás | BE104 | 1,55E-08 | QH |
| Jégeső | BE90 | 1,00E-05 | QM |
| Jégtelenítési eszközkézelési hiba | BE14 | 5,50E-04 | Q |
| Jelzések és jelölések elégtelensége | BE66 | 1,00E-07 | QHS |
| Kommunikációs rendszerek hibája (Rádióforgalmazási adatkapcsolati hiba) | BE54 | 1,00E-05 | QM |
| Köd | BE96 | 1,00E-05 | QM |
| LAN RADAR hiba | BE74 | 1,55E-08 | QH |
| Légijármű parancsnokának (Capt) hibája | BE23 | 5,50E-04 | Q |
| Légijármű1 meghibásodása | BE78 | 1,00E-09 | QHT |
| Légijármű2 meghibásodása | BE79 | 1,00E-09 | QHT |
| Légkondicionáló eszközkézelési hiba | BE13 | 5,50E-04 | Q |
| Madárriasztási hiányosság | BE52 | 5,50E-04 | Q |
| MAGIC FLIGHT II hiba | BE77 | 1,55E-08 | QH |
| MATIAS rendszerhiba | BE75 | 1,55E-08 | QH |
| Megfelelő jelzés nélküli tereptárgy | BE94 | 1,00E-07 | QHS |
| NDB irányadó (útvonali) meghibásodás | BE101 | 1,00E-07 | QHS |
| PAPI hibája | BE81 | 1,00E-05 | QM |
| Poggyászfelügyelet hibája | BE22 | 5,50E-04 | Q |
| QFS adó (repülőtéri NDB) meghibásodása | BE107 | 1,00E-07 | QHS |
| Ramp officer hibája | BE5 | 5,50E-04 | Q |
| Rendőrségi hiba | BE1 | 5,50E-04 | Q |
| Repülőtéri gurítóradar hibás jele | BE56 | 1,00E-05 | QM |
| RWY STS (Futópálya foglaltság jelző) hibája | BE72 | 1,55E-08 | QH |
| SAT FÉNYTECHNIKAI RENDSZER TWR egység hibája | BE73 | 1,55E-08 | QH |
| Startszerelői hiba | BE64 | 5,50E-04 | Q |
| STOPBAR hibája | BE62 | 1,00E-05 | QM |
| Súlyos turbulencia | BE91 | 1,00E-05 | QM |
| Szélnyírás | BE92 | 1,00E-05 | QM |
| TPC (Tower Planning Controller) | BE69 | 5,50E-04 | Q |
| Tüzelőanyag feltöltési hiba | BE11 | 5,50E-04 | Q |
| Tűzoltósági hiba | BE2 | 5,50E-04 | Q |
| T-VOR meghibásodás | BE103 | 1,00E-07 | QHS |
| TWR SV (Aerodrome Control Tower Supervisor) | BE67 | 5,50E-04 | Q |
| Utashíd mozgatószelvényével kapcsolatos kezelői hiba | BE20 | 5,50E-04 | Q |

| | | | |
|--|-------|----------|-----|
| Utaslépcső mozgásával kapcsolatos kezelői hiba | BE19 | 5,50E-04 | Q |
| Utasszállító buszokkal kapcsolatos humán hiba | BE16 | 5,50E-04 | Q |
| Üzemanyag feltöltési hiba | BE12 | 5,50E-04 | Q |
| Vadvédelmi hiba | BE95 | 5,50E-04 | Q |
| Villámcsapás | BE89 | 1,00E-05 | QM |
| Villanó fény sor hibája | BE83 | 1,00E-05 | QM |
| VOT hitelesítő adó meghibásodása | BE106 | 1,00E-07 | QHS |

3.1.1.3 Hibafastruktúra

A hibafastruktúra logikai alapkoncepciója, hogy a működő rendszer minden elemét és az elemek kölcsönhatását a megfelelő helyen konzekvensen építi fel. A hibafa tehát strukturális szinten magában hordozza annak a lehetőségét, hogy a normális lefolyásútól a legszélsőségesebb paraméterekkel felálló rendszerig is szcenárióképes legyen, logikai és numerikus vizsgálat alá essen. Ennek megfelelően az egyedi esetekre illesztett, valamint rendre ismétlődő alfákat alkalmazva, illetve azok megfelelően alakított változatával felépítve áll össze a teljes hibafa. A csúcsesemény visszabontása logikai „kizáró vagy”: XOR, „és”: AND, „vagy”: OR, valamint „k az n-ből” K/N kapuk alkalmazásával történik.

A hibafa teljes felépítését a Függelék tartalmazza.

3.1.2 HIBAFÁ ANALÍZIS

[Fus75], [OAH00], [RSM09],[Szabó08]

Az analízis spektruma a csúcseseményre és a csúcseseményhez vezető alfákra terjed ki, tehát a teljes eseménytér vizsgálat alá esik.

Meghatároztam:

- a csúcsesemény bekövetkezési valószínűségét
- az elemi eseményekből alkotott minimális vágatokat – a rendszer hibatűrésének megadása, annak definiálása, hogy egyszerre hány elemi esemény hiba vezet a rendszerszintű meghibásodáshoz (csúcseseményhez)
- fontossági elemzéssel az elemi események, valamint azok paramétereinek jelentőségét, amely tartalmazza
 - a kockáztnövelési tényező értéket (Risk Increase Factor, RIF), amely azt mutatja be, hogy hányszorosára nő a csúcsesemény bekövetkezési valószínűsége, ha a vizsgált elemi esemény, (vagy elemi esemény-típus) bekövetkezési valószínűsége 1-re nő. Az (1) egyenlet a kockáztnövelési tényező (Risk Increase Factor, RIF) számítását mutatja be.

$$\text{RIF} = \frac{Q_{\text{TOP}}(Q_i=1)}{Q_{\text{TOP}}}, \quad (1)$$

ahol a Q_{TOP} a csúcsesemény valószínűsége, $Q_{\text{TOP}}(Q_i=1)$ pedig a csúcsesemény valószínűsége, ha az elemi esemény, vagy elemi esemény típus bekövetkezési valószínűsége 1-es értéket venne fel.

- kockázatcsökkentési tényező (Risk Decrease Factor, RDF) értékét, amely azt mutatja meg, hányadrészére csökken a csúcsesemény bekövetkezési valószínűsége, ha a vizsgált elemi esemény, vagy elemi esemény-típus bekövetkezési valószínűsége zérus lenne

$$\text{RDF} = \frac{Q_{\text{TOP}}}{Q_{\text{TOP}}(Q_i=0)}, \quad (2)$$

ahol a Q_{TOP} a csúcsesemény valószínűsége, $Q_{\text{TOP}}(Q_i=0)$ pedig a csúcsesemény valószínűsége, ha az elemi esemény bekövetkezési valószínűsége zérus értéket venne fel.

- Fussel-Vessely (FV) faktor az elemi esemény relatív kockázati járulékának meghatározására. Számítása: meghatározzuk a csúcsesemény valószínűségét azoknak a minimális vágatoknak a figyelembe vételével, ahol a vizsgált elemi esemény szerepel. (Ezekben az esetekben a maradó minimális vágatok nem megbízhatósága zérus értékkel szerepel). A műveletsorozat folyamán azt a relatív értéket kapjuk meg, amely megmutatja, hogy a névleges csúcsesemény bekövetkezési értékhez képest mekkora az egyes elemi események nem megbízhatósága.

Relatív magas FV érték esetén az elemi esemény jelentősége relatív magas.

- Fractional Contribution (FC) faktor – esetünkben jellemzően az FV faktorial megegyező érték.

$$\text{Számítása: FC} = 1 - \frac{1}{\text{RDF}} \quad (3)$$

- Érzékenység
Az érzékenységi tényező két csúcsesemény bekövetkezési valószínűségének hányadosa. Jelen számításokban az első a vizsgált elemi esemény vagy paraméter bekövetkezési valószínűségének tízszeres értékénél kerül számításra ($Q_{\text{top,U}}$), míg a másik a vizsgált elemi esemény vagy paraméter bekövetkezési valószínűségének tizedénél ($Q_{\text{top,L}}$). A tényező azt mutatja meg, mennyire érdemes egy

rendszerkomponenst jobbra cserélni, illetve a rendszer-megbízhatóság növelése érdekében melyik komponenseket érdemes javítani.

$$\text{Számítása: } S = \frac{Q_{\text{top,U}}}{Q_{\text{top,L}}} \quad (4)$$

3.1.3 AZ ANALÍZIS EREDMÉNYEI

Az analízis eredményei a 3.1.2 pontban felsoroltaknak megfelelően és a 2.1 fejezetben felállított modellre vonatkoztatva, a 2. táblázatban bemutatott elemi eseményekkel számolva rendre:

Csúcsesemény hipotetikus valószínűsége: $Q = 1,764E-09$

A csúcseseményre vonatkozóan összesen 2476 minimális vágat keletkezik, amelyekből az első 10, domináns minimális vágatot, bekövetkezési valószínűségüket, valamint azok százalékos részesedését a csúcsesemény bekövetkezésében a 3. táblázat ismerteti. Látható, hogy a domináns vágatok összesen 85, 35%-ban determinálják a csúcsesemény bekövetkezését. Az első 100 minimális vágat a Függelékben megtekinthető.

A rendszer lényegében csak másod-, illetve magasabb rendű minimális vágatokból áll. Kijelenthető tehát, hogy az egyszeres hibatűrés mindenképpen teljesül, tehát egy, a rendszerben fellépő meghibásodás nem vezethet a csúcsesemény bekövetkezéséhez.

3. táblázat A csúcsesemény domináns vágatai

| Nr. | Elemi esemény | | | Valószínűség | % |
|-----|---------------|------|------|--------------|------|
| 1 | BE10 | BE5 | BE65 | 1,66E-10 | 9,43 |
| 2 | BE23 | BE24 | BE52 | 1,66E-10 | 9,43 |
| 3 | BE10 | BE5 | BE52 | 1,66E-10 | 9,43 |
| 4 | BE23 | BE53 | BE64 | 1,66E-10 | 9,43 |
| 5 | BE23 | BE24 | BE95 | 1,66E-10 | 9,43 |
| 6 | BE23 | BE24 | BE53 | 1,66E-10 | 9,43 |
| 7 | BE10 | BE5 | BE53 | 1,66E-10 | 9,43 |
| 8 | BE23 | BE24 | BE65 | 1,66E-10 | 9,43 |
| 9 | BE10 | BE5 | BE95 | 1,66E-10 | 9,43 |
| 10 | BE52 | BE75 | | 8,53E-12 | 0,48 |

A teljes elemi eseménytér fontossági elemzésének numerikus eredménye a Függelékben található. Az első 10 domináns elemi esemény fontossági elemzésének numerikus eredményét a 4. táblázat ismerteti.

4. táblázat: a domináns elemi események fontossági elemzése

| Nr. | ID | Nom. Val. | FV | FC | RDF | RIF | Sens. | Sens. | Sens. |
|-----|------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------------|-------------------------|
| | | | | | | | | High. ($Q_{top,U}$) | Low. ($Q_{top,L}$) |
| 1 | BE23 | 5,50E-04 | 4,72E-01 | 4,72E-01 | 1,89E+00 | 8,58E+02 | 9,11E+00 | 9,25E-09 | 1,02E-09 |
| 2 | BE24 | 5,50E-04 | 3,77E-01 | 3,77E-01 | 1,61E+00 | 6,87E+02 | 6,65E+00 | 7,75E-09 | 1,16E-09 |
| 3 | BE5 | 5,50E-04 | 3,77E-01 | 3,77E-01 | 1,61E+00 | 6,87E+02 | 6,65E+00 | 7,75E-09 | 1,16E-09 |
| 4 | BE10 | 5,50E-04 | 3,77E-01 | 3,77E-01 | 1,61E+00 | 6,87E+02 | 6,65E+00 | 7,75E-09 | 1,16E-09 |
| 5 | BE53 | 5,50E-04 | 3,21E-01 | 3,21E-01 | 1,47E+00 | 5,84E+02 | 5,47E+00 | 6,86E-09 | 1,25E-09 |
| 6 | BE65 | 5,50E-04 | 2,26E-01 | 2,26E-01 | 1,29E+00 | 4,12E+02 | 3,81E+00 | 5,35E-09 | 1,40E-09 |
| 7 | BE52 | 5,50E-04 | 2,26E-01 | 2,26E-01 | 1,29E+00 | 4,12E+02 | 3,81E+00 | 5,35E-09 | 1,40E-09 |
| 8 | BE95 | 5,50E-04 | 2,26E-01 | 2,26E-01 | 1,29E+00 | 4,12E+02 | 3,81E+00 | 5,35E-09 | 1,40E-09 |
| 9 | BE64 | 5,50E-04 | 9,43E-02 | 9,43E-02 | 1,10E+00 | 1,72E+02 | 2,02E+00 | 3,26E-09 | 1,61E-09 |
| 10 | BE98 | 5,50E-04 | 6,87E-02 | 6,87E-02 | 1,07E+00 | 1,26E+02 | 1,72E+00 | 2,85E-09 | 1,65E-09 |

A 3.1.2 pontban bemutatott fontossági elemzés faktorai (RIF, RDF, FV, FC, Sens.) szerinti elemi esemény értékelési eredmények a Függelékben találhatóak.

Az elemi események paramétereinek fontossági elemzésének alapján a magasan kiemelkedő, „Q” azonosítóval rendelkező paraméter jellemzően az emberi hibák esetében alkalmazott állandó.

5. táblázat Az elemi események paramétereinek fontossági elemzése

| ID | Nom. Val. | FC | RDF | RIF | Sens. | Sens. High. ($Q_{top,U}$) | Sens. Low ($Q_{top,L}$) |
|-----|-----------|----------|----------|----------|----------|--------------------------------|------------------------------|
| Q | 5,50E-04 | 1,00E+00 | 2,73E+05 | 5,67E+08 | 9,12E+04 | 1,54E-06 | 1,69E-11 |
| QH | 1,55E-08 | 7,73E-02 | 1,08E+00 | 2,49E+06 | 1,82E+00 | 2,99E-09 | 1,64E-09 |
| QM | 1,00E-05 | 7,05E-02 | 1,08E+00 | 1,11E+07 | 1,92E+00 | 3,18E-09 | 1,65E-09 |
| QHT | 1,00E-09 | 1,25E-03 | 1,00E+00 | 1,25E+06 | 1,01E+00 | 1,78E-09 | 1,76E-09 |
| QHS | 1,00E-07 | 1,11E-04 | 1,00E+00 | 5,67E+08 | 1,00E+00 | 1,77E-09 | 1,76E-09 |

A numerikus eredmények és a logikai elemzések alapján kijelenthető, hogy a futópálya és környezetének kalkulált biztonsági szintje az ismertett paraméterekkel felépített hibafa alapján a nagybiztonságú rendszerek osztályozásának megfelelő kategóriákhoz illesztve a **legmagasabb biztonságintegritási osztályba sorolható.**

Az elemi események és azok paramétereinek fontossági elemzése alapján (5. táblázatban foglalt eredmények) megállapítható, hogy a futópálya-baleset bekövetkezési valószínűségét befolyásoló tényezők közül az **emberi hibás cselekvés abszolút szignifikáns.**

Az elemi események fontossági elemzése és a minimális vágatok kiértékelése alapján továbbá látható, hogy az emberi cselekvések közül kiemelkedő a légijármű parancsnok hibarelevanciája (BE23). Az elsőtiszt (BE24), ramp officer (járatkiszolgálási felügyelő, BE5) és a forgalmi kiszolgáló eszközök vezetőinek hibajelentősége (BE53) megközelíti a légijármű parancsnokának hibarelevanciáját.

Alsóbbrendűek, de továbbra is kiemelt jelentőségűek a repülőtér folyamataiban azok a hibák, ahol az emberi cselekvés tetten érhető. Ez utóbbi eredmények alapján kijelenthető, hogy az indirekt vagy látens hibák különösen kiemelt jelentőségűek.

A Függelékben ismerttetett további adatok értelmében kijelenthető, hogy légiforgalmi irányítás emberi hibájának befolyását megelőzi a **légiforgalmi irányítás döntését segítő eszközök** meghibásodása: többek mellett az A-SMGCS hiba (BE55), és a MATIAS rendszerhiba (BE75).

A **repülőtéri infrastruktúra** meghibásodásának jelentősége – mint például a PAPI meghibásodása (BE81) – szintén domináns, megközelíti ugyanis a légijármű vezetőinek hibás döntésének jelentőségét.

A futópálya-baleset valószínűségét befolyásoló tényezők közül az emberi döntést segítő eszközök – beleértve a repülőtér infrastruktúráját és annak állapotát is – szignifikáns.

A futópálya-baleset bekövetkezési valószínűségét befolyásoló tényezők alapján a légi jármű meghibásodása kisebb jelentőségű, mint a légi jármű vezetőinek vagy a légiforgalmi irányításnak döntését segítő eszközök meghibásodása.

Mindezen eredményeket a rendelkezésre álló szakirodalmi és gyakorlati ismeretekkel kiegészítve az integrált, járatszintű, dinamikus modell megalapozásához használok a disszertáció további fejezeteiben.

3.1.4 HIBAFÁ SZCENÁRIÓ-ANALÍZIS

[Mey10b]

Hibafa scenárió analízis a következő scenáriócsoporthoz történik:

- Műszaki karakterisztikai változtatások
- Járatkarakterisztikai változások
- Meteorológiai jellemzők változásai
- Operatív változtatások.

Az alábbi analízis a műszaki karakterisztikai változtatások scenáriócsoporthoz mutatja be. Az egyes scenáriók a következő változtatásokkal épülnek fel:

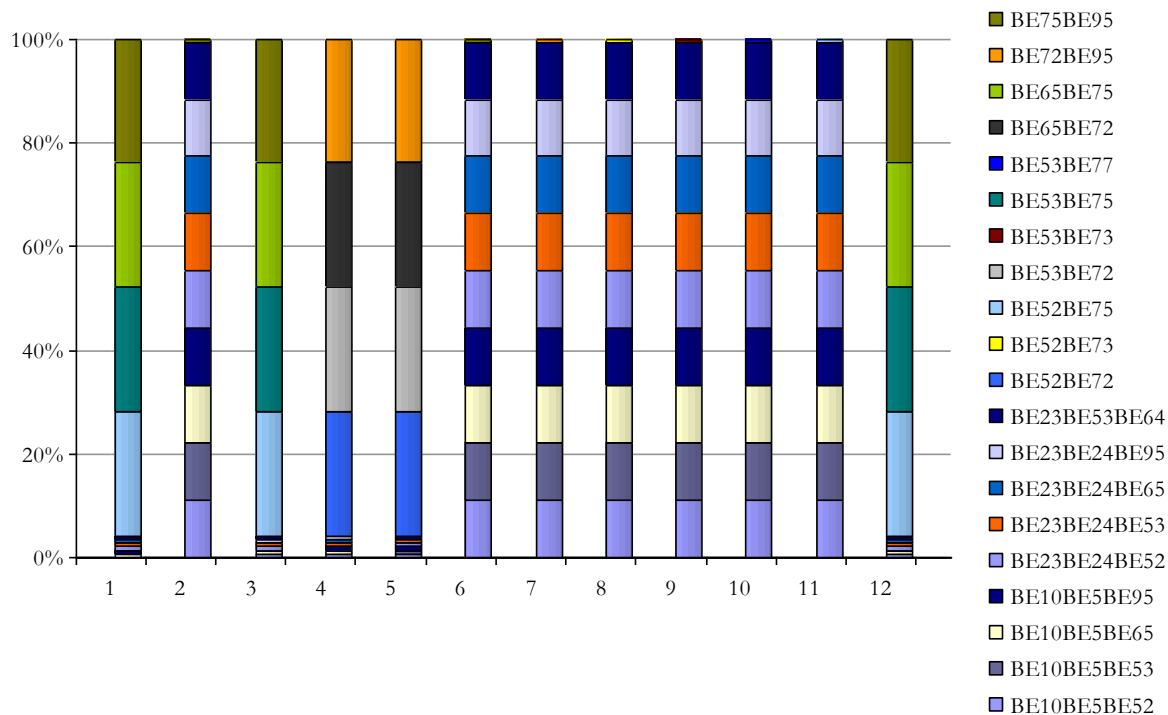
A rendszergyengítés minden esetben két nagyságrendű elemi esemény bekövetkezési valószínűség növekedést jelent.

1. MATIAS (Automatizált Légiforgalmi Irányítási Rendszer) rendszergyengítés
2. A-SMGCS (Földfelszíni Mozgások Ellenőrző és Irányító Fejlesztett Rendszere,) rendszergyengítés
3. MATIAS rendszergyengítés és A-SMGCS rendszergyengítés együttes fellépése
4. RWY STS (Futópálya Foglaltság Jelző) rendszergyengítés
5. A-SMGCS rendszergyengítés és RWY STS rendszer gyengítésének együttes fellépése
6. LAN RADAR rendszergyengítés
7. ILS (Műszeres leszállítórendszer) irányítósávos rendszergyengítés
8. ILS irányítósávos és ILS sikló pályaadó együttes rendszergyengítése
9. D-VOR (VHF körsugárzó rádió irányító berendezés) rendszergyengítés
10. DME (Távolságmérő berendezés) rendszergyengítés
11. NDB (Irányítatlan sugárzású rádió irányító) irányító (útvonal) és QFS adó (repülőterei NDB) együttes rendszergyengítése
12. A-SMGCS rendszergyengítés, MATIAS rendszergyengítés és LAN RADAR rendszergyengítésének együttes fellépése.

Az egyes scenáriókban a csúcseemény bekövetkezési valószínűségét, valamint a domináns minimális vágatokat a Függelék mutatja be.

A kívánt biztonsági szint megtartása a fenti scenáriókban nagyságrendileg teljesül.

Az egyes scenáriók első tíz minimális vágata minden esetben közel 100%-os lefedettséggel determinálja a csúcseemény bekövetkezését. Így a 9. ábrán az első tíz minimális vágatot, mint 100%-os eseményteret alapul véve, az egyes scenáriókban előforduló minimális vágatok százalékos arányát kivetítve mutatom be.



9. ábra: az egyes scenáriókban előforduló minimális vágatok százalékos aránya

A 12 szcenárió analízise összesen 20 különböző domináns minimális vágatot eredményezett. Az egyes szcenáriók analízisének kiértékelésével látható, hogy a hibafa már egy-egy elemi esemény bekövetkezési valószínűségének növelése esetén rendszerszintű deformitást szenved, hiszen a minimális vágatok elemi eseménykombinációinak láncolatában fellelhető elemkészlet eltér az alap hibafa elemzésekor felállított eseménykombinációk elemkészletétől. Mindemellett kijelenthető, hogy a szcenárió analízis során kapott minimális vágatok elemkészletében az alap hibafa elemi eseményei rendre megjelennek, ami a domináns elemi események jelentőségét tovább erősíti. Látható ugyanakkor a domináns elemi események státusz-egzisztenciájának esetérzékenysége, ami alapján belátható az analízis létjogosultsága bármely karakterisztikai változtatás esetén.

Mindezek okán a hibafa analízis eredményeit figyelembe véve kerül sor a következő fejezetben bemutatott fuzzy következtetéssel meghatározott repülésbiztonsági szint alapú Fault Tolerant Control eljárás-befolyásoló rendszer bevezetésére.

3.2 FUZZY KÖVETKEZTETŐ RENDSZER A REPÜLÉSBIZTONSÁGI SZINT MEGHATÁROZÁSÁRA

A paraméterfüggő eljárás-befolyásolás nem idegen a polgári légiközlekedés gyakorlatától, hiszen a már 2. fejezetben említett meteorológiai kondícióknak, csökkent látási viszonyoknak eljárás-befolyásoló jelentősége van, inherens módon hordozzák az eljárások menetének definitív befolyásolását, de példaként említhető a forgalmi értékek függvényében szervezett légtérsektorizáció is [Mey09a]. Másfelől azonban kijelenthető, hogy a **kutatások során feltárt**, a hibafa-elemzés során is igazolást nyert **számos repülésbiztonsági relevanciával rendelkező domináns aktuál-faktor hatása az eljárások befolyásolásának szintjén nem jelenik meg**.

Jelen kutatásban az eljárás-befolyásolás bázisát a fenti fejezetekben ismertetett modellekre vonatkozóan a veszély- és kockázatelemzés alapú fuzzy következtető rendszerrel képzett repülésbiztonsági szint adja meg, amelynek részét képezik mindazon repülésbiztonsági relevanciával rendelkező aktuál-faktorok, amelyek az előzetes rendszerelemzések során bizonyítottaknak megfelelően mérvadónak tekinthetők.

3.2.1 FUZZY PREDIKTÍV ALARP KÖVETKEZTETŐ RENDSZER A REPÜLÉSBIZTONSÁGI SZINT MONITOROZÁSÁRA

A vizsgált rendszerre vonatkozó hibafa analízisből és a hibafa scenárió analíziséből igazolást nyert az a hipotézis, miszerint a repülésbiztonsági szint meghatározásakor az airside, pre-take-off műveletekre vonatkozóan, a domináns elemi eseményekben érintett egységek megannyi relációban **interdependens** viszonyban állnak.

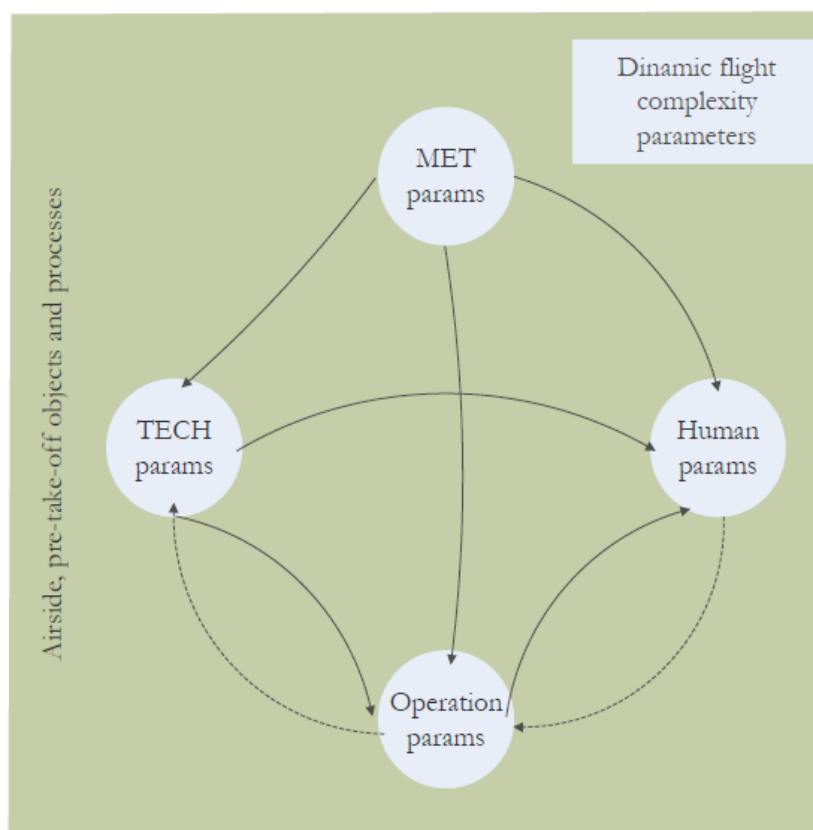
A fuzzy modellek megalkotása során első lépésként ezen elemi eseményeket csoportokba foglalva, globális paramétercsoportokra vonatkoztatva készült el az előzetes repülésbiztonsági szint meghatározására az első fuzzy modell, a Fuzzy Prediktív ALARP szabályozó (FPALARP), amelynek fuzzy következtető rendszerét, valamint a modell bemutatását az alábbiak szemléltetik.

Az FPALARP következtetési rendszer felépítése, szerkesztése és megfigyelése a MATLAB Version 7.2.0.232 (R2006a) Fuzzy Logic Toolbox segítségével történik. A feladat szempontjából elsődleges részei a Fuzzy Inference System (FIS) vagy FIS Editor, ami a fuzzy következtető rendszermodell felépítésére szolgál, ezen belül alkalmas a tagsági függvények létrehozatalára, a szabályozó egység megadására és a kimeneti, defuzzifikáló egység felvitelére. A Membership Function Editor a tagsági függvények tulajdonságainak megadását teszi lehetővé. További moduljai a szabályok felvitelére és súlyozására alkalmas Rule Editor és a szabályok grafikus reprezentációját

elősegítő Rule Viewer. Az eredmények grafikus megjelenítését a Surface Viewer modul végzi. A felsorolt modulok dinamikusan összekapcsolt rendszerben, grafikus felületek segítségével működtetik a modellalkalmazást. Az elfogadható határkockázat kérdését válaszolja meg. Az ehhez köthető mérvadó kockázatfogadási kritériumok (ALARP, GAMAB, MEM) közül a polgári légitársaságokban használatos ALARP elvet veszi alapul az értekezés, így a modell is.

3.2.1.1 Antecedensek

Az előzetes kutatások alapján kijelenthető, hogy a rendszer előzetes vizsgálata szerint a biztonsági szempontú elemzés során mérvadónak tekinthető állapot-átmenetek **folytonosnak** tekinthetőek, hiszen az időjárás megváltozása, az emberi teljesítőképesség megváltozása, az üzemi paraméterek megváltozása, vagy a műszaki paraméterek terheltségének megváltozása csak igen nagy ráfordítással, aránytalanul nagy befektetéssel kezelhető diszkrét állapotváltozások, elemek sokaságaként. Mindezek alapján a rendszert érő terhelés, a járatkomplexitás folytonos meghatározhatóságához, figyelembe vételéhez a rendszerparaméterek kölcsönös függelmi kapcsolata, valamint az állapotátmenetek a 10. ábra szerint írhatóak le:



10. ábra: Az interdependenciában érintett dinamikus paramétercsoportok (Dynamic flight complexity parameters) kapcsolatrendszer az airside, pre-take-off objektum- és eljárásrendszerrel

A kördiagram paramétercsoportos alapmátrixa a 6. táblázatban foglaltaknak megfelelően:

6. táblázat: A kördiagram paramétercsoportos alapmátrixa

| | MET | TECH | HUM | OP |
|------|-----|------|-----|----|
| MET | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TECH | 1 | 0 | 0 | 1 |
| HUM | 1 | 1 | 0 | 1 |
| OP | 1 | 1 | 1 | 0 |

A meteorológiai paraméterek (10. ábra: *MET params*) terheltségének növelése egyaránt hatással van az üzemi paraméterekre (10. ábra: *Operation params*), a technológiai paraméterekre (2. ábrán: *TECH params* és a humán paraméterekre (10. ábra: *Human params*) is, hiszen a meteorológiai paraméterek normál tartományától való eltérése újabb eljárások érvénybe lépését, újabb eszközök használatát, korlátozások bevezetését eredményezi. Ilyen például a romló látási viszonyok esetén az LVP1 (Low visibility procedures, rossz látási körülményekre kidolgozott eljárások), LVP2 érvénybe léptetése, amelynek következtében a repülésbiztonság alappilléreként tekinthető eljárás-rendszer változik meg. Az üzemi, műszaki, vagy meteorológiai paraméterek terheltségének növelésével a humán paraméterek terheltsége mindenféleképpen növekszik, ugyanakkor alulterheltség esetében a munkavégzés hatékonysága csökken, ami majdan a modellben kockázatnövelő tényezőként jelenik meg [Izsó07].

Az egyes paramétercsoportok elemei vagy szereplői, a paramétercsoport terheltségének megváltozása és azok relációi bővebben a következők szerint írhatóak le:

A **meteorológiai paraméterek** megváltozása az apron tevékenységeket, a gurulással összefüggő műveleteket, valamint a futópályaműveleteket és ezek légiforgalmi irányítás-oldali feladatait egyaránt döntően befolyásolja. A meteorológiai paraméterek közül az olyan, eljárásrendet döntően befolyásoló paraméterek, mint a látástávolság, vagy felhőalap az IMC (Instrument Meteorological Conditions), vagy LVC (Low Visibility Conditions) feltételek teljesülését, ezáltal a PREP, LVP1, LVP2-es fázisok érvénybe lépését eredményezik. Mindezek a következőket vonják maguk után, a teljesség igénye nélkül:

- kapacitáscsökkentő intézkedések bevezetése;
- VFR (Visual Flight Rules) látás szerinti repülések felfüggesztése;
- leszállási engedély/átstartolás megadása szigorúbb feltételrendszerrel történik;
- ILS érzékenységi területtel kapcsolatos mozgásos korlátozások, ILS kritikus területein folyó tevékenysége tiltása;
- szigorúbb térköz biztosítási intézkedések a végső egyenesen az érkező légi járművek között;

- földi fények üzemeltetése;
- fénytechnika üzemeltetésével kapcsolatos szabályok szigorítása (RWY megállító keresztfény sorok és védelmi fények üzemeltetése);
- legurulással kapcsolatos szabályok megváltozása;
- futópályamozgásokkal kapcsolatos korlátozások;
- SMR gurítóradar üzemeltetése, annak szabályozása.

Látható, hogy a meteorológiai paraméterek megváltozása számos intézkedést von maga után a jelenlegi eljárásrend esetében is, ugyanakkor megjegyzendő, hogy megannyi érintett területre nincsen közvetlenül adott esetre vonatkozó intézkedési terv, amelyek a repülésbiztonságban látens, vagy direkt tényezőket képeznek a kutatásban feltárt összefüggések szerint. Ehhez nyújthat segítséget az eljárás-befolyásoló rendszer kiépítése, ami a még szabályozatlan területeket is integrálva, egy rendszerbe képezi a repülésbiztonsági aspektusban érintett egységeket.

Az **üzemi paraméterek** megváltozása alatt a következőket érthetjük a teljesség igénye nélkül:

- utaslétszám változtatása
- tervezettől eltérő teheráru (cargo) mennyiségi, minőségi változása
- a járatot érintő apron tevékenység forgalmi okokból eredő megváltozása
- résidőkiosztással kapcsolatos változtatás
- bármely, járatkiszolgáló egység munkarendjét eredményező változtatás
- bármely speciális (vészhelyzeti) reakcióterv érvénybe léptetése a légi jármű környezetében

, ugyanakkor jelenleg mindezek nem feltétlenül eredményeznek a járat előkészítésével összefüggésben eljárásrendbeli változtatásokat, holott a repülésbiztonsági kockázatot a kutatások értelmében növelik. Ehhez is segítséget kíván nyújtani az előzetes repülésbiztonsági értékeléssel következtető eljárás-befolyásoló modell.

A **humán paraméterek** megváltozása alatt a következőket érthetjük a teljesség igénye nélkül:

- adott járatra rendelt személyzet (cockpit crew) létszámának, összetételének megváltoztatása
- adott járatra rendelt földi kiszolgáló egység személyzet-létszám megváltozása

A személyzet megváltozása maga után vonhatja például erősebb korlátozások érvénybe léptetését, amennyiben a légi jármű vezetői kevesebb repült órával rendelkeznek, mint az eredetileg járatához rendelt személyzet. Kategóriás megközelítés esetén a pályavég ILS felszereltsége mellett a légi jármű vezetőjének vonatkozó paraméterei is determinálják a használat aktuális szabályait.

Bizonyos meteorológiai, emberi és műszaki paraméterek együttállása tehát okozhatja a tervezett repülés végrehajthatóságának megszüntetését, vagy forgalmi átszervezésekre lehet szükség.

A **technológiai paraméterek** megváltozása alatt a következőket érthetjük a teljesség igénye nélkül:

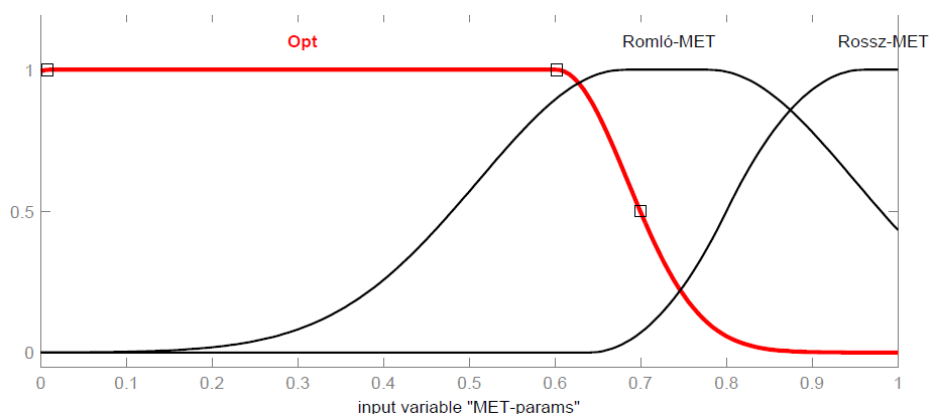
- léggépjármű műszaki állapotának megváltozása,
- földi kiszolgáló eszközök állapotának megváltozása
- földi, vagy fedélzeti telepítésű navigációs rendszer állapotának megváltozása

Mіндеzen tényezők a repülésbiztonsági szintet befolyásoló tényezők, amelynek megállapítására és kezelésére vonatkozóan a következő fejezetek adnak választ.

Az elkövetkező alfejezetekben bemutatott, az egyes paramétercsoportokra vonatkozó tagsági függvények megválasztása és az átlapolási mértékek meghatározása két fő aspektus alapján a következők szerint került kiválasztásra: az egyik a valós rendszer becsült jellegéből adódó kritériumok szempontrendszer, a másik a fuzzy következtető algoritmus megfelelő működésének megkívánt viselkedése, amire tesztelés útján jutott a kutatási folyamat.

3.2.1.1.1. A meteorológiai paraméterek tagsági függvényei

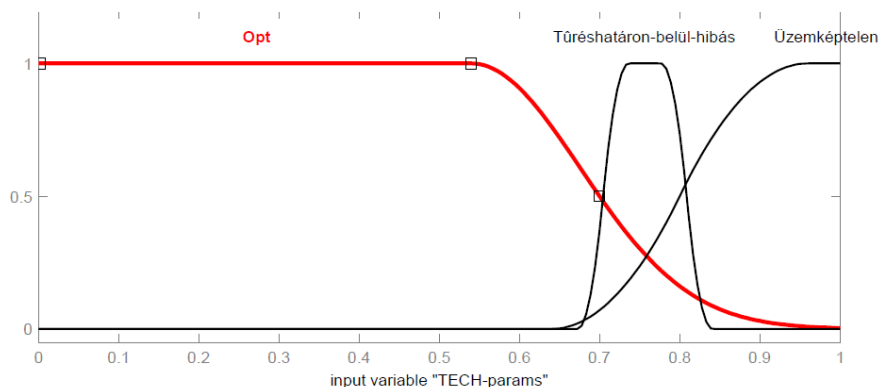
Az FPALARP következtetési rendszer meteorológiai paramétereinek tagsági függvényei (11. ábra) a meteorológiai paraméterek szabályzóba vitelének egy lehetséges módját mutatják. Valós rendszer-alkalmazás esetén a kalibrálást újra el kell végezni. A modell három tagsági függvénnyel az optimális időjárási körülményeket (ábrán: Opt), a romló meteorológiai körülményeket (ábrán: Romló-MET) és a rossz (ábrán: Rossz-MET) meteorológiai körülményeket különbözteti meg.



11. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer meteorológiai paramétereinek tagsági függvényei

3.2.1.1.2 A műszaki paraméterek tagsági függvényei

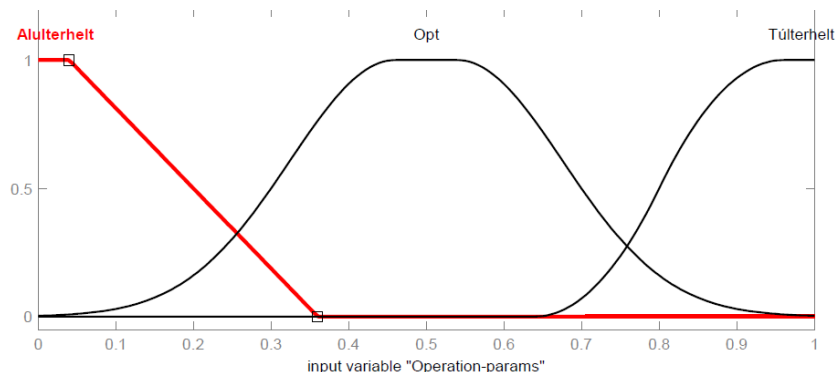
Az FPALARP következtetési rendszer műszaki paramétereinek tagsági függvényei (12. ábra) a műszaki, technológiai paraméterek szabályzóba vitelének egy lehetséges módját mutatják. Valós rendszer-alkalmazás esetén a kalibrálást újra el kell végezni. A modell három tagsági függvénnyel az optimális műszaki körülményeket (ábrán: Opt), a romló műszaki körülményeket (ábrán: Tűréshatáron-belül hibás) és a rossz (ábrán: Üzemképtelen) műszaki körülményeket különbözteti meg.



12. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer technológiai paramétereinek tagsági függvényei

3.2.1.1.3 Az üzemi paraméterek tagsági függvényei

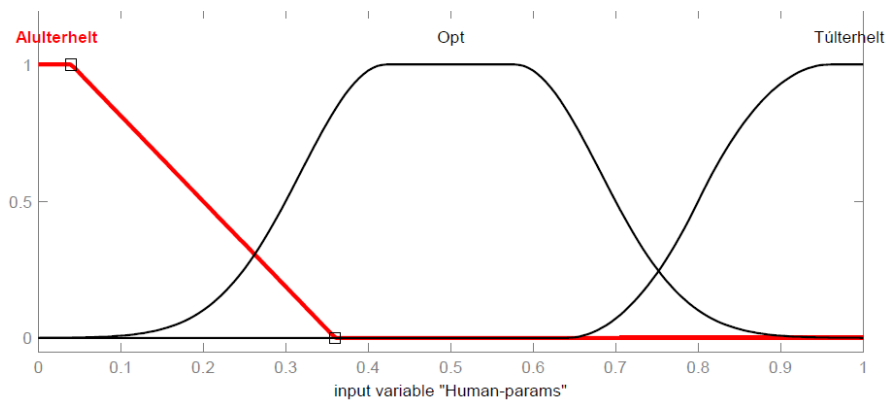
Az FPALARP következtetési rendszer üzemi paramétereinek tagsági függvényei (13. ábra) az üzemi paraméterek szabályzóba vitelének egy lehetséges módját mutatják. Valós rendszeralkalmazás esetén a kalibrálást újra el kell végezni. A modell három tagsági függvénnyel az alulterhelt üzemi körülményeket (ábrán: Alulterhelt), az optimális üzemi körülményeket (ábrán: Opt), és a túlterhelt (ábrán: Túlterhelt) üzemi körülményeket különbözteti meg.



13. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer üzemi paramétereinek tagsági függvényei

3.2.1.1.4 A humán paraméterek tagsági függvényei

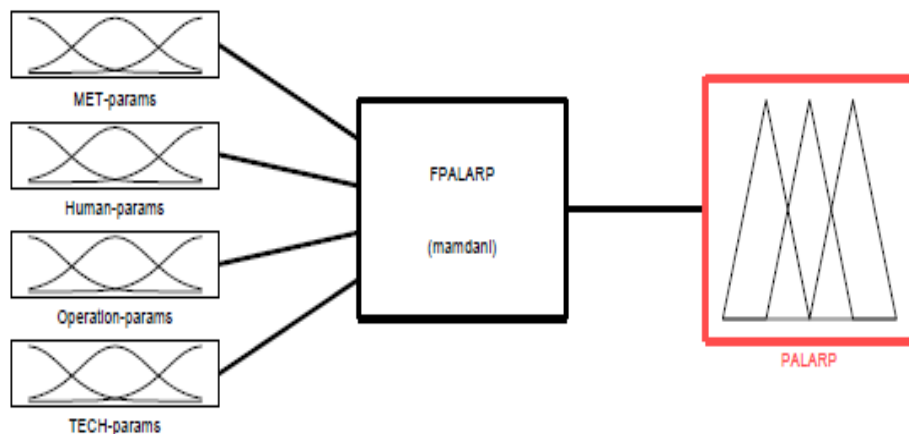
Az FPALARP következtetési rendszer humán paramétereinek tagsági függvényei (14. ábra) a humán paraméterek szabályzóba vitelének egy lehetséges módját mutatják. Valós rendszeralkalmazás esetén a kalibrálást újra el kell végezni. A modell három tagsági függvénnyel az alulterhelt személyt (ábrán: Alulterhelt), az optimálisan terhelt személyt (ábrán: Opt), és a túlterhelt fázist (ábrán: Túlterhelt) különbözteti meg.



14. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer humán paramétereinek tagsági függvényei

3.2.1.2 Implikáció

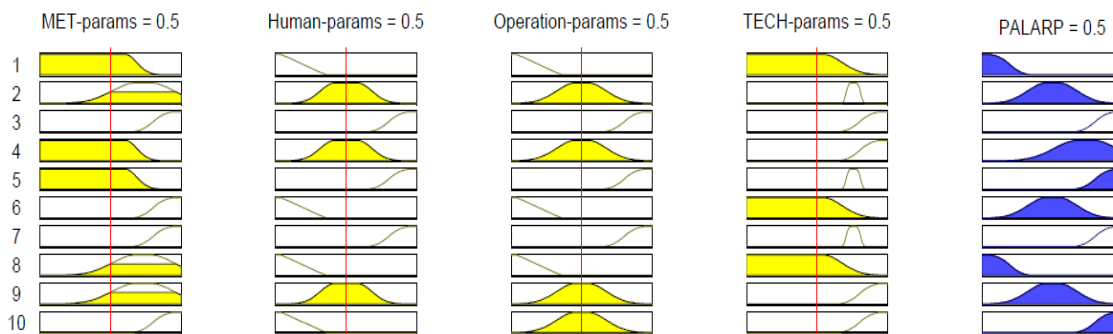
A következő gépet és a szabálybázis vizuális megjelenítését sorrendben a 15. ábra és a 16. ábra mutatja be.



15. ábra: Az FPALARP szabályozó

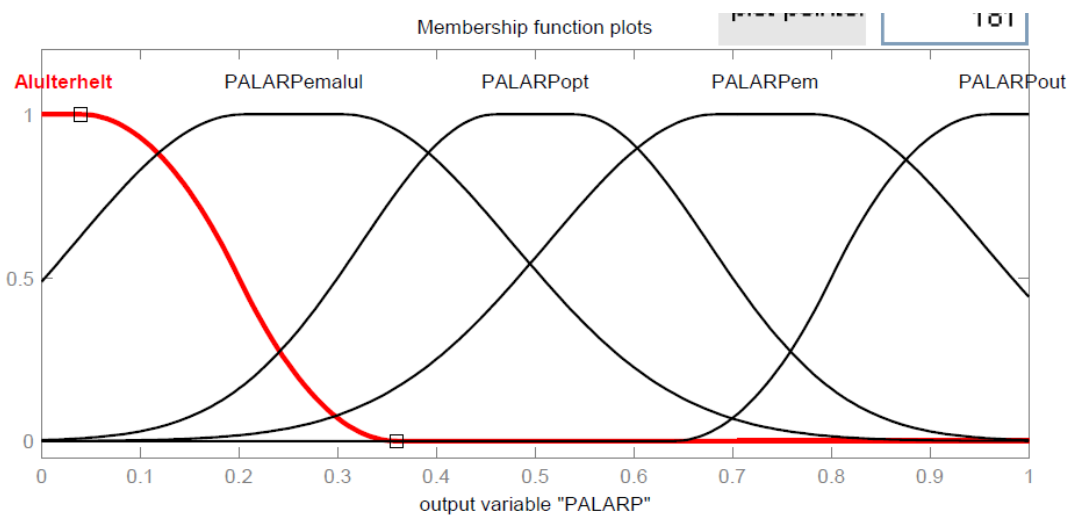
A szimulációk során számos variáns megmutatta, hogy a tagsági függvények halmazának magja (core, azaz 1 tagsági értékű α vágata) rendkívül nagy mértékben befolyással van az ítéletkalkulus meghozatalában.

A 16. ábra a vizuálisan megjelenített szabálybázis töredékét mutatja be, hiszen a szabálybázis 81 szabályból áll. A szabályozó működésének alapkritériuma, hogy a valós rendszer-paramétereket mindinkább kövesse. Az ítéletkalkulus kialakításának egyik alapja a pszichológiai megterhelés által kiváltott stressz és a munkavégzés hatékonysága közötti összefüggés (18. ábra), hiszen a meteorológiai paraméterek romlása, operatív paraméterek megnövekedése, illetve az ismert technológiai paraméter-romlások a stressz-szint növekedését eredményezik. Az ALARP tartomány meghatározása a PALARP tagsági függvényeken látható (17. ábra), amelyek rendre követik az ALARP elvnek megfelelő kockázatosztályozási szempontok mentén felépített kockázati tartományokat: alulterhelt, biztonságilag túlméretezett a rendszer, közelít az alulterhelthez (PALARPemalu), megfelelő a biztonsági szint (PALARPopt), közel elfogadhatatlan biztonsági szint (PALARPem), elfogadhatatlanul alacsony biztonsági szint (PALARPout).

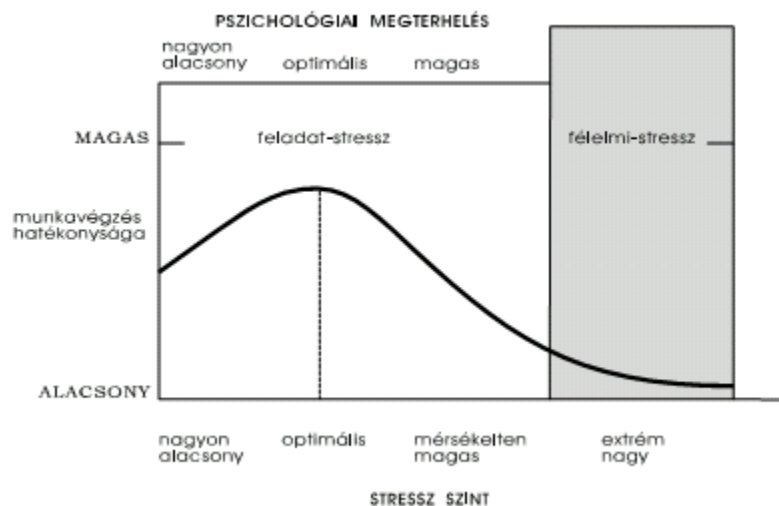


16. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer szabálybázisának vizuális megjelenítése - részlet

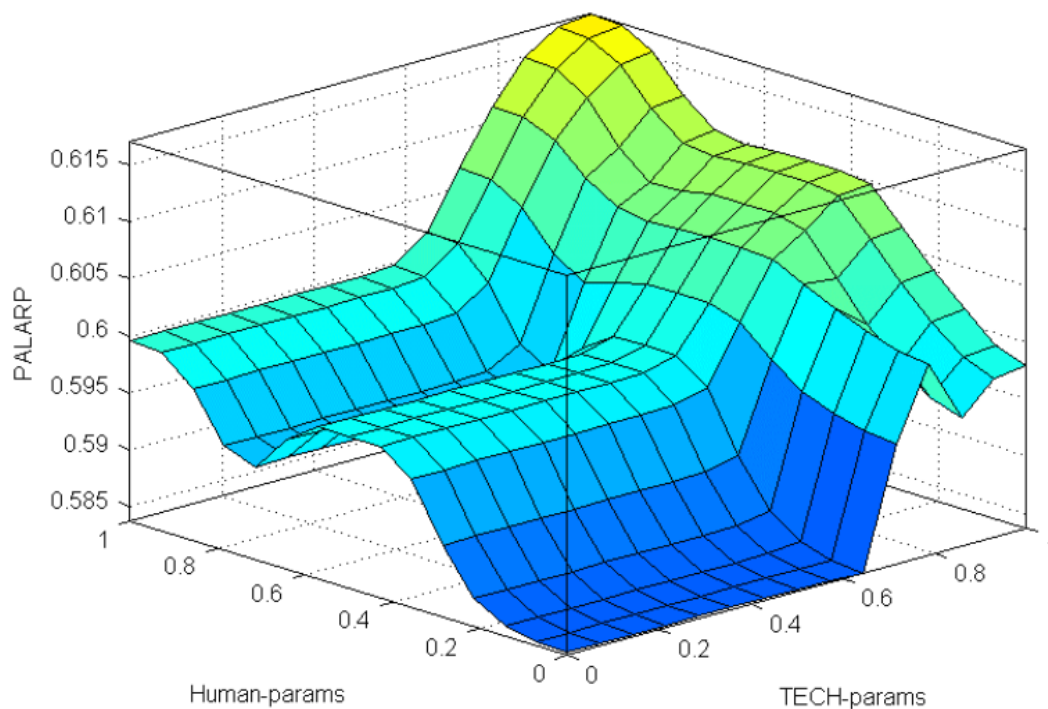
A következtetési felületeket a 19-21. ábrák mutatják be.



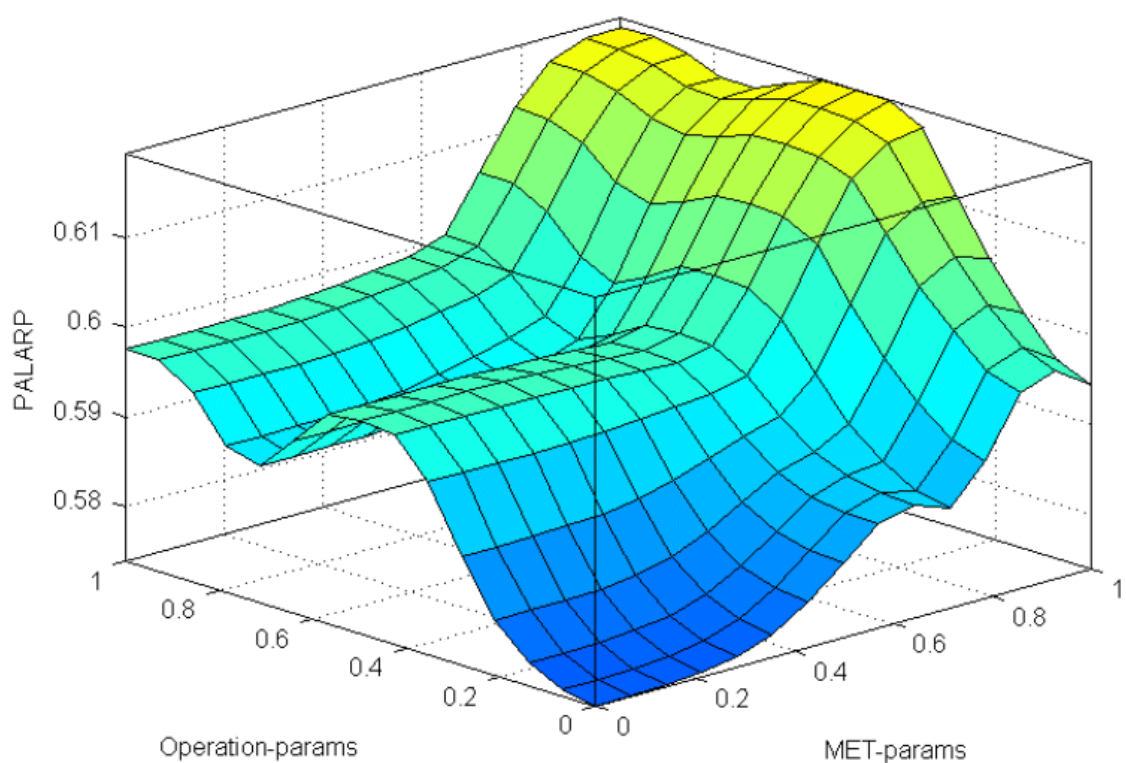
17. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer PALARP paramétereinek tagsági függvényei



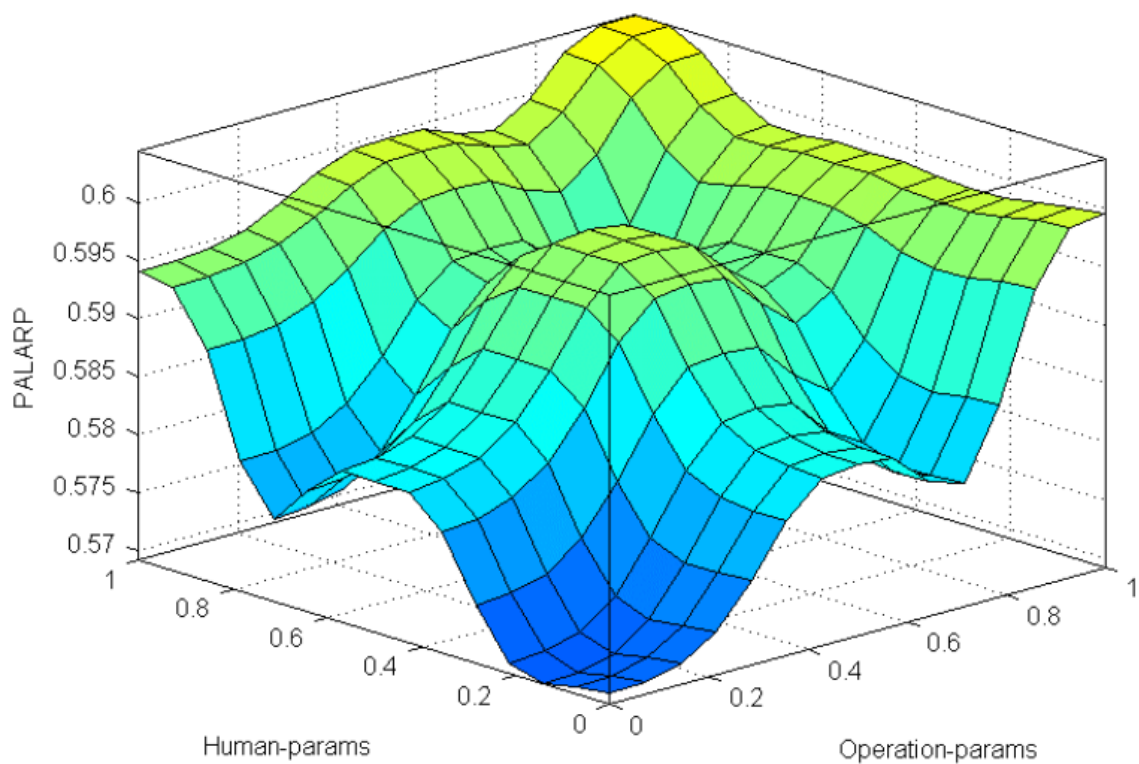
18. ábra: A pszichológiai megterhelés által kiváltott stressz és a munkavégzés hatékonysága közötti összefüggés [Izsó07]



19. ábra: A PALARP következtető rendszer humán-tech paraméter-összefüggéseinek felülete



20. ábra: A PALARP következtető rendszer operation-met paraméter-összefüggéseinek felülete



21. ábra: A PALARP következtető rendszer humán-operation paraméter-összefüggéseinek felülete

Az ítéletkalkulus kialakításánál is figyelembe kell venni, hogy az egy hiba elv nem terjeszthető ki a paramétercsoportokra, hiszen a paramétercsoport elméleti halmaz, azon belül – például az emberi hibák esetében szélsőséges esetben eljuthat a rendszer a több hiba egyidejű fellépéséig is. A tagsági függvények megválasztása is ennek megfelelően történt, a biztonság irányába „téved” a rendszer. Ebben a kontextusban mindezt kiterjesztve értelmezve tehát egy paramétercsoport állapotváltozása bár nem vezet a tiltás konzekvenshez, ugyanakkor a kockázatnövelő hatásával számol a modell.

Az egyes propozíciók logikai „vagy” összekapcsolásának eredményeként létrejövő propozíció az u.n S-normával (t-konormával) reprezentálható.

A fenti modell önmagában elméleti eredményeket szolgáltat, a repülésbiztonsági kockázat alapú döntés alapjainak átfogó bemutatása, a bemeneti oldal kibontása ugyanakkor feltétlenül szükséges a valós rendszer közelítéséhez. Ennek érdekében elkészült a következőkben ismertetett FIPALARPfull fuzzy szabályozó, ami a már a hibafa-elemzés során is alkalmazott elemi eseményeknek megfelelően 69 bemenettel rendelkezve működik.

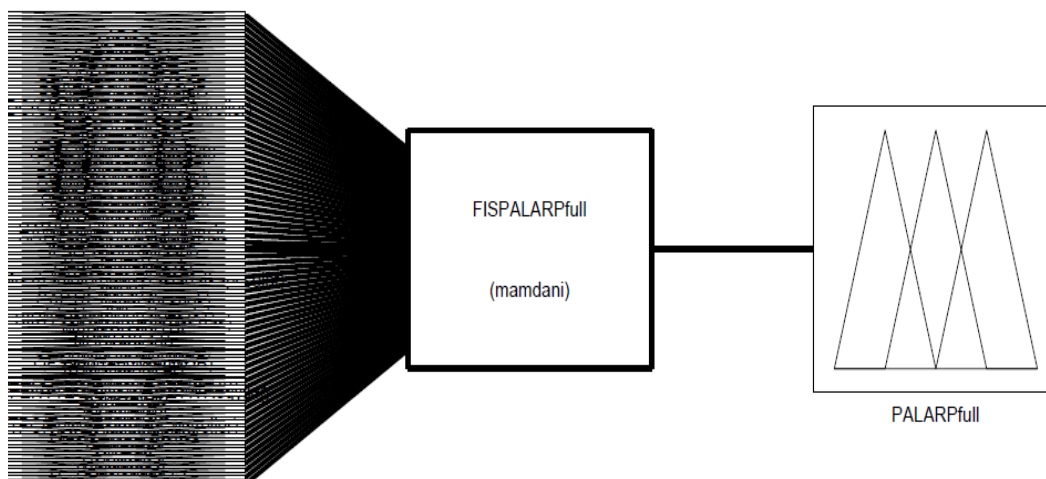
3.2.2 A FIPALARPFULL KÖVETKEZTETÉSI RENDSZER ÉS A RENDSZEREN VÉGZETT SZIMULÁCIÓK

A valós alkalmazás minél megfelelőbb közelítése érdekében a fuzzy (Mamdani) következtető rendszer bemenet-számának megnövelésének irányába indult a kutatás.

3.2.2.1 A FIPALARPfull FIS jellemzői

A FIPALARPfull következtető rendszer felépítése a 22. ábra szerint láthatóan bemeneti elemszámát tekintve lényegesen eltér a FIPALARP konstrukciótól, hiszen a hibafa-elemzés során alkalmazott teljes elemi eseménytérnek megfelelő bemenetekkel rendelkezve, 69 bemenettel működik⁵⁰.

⁵⁰ Eltekintve attól a két bemenettől, amelyeket prediktív, pre-online jelleggel nem lehet figyelembe venni a hibafa teljes elemi eseménytérre.

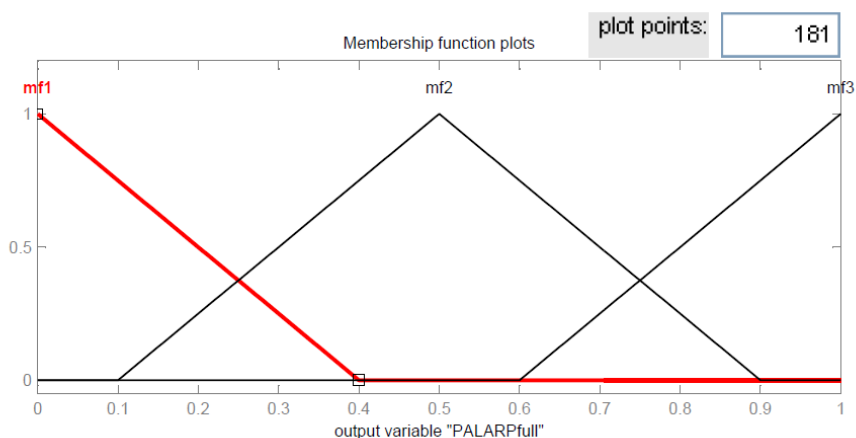


22. ábra: A FISPALARPfull következtető rendszer sematikus váza

Elemzéséből adódóan azonban a szabályrendszer és a partíció egyszerűsítésére volt szükség. Egyrészt az alkalmazott szoftver nem alkalmas bizonyos szabálysám feletti implikációra, másrészt az egyes fuzzy proposíciók számosságából adódóan a tagsági függvények megválasztásának finomítása sem történt meg, így a fuzzy proposíciók mindegyikénél a „trimf”, vagy háromszög-függvény felhasználásával következtet a rendszer (23. ábra).

A szabálybázis grafikusán megjelenített részletét a 41. ábra (Függelék) mutatja be.

A következtetési felületre egy példát a 40. ábra (Függelék) szemléltet.



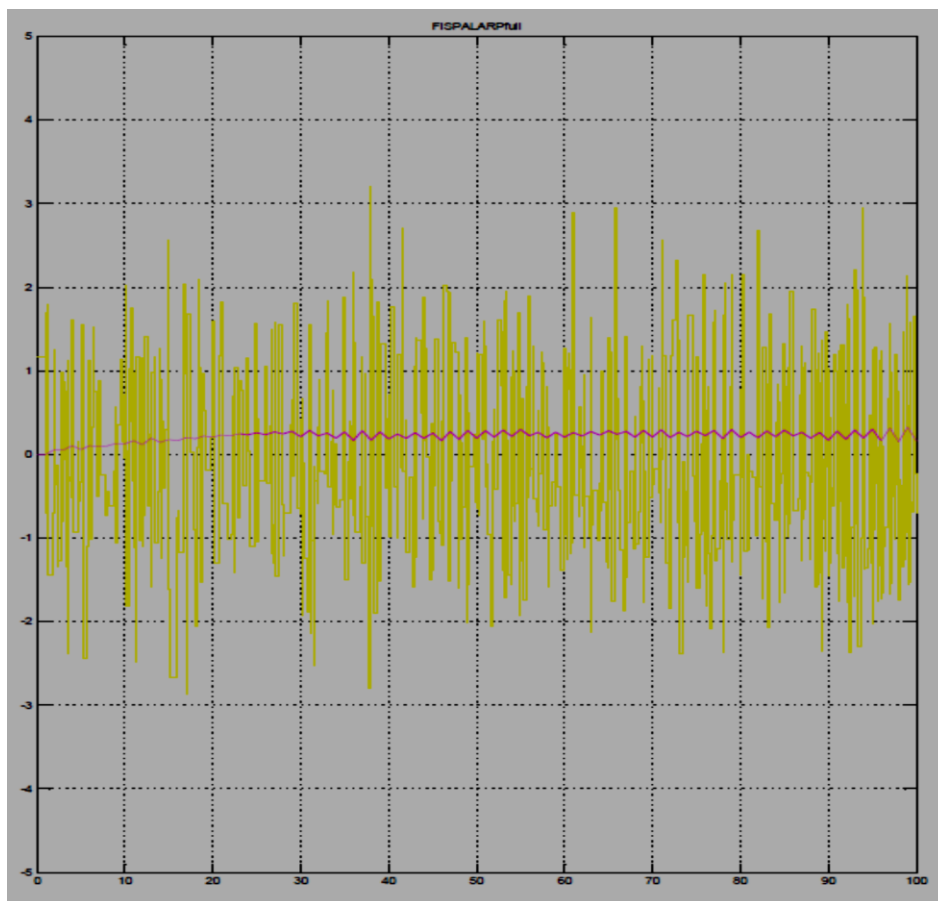
23. ábra A FISPALARPfull következtető rendszer PALARPfull paramétereinek tagsági függvényei

3.2.2.2 Szimuláció és validáció

A szimulációhoz külön szabályozó rendszer készült. A FISPALARPfull szabályozót használva a szabályozó rendszer megpróbálja nullához közelíteni, azaz fuzzy következtetés segítségével a kapott, a kutatási alapelmélet szerint prediktív jellegű, formalizált elemi esemény adatok alapján ALARP optimumon tartani (24. ábra, piros színnel) a valós rendszert. A 69 bemenet mérési eredményeit véletlenszám-generátorral képzett értékekkel, a valós rendszer viselkedését hipotetikus függvényvel (24. ábra, sárga színnel) szimulálja a modell.

A FISPALARPfull szimulációs tesztjéhez felépített Matlab Simulink modell és a hozzá tartozó alapinformációk a függelékben találhatóak (42. ábra).

A FISPALARPfull következtetési rendszer egy szimulációs futtatásának eredményeit a 24. ábra szemlélteti.



24. ábra: A FISPALARPfull következtetési rendszer egy szimulációs futtatásának eredményei

Látható, hogy a fuzzy szabályozó alkalmazása a célnak megfelelő, ugyanakkor a végcél megvalósításához, a gyenge pontok előrejelzésével és a teljes rendszerre vonatkozó repülésbiztonsági szint megadásához és az azok alapján való eljárás-befolyásoláshoz ez önmagában nem elegendő.

3.3 HIERARCHIKUS FUZZY PREDIKTÍV RENDSZER MODELL A REPÜLÉSBIZTONSÁGI SZINT ALAPÚ DÖNTÉSHOZATALRA ÉS ELJÁRÁS-BEFOLYÁSOLÁSRA

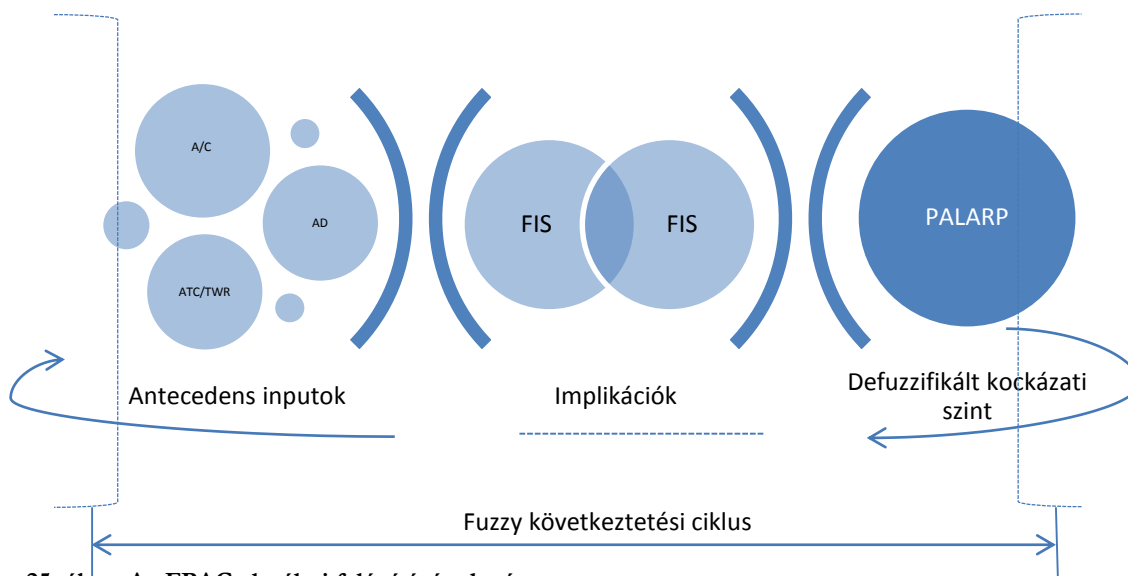
A hierarchikus felépítésű fuzzy repülésbiztonsági, kockázati modell a 2. fejezetben ismertetett integrált, komplex funkcióterre képzett rendszerre vonatkozóan hivatott demonstrálni a prediktív, pre-online, járatspecifikus prediktív ALARP-optimum elmélettel működő eljárás-befolyásolást.

A Mamdani-típusú fuzzy következtető rendszerek hierarchikus elrendezésével kapcsolatos kutatások, valamint a neuro-fuzzy alrendszerrel működő hierarchikus modellek olyan nagybiztonságú rendszerekre vonatkozó kockázat-menedzsmentre nyertek igazolást, mint a természeti katasztrófák, vagy népegészségügyi kockázatot jelentő veszélyeztetések [Carr01], [Tak09], [Tak10], [Tak12].

A európai polgári légiforgalmi irányítás repülésbiztonsági kutatásaitól a hibák hierarchikus lebontása szintén nem idegen. [EUC]

3.3.1 A hierarchikus felépítésű fuzzy repülésbiztonsági modell

A modell az antecedens-oldali eseményteret illetően a 10. ábra által lefektetett alapösszefüggések logikája szerint épült fel. Egy fuzzy következtetési ciklusban a bemenő adatok a fuzzy következtető rendszer-csoportba kerülnek, majd a köztes kockázati eredmények és az egész rendszerre vonatkozó végeredményként kapott kockázati szint érték meghatározásra kerül.



25. ábra: Az FPAC elméleti felépítésének váza

A fuzzy irányítási rendszerek azon tulajdonságára építve, miszerint funkcionális szempontból függvénygenerátorként is értelmezhetőek [Bécs08], a hierarchikus modell egyes szintjeiről származó eredmény-információk a következő szint bemenő adataiként szolgálva épül fel a hierarchikus modell, amely lentebb (28. ábra: Hierarchikus FPALARP repülésbiztonsági modell) látható.

A 7 szintű, 22 fuzzy szabályozóból álló kockázati rendszermodell elméleti pre-online információ- és adattovábbítást megvalósított működést feltételezve adja meg az előzetes kockázati szintet, kimenete tehát az egész rendszerre vonatkozó fuzzy következtetésen alapuló PALARP érték. A megfelelő időablakok alkalmazásával - amelyek a korrekciós beavatkozásnak, majd az újraértékelésnek adnak teret – jó alapot adhat egy esetleges valós rendszerre kidolgozott légiközlekedési fejlesztési irányzatnak. Elemei a következők:

I. szint: Bemenetek

A kutatás a bemenő valós adatsorok elérhetetlensége és kidolgozatlansága okán virtuálisan mért jelek megfelelően összegzett értékeit használja a bemeneti értékek szintjén (pl. individuális paraméterei alapján számított biztonsági érték.) A Vizualizáció vonatkozásában a kijelzőn található információk a virtuálisan mért, véletlenszerű értékeket generáló külsőleg definiált objektumok segítségével adnak megfelelő tartományban [0,1] vett adatsort, amely a spektrális teljesítmény-sűrűség alapú „Band-Limited White Noise” blokk segítségével történik.

Az emberi tényező esetében a szimuláció áttekinthetősége érdekében konstans elemekkel dolgozik a modell.

Ezek az adatcsoportok a későbbiekben felállítani célzott mérési és beavatkozási pontok alapján megállapítva a következők:

| | |
|------------|--|
| AD_OPS: | a repülőtér üzemi paraméterei |
| MET: | meteorológiai paraméterek |
| AC_TECH: | légi jármű műszaki paraméterek |
| AD_TECH: | repülőtér műszaki paraméterek |
| ATC_OPS: | légiforgalmi irányítás üzemi paraméterei |
| ATC_TECH: | légiforgalmi irányítás üzemi paramétereinek értéke |
| CAPT_IND: | légi jármű vezetőjének (capt.) individuális paraméterei alapján számított biztonsági érték |
| FO_IND: | az első tiszt (first officer) individuális paraméterei |
| RO_IND: | járatkiszolgálási felügyelő (ramp officer) individuális paraméterei |
| MAINT_IND: | startszerelő individuális paraméterei |
| AD_IND: | repülőtéri humán individuális paraméterek |
| ADC_IND: | repülőtéri légiforgalmi irányító (Aerodrome Controller) |
| CDC_IND: | engedélyező légiforgalmi irányító (Clearance Delivery Controller) |
| GC_IND: | gurító irányító (Ground Controller) |

II. szint: Implikációk

A megfelelő beavatkozási pontok megkülönböztethetősége érdekében az alábbi fuzzy inferencia-rendszerekből épül fel a modell:

PALARP_FLIGHT_COMPLEXITY_AD:

a repülőtéri vonatkozású járatkomplexitást meghatározó egység

PALARP_FLIGHT_COMPLEXITY_ATC/TWR:

a toronyirányítás szempontjából értelmezett járatkomplexitást meghatározó egység

PALARP_A/C_CREW_CAPT:

légi jármű vezetőjének (capt.) individuális paraméterei és az aktuális járatteherelési (meteorológiai karakterisztika, járatkomplexitás) alapján számított biztonsági érték

PALARP_A/C_CREW_FO:

az első tiszt (first officer) individuális paraméterei és az aktuális járatteherelési (meteorológiai karakterisztika, járatkomplexitás) alapján számított biztonsági érték

PALARP_A/C_GCR_RO:

járatkiszolgálási felügyelő (ramp officer) individuális paraméterei és az aktuális járatterhelési (meteorológiai karakterisztika, járatkomplexitás) alapján számított biztonsági érték

PALARP_A/C_GCR_MAINT:

startszerelő individuális paraméterei és az aktuális járatterhelési (meteorológiai karakterisztika, járatkomplexitás) alapján, számított biztonsági érték

PALARP_A/C_CREW:

légi jármű vezetői szintű biztonsági érték

PALARP_A/C_GCR:

légi jármű földi kiszolgálási humán biztonsági érték

PALARP_ATC/TWR_ADC:

ADC individuális paraméterei és az aktuális járatterhelési (meteorológiai karakterisztika, TRW járatkomplexitás) alapján, számított biztonsági érték

PALARP_ATC/TWR_CDC:

CDC individuális paraméterei és az aktuális járatterhelési (meteorológiai karakterisztika, TRW járatkomplexitás) alapján, számított biztonsági érték

PALARP_ATC/TWR_GC:

GC individuális paraméterei és az aktuális járatterhelési (meteorológiai karakterisztika, TRW járatkomplexitás) alapján, számított biztonsági érték

PALARP_ATC/TWR_TECH:

a toronyirányítás technológiai szintjének biztonsági szintértéke

PALARP_A/C_HUM:

a légi jármű humán beavatkozási szintjének biztonsági szintértéke

PALARP_A/C_TECH:

a légi jármű technológiai szintjének biztonsági szintértéke

PALARP_AD_HUM:

a repülőtér humán beavatkozási szintjének biztonsági szintértéke

PALARP_AD_TECH:

a repülőtér technológiai szintjének biztonsági szintértéke

PALARP_ATC/TWR_HUM:

a toronyirányítás humán beavatkozási szintjének biztonsági szintértéke

PALARP_A/C:

a légi jármű pre-aktuális repülésbiztonsági szintértéke

PALARP_AD:

a repülőtér pre-aktuális repülésbiztonsági szintértéke

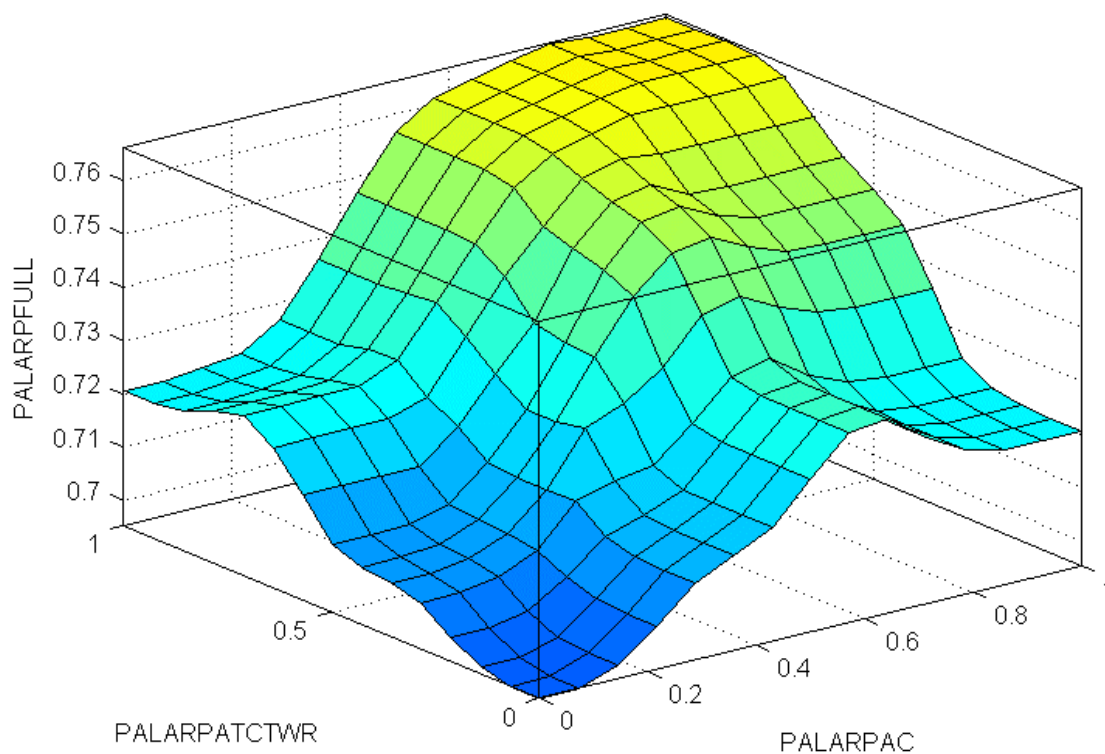
PALARP_ATC/TWR:

a toronyirányítás pre-aktuális repülésbiztonsági szintértéke

PALARP_FULL:
a járatspecifikus prediktív biztonsági szint

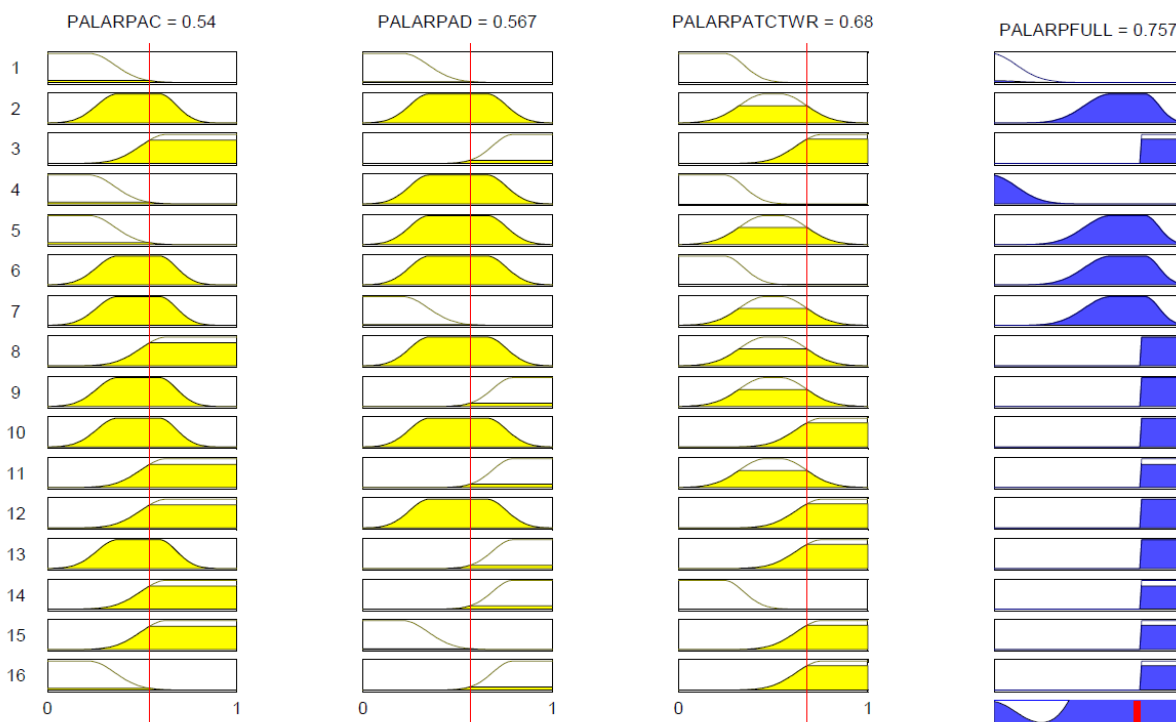
III. szint: Defuzzifikált kockázati szint

A defuzzifikált kockázati szint minden egyes implikációt követően, minden egyes szabályozó kimeneteként megjelenik, ezért a működő modell esetében kockázat-terjedés folyamatosan látható. Ezen felül a „Scope” kimeneten a kalkulációban a bemeneti értékek függvényében a kalkulált köztes kockázati szintek láthatóak a végeredményként kapott kockázati szinttel együtt. A 26. ábra példaként az FPAC_PALARPFULL ATC_TWR, A/C paraméter-összefüggéseinek felületét mutatja be.

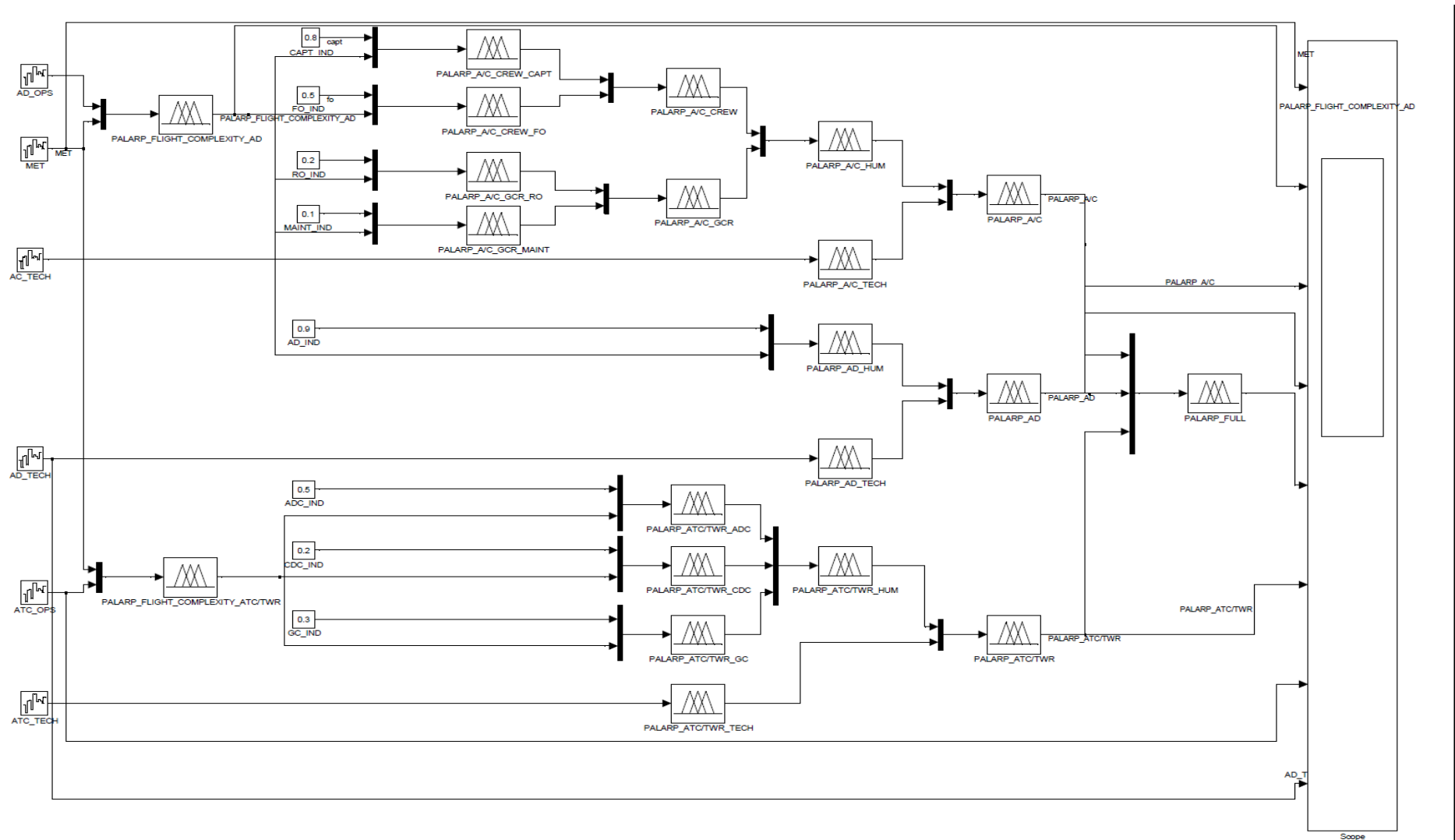


26. ábra: Az FPAC_PALARPFULL ATC_TWR, A/C paraméter-összefüggéseinek felülete

A legfelső következtetési fuzzy szabályozójának vizuálisan megjelenített szabályrendszerének egy szimulációs futtatás során kapott eredményét a 27. ábra mutatja be.



27. ábra: Az FPAC_PALARPFULL következtető vizuálisan megjelenített szabályrendszerének egy futtatási eredménye



28. ábra: Hierarchikus FPALARP repülésbiztonsági modell (FPAC)

3.3.2 Szimuláció

Az FPAC repülésbiztonsági állapotmodell esetében repülésbiztonsági értelemben vett állapotonként több partíció alapján megvalósított modell vizsgálata készült el. Egy vizsgálati ciklus teljes futása (10s) során a kalkulált repülésbiztonsági szintet megjelenítő pozíciódiagram megfelelő eredményt mutat a bemeneti paraméterek alapján elvárt repülésbiztonsági szint változással, és ezzel összhangban ugyanez mondható el az egyes hierarchikus értelemben alacsonyabb szintű fuzzy szabályozók eredménydiagramjának esetében is, hiszen a szimuláció során minden egyes szabályozó bemenetre adott kalkulált biztonsági értéke, működése látható. Elméletileg a kijelzőre is kivezethető, ahogyan azt a 29. ábra mutatja.

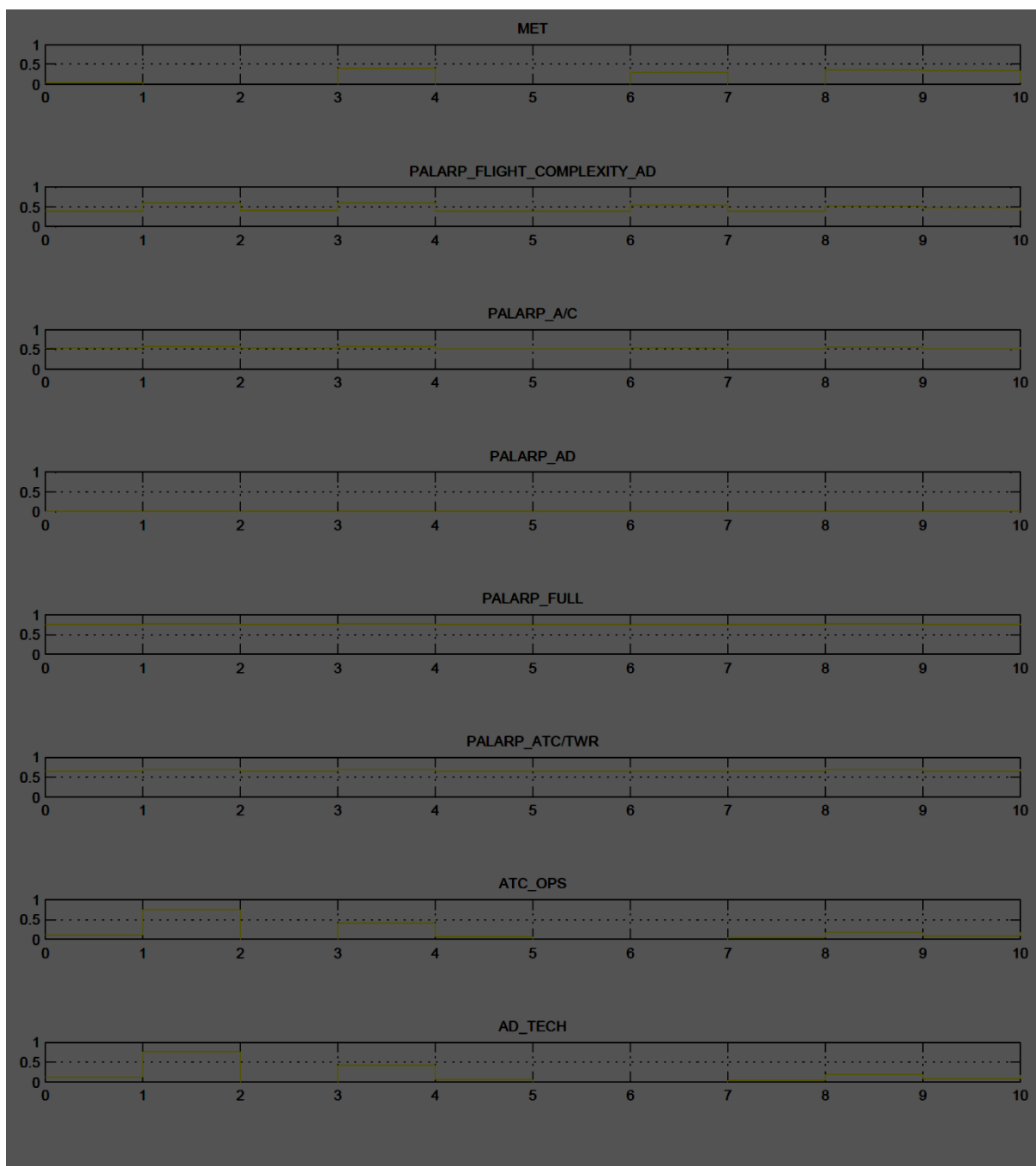
Logikailag hibás következtetés tehát nem jelentkezett, de a fuzzy következtető - optimalizáló algoritmus beállításaira a modell rendkívül érzékeny. További finomítását, kalibrálását mindenképpen érdekes elvégezni.

A modell teljesítménye tovább javulhat a partíciók számának növelésével, ám a modell pontosságának javulása várhatóan nem lenne egyenes arányban a modell méretnövekedéséből adódó számításgigénynek növekedésével jelen kutatás vonatkozásában.

Az alkalmazott emberi hibás cselekvésre felvett paramétersorok egyéntől függő változók, amelyek pillanatnyi értéke közvetlenül az FPAC modellen állítható be. Változtatásukkal a köztes FIS-ek értékei és a végső, PALARP_FULLL fuzzy szabályozó kimeneti értékek is természetesen megváltoznak. Az egy airside, pre-take-off cselekményhalmazban érintett összes jármű paramétersokaságára vonatkozóan a következő lépés lehet, a már elvégzett objektum-döntések ismeretében az egyes környező légi járművek döntéshozatalának előkészítése, a környező légi járművek rendszerbe illesztése.

3.3.2.1 A kockázatterjedés vizsgálata

A kockázatterjedés vizsgálata a szimuláció során elvégezhető. A program lehetőséget ad a köztes értékek vizualizációjával minden egyes szabályozó antecedenseinek és implikációjának megfigyelésére, ezen felül a kijelzőre (Scope) is minden adat kivezethető.

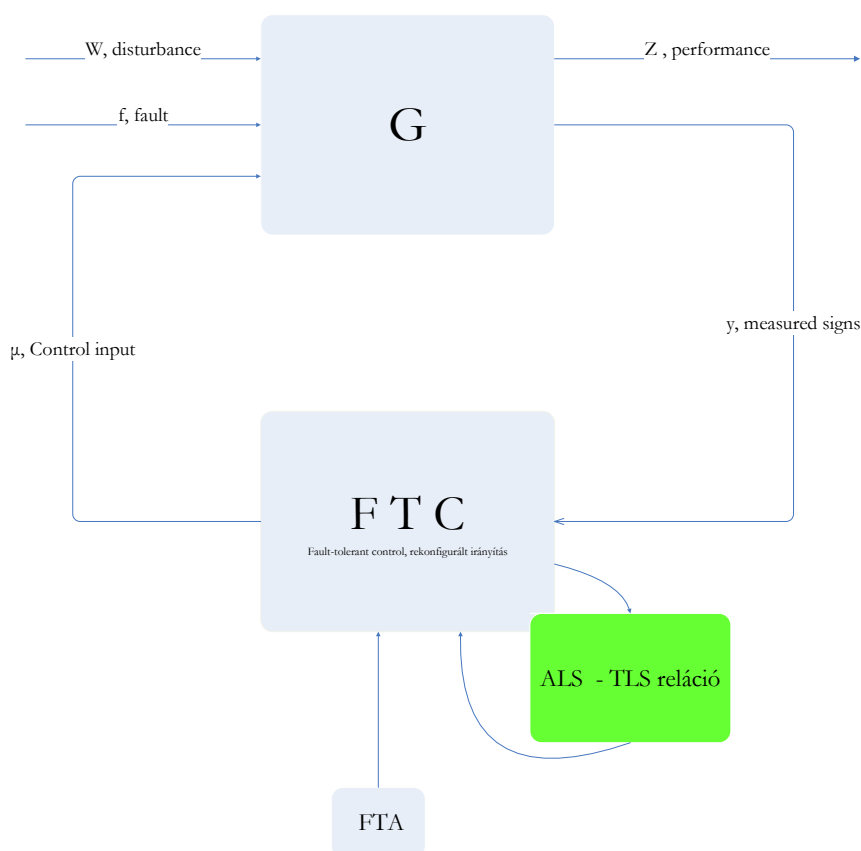


29. ábra: Az FPAC rendszer egy futtatásának eredménye

3.3.2.2 Repülésbiztonsági szint alapú eljárás-befolyásolás

Az FPAC rendszert az elméleti FTC rendszerbe integrálva valósulhat meg a ciklikus, automata, visszacsatolt, hibatűrő működés.

Az FPAC eljárás-befolyásolás beavatkozás és korrekció partíciója iteratív logikával, a prediktív repülésbiztonsági szint alapján segíti a jelenleg még automatizálás nélküli, tehát emberi következtetésen alapuló döntés megszületését. Az elméleti rendszerstruktúra az alábbi ábrán látható (30. ábra), az ábra jelöléseinek magyar megfelelője a 7. táblázatban olvasható.



30. ábra: A veszély- és kockázatelemzés alapú fuzzy, FTC, pre-online eljárás-befolyásoló rendszer alapkonceptiója

A beavatkozások rendjét szigorúan rögzített szabályokkal szükséges meghatározni. A beavatkozásokkal ugyanis egyrészt újabb hibák sokaságának melegágyát is képezhetjük, másrészt a nem megfelelő beavatkozások eredményeként a forgalmi rend is felborulhat.

Tekintettel arra, hogy a veszély- és kockázatelemzéssel, a gyenge pontok ismétlődő meghatározásával kapott eredmények alapján a beavatkozások magukat a folyamatokat és az

eljárásrendet közvetlenül érintik, a visszacsatolási pontok megfelelő beépítése a működés alapfeltételévé válik.

A tervezett, visszacsatolásokkal működő veszély- és kockázatelemzési rendszer minimum egy időablakkal a folyamatok előtt jár, részben előre jelezhető, empirikus úton meghatározott információkat vesz alapul, amelyek teljesülését folyamatosan ellenőrzi, így oldható meg a beavatkozás és a korrekció. A rendszer ezáltal dinamikus, pre-online tulajdonságú lesz.

Az integrált rendszer – megbízhatósági szempontból – az egyes szintek alegységei közötti átfedések okán számos esetben komplementer információhordozást eredményeznek, mintegy diverz kialakítással adott strukturális redundanciaként értelmezhető, növelve így pl. a közös módusú hibák feltárásának valószínűségét. Az egyes rendszerelemek aktív redundanciaként idomulhatnak egymáshoz, így erősítve vagy gyengítve az adott helyzetben működő összehasonlító számára küldött jeleket, amié, illetve akié – ha emberi döntésről van szó – a végső határozat. A csúcsesemény bekövetkezési valószínűsége az egyes elemek rendelkezésre állásától, megbízhatóságától, azok soros, párhuzamos, vagy vegyes működésétől is függ.

A fenti modellben (30. ábra) látható, hogy abnormális üzem esetén az abnormalitások (hiba vagy zavarás) figyelembe vétele is megtörténik.

A hibák két fajtája a percepcionális hibák (észlelhető és érzékelhető hibák), valamint a mért hibák. Mindezekre példa a 7. táblázatban látható. Ezek olyan fizikai kondíciók megváltozásai, mint egy lezárt gurulóút, vagy bármely más zavaró tényező.

A modell akkor engedélyezi adott fázisban a légi közlekedési cselekmény lefolytatását, ha a rendszer aktuális biztonsági szintje az ALARP sávban mozog, egy előre definiált időablakot, illetve cselekményhalmazt figyelembe véve, ciklikus újraértékelést végezve.

Az elv alapjaként részben a hazai vasúti közlekedés veszély- és kockázatelemzésében alkalmazott BME módszer tekintetű, amely elv a túlbiztosítások megelőzésére is hangsúlyt fektet a megfelelő biztonsági szint elérése mellett.

Az ALARP sávon kívül eső területek vonatkozásában az előre láthatóan kiugró érték irányultságától függően vagy a folyamatban érintett rendszerszegmens megbízhatóságának enyhítését, vagy annak megszigorítását irányozza elő. Annak teljesülése esetén (legkésőbb) újraértékelést végez.

7. táblázat: Példák az FTC jelcsoportokra

| JELCSOPORTOK | | | | |
|--|---|--|---|--|
| rendellenességek disturbances (w) (circumstances+latent conditions, körülmények, látens feltételek) | meghibásodás, hiba fault (f), | kontrol bemenet control input (μ) | teljesítmény performance (z) | mért jelek, measured signs (y) |
| Veszélyes áru szállításával kapcsolatos speciális beavatkozás szükségessége | Fedélzeti rádiókommunikációs egység meghibásodása | Figyelmeztető jelzés a légiforgalmi irányítás felé a hibás kommunikációról | Utasítás adott gyorsleguruló út használatára | Rádióforgalom |
| A légi jármű mozgását illető kitérítő vagy javító cselekvés, manőver földi forgalmi konfliktushelyzet miatt | Földi (légiforgalmi irányítói) rádiókommunikációs egység meghibásodása | Cargo személyzetszám növelése | RWY megállító keresztfényesorok üzemeltetése | Futópálya állapotparaméterei - szennyezettség |
| Törölt felszállási engedély | A légi járművezető hibája a pontos utasítás/engedély visszaolvasásakor | Rendőrségi riasztás | RWY védelmi fények üzemeltetése | Futópálya állapotparaméterei - súrlódási tényező - |
| Megszakított felszállás | A gépjárművezető hibája a pontos utasítás/engedély visszaolvasásakor | Légi jármű parancsnokának riasztása | Gurítóradar (SMR, Surface Movement Radar) működtetése | Futópálya állapotparaméterei - hőfok - |
| Végrehajtott átstartolás | Blokkolt, vagy részben blokkolt rádióforgalmazás | Gurítóirányítás riasztása | Kapacitáscsökkentő intézkedések életbe léptetése | Futópálya-foglaltság |
| Alkalmazott kemény fékezés | A légi járművezető vagy a gépjárművezető egy másik légi jármű vagy jármű helyett fogad el egy engedélyt | Marsaller visszahívása | Kapacitásnövelő intézkedések életbe léptetése | Optikai navigációs berendezések |
| Nehéz áru nem megfelelő rögzítéséből adódó abnormalitás | ADC légiforgalmi irányító az adott pillanatban megfelelkezik a légi járműről | Elkülönítési minimum növelése | Végző egyenes hosszának csökkentése | Felhóalap |

3.3.3 Javaslatoak, várható eredmények, fejlesztési irányok

– ELMÉLETI JAVASLATOK –

J_MD_1. A Fault Tolerant Control megvalósításához javasolom a **légiforgalmi állapotér modell** felvételét.

J_MD_2. Javasolom az emberi döntés modellezésének kidolgozását, amivel az emberi döntés hibavalószínűségének pontosabb meghatározására kerülhet sor. Ennek elvégzése fuzzy logika segítségével történhet.

J_MD_3. A légijárművek futópálya-mozgásával kapcsolatos előrejelzések fejlesztésére **trajektória előrebecslésből** származó információk integrálásával a forgalmi kontextus még inkább becsülhető, a kockázati értékek még pontosabbak lehetnek, ami a forgalom növekedésével biztonsági előrebecslés szempontjából rendkívül hangsúlyos elem lehet, ezért javasolom az elmélet kifejlését.

J_MD_4. Javasolom az ICAO HOT SPOT elmélet folyamatalapú kiterjesztésének kutatását.

– GYAKORLATI JAVASLATOK –

J_MD_5. A valós funkciótér várható méretére való tekintettel javasolom a modell hardveres és szoftveres igényeinek felmérését.

J_MD_6. Javasolom az integrált adatgyűjtő és feldolgozó rendszerek alkalmazhatóságának vizsgálatát és a polgári légi közlekedés gyakorlatában jelenleg is rendelkezésre álló mért adatok integrálását.

J_MD_7. A hibás emberi beavatkozásokból adódó kockázat csökkentését elősegítendő javasolom az airside, pre-take-off folyamat és objektumcsoportba – különös tekintettel a földi kiszolgálásban résztvevő személyekre, a légiforgalmi irányítókra, a légi járművek vezetőire, a légi jármű műszaki jellegű feladatait ellátó személyzetre, valamint a marsallerekre vonatkozóan – **integrált stressz-kontrol pontok** létrehozatalát.

J_MD_8. Javasolom a fedélzeti kockázatelemző és előrebecslő következtető rendszer megtervezését, amelynek adaptálásával a disszertációban foglalt modell-alkalmazás fejleszthető.

A 4G hot spot fogalma

A polgári légitársaságokban használt hot spot kifejezés alatt, a légitársasági esemény szempontjából kritikus rendszer fizikai értelemben vett gyenge pontjainak sokasága értendő, különös tekintettel az ütközésekre és a futópálya-sértésekre. A repülőtér hot spotjainak feltárása rendkívül hangsúlyos feladat [ICAO04], [ICAO05], [Mud09].

Jelen kutatás eredményeit felhasználva, a folyamatok pre-online monitoringjával, az optimális repülésbiztonsági szint iteratív, ciklikus meghatározásával az időben és térben kiterjesztett „4G hot spot” fogalmához érkezik a kutatás. Valós adatok segítségével a repülésbiztonsági szempontból kedvezőtlen, akár szervezeti szintű változtatásokat igénylő tényezők együttállása sok esetben jóval a légitársasági cselekménysorozat megkezdése előtt kiszűrhető, valamint számos fejlesztés vonatkozásában a kapott eredmények rendkívül hasznosnak bizonyulhatnak.

A megfelelő visszacsatolási és beavatkozási pontok kiépítésével, permanens visszacsatolások integrálásával egy-egy járat kockázati szintje még a felszállást megelőző fázisok valamelyikében módosítható lehet, így biztosítható a gazdaságos és igazolhatóan biztonságos üzemeltetés.

A valós alkalmazás vizsgálat vonzata lehet:

1. az eljárások online megváltoztatása;
2. a szolgálatot teljesítő személyek mostaninál hatékonyabb szűrése és felkészítése;
3. új eszközök bevezetése.

3.4 ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

2. TÉZIS

IGAZOLTAM, HOGY A FUTÓPÁLYA BIZTONSÁGÁNAK VONATKOZÁSÁBAN AZ AIRSIDE, PRE-TAKE-OFF MŰVELET- ÉS CSELEKMÉNYHALMAZ INTEGRÁLÁSÁVAL A FUTÓPÁLYA **PRE-AKTUÁLIS BIZTONSÁGI SZINTJÉNEK MEGHATÁROZÁSA**, BIZTONSÁGIGAZOLÁSA INDOKOLT. BIZONYÍTOTTAM, HOGY A BIZTONSÁGIGAZOLÁSÁHOZ **JÁRATSZINTŰ- ÉS FÓKUSZÚ, DINAMIKUS** VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS SZÜKSÉGES.

- I. Az airside, pre-take-off művelethalmaz vonatkozásában, „*Baleset a futópályaművelet során*” csúcseseménnyel folyamat alapú megbízhatósági elemzést végeztem.

A hatályos előírások szerint működő, rendszer-paraméterekkel meghatároztam a „Baleset a futópályaművelet során” csúcsesemény hipotetikus valószínűségét, amely alapján megállapítottam, hogy a futópálya és környezete a nagybiztonságú rendszerek osztályozásának megfelelő kategóriákhoz illesztve a legmagasabb biztonságintegritási osztályba sorolható.

Meghatároztam a deklarált biztonságkritikus légiközlekedési rendszer gyenge pontjait, minimális vágatait. Megállapítottam, hogy a futópálya-baleset bekövetkezési valószínűségét befolyásoló tényezők közül az **emberi hibás cselekvés abszolút szignifikáns**. Az elemi események fontossági elemzése és a minimális vágatok kiértékelése alapján továbbá látható, hogy az emberi cselekvések közül kiemelkedő a **légijármű parancsnok hibarelevanciája**, az elsőtiszt, a ramp officer, és a forgalmi kiszolgáló eszközök vezetőinek hibajelentősége. A légiforgalmi irányítás emberi hibájának befolyását azonban megelőzi a **légiforgalmi irányítás döntését segítő eszközök** meghibásodása. A **repülőtéri infrastruktúra** meghibásodásának jelentősége szintén domináns.

- II. A hibafa elemzésével, valamint nagyszámú *szimulációval*, *szenárióanalízis elvégzésével* vizsgáltam a hibafa *érzékenységét*.

A szimuláció és a szenárió-analízis alapján megállapítottam, hogy a repülésbiztonsági szint meghatározásakor az airside, pre-take-off műveletekre vonatkozóan, a domináns elemi eseményekben érintett egységek megannyi relációban **interdependens** viszonyban állnak. Megállapítottam **az analízis létjogosultságát bármely karakterisztikai változtatás esetén**.

A hibafa struktúra és a biztonsági szint minden időpillanatban való igazolható megfelelőségéhez megállapítottam **a pre-aktuális biztonsági szint alapú szempontrendszer bevezetésének szükségességét**, a **járatszintű- és fókuszú, dinamikus veszély- és kockázatelemzés** szükségességét.

A tézishez kapcsolódó publikációk: [Mey10a], [Mey10b], [Mey10d]

3. TÉZIS

OLYAN KERETMODELL-CSOPORTOT (FISPALARP ÉS FISPALARPFULL) DOLGOZTAM KI A REPÜLSÉSBIZTONSÁGI SZINT MEGHATÁROZÁSÁRA, AMELY MEGMUTATJA, HOGY A FUZZY INFERENCIA-RENDSZER SEGÍTSÉGÉVEL AZ IRODALOMBAN TALÁLHATÓ EDDIGI MODELLEKHEZ KÉPEST ÚJSZERŰEN:

- A REPÜLSÉSBIZTONSÁGI SZINT **FUZZY** KÖVETKEZTETŐ LOGIKÁVAL MEGADHATÓ;
- A FUZZY KÖVETKEZTETŐ RENDSZER MEGFELELŐ KALIBRÁLÁSÁVAL **OLYAN RENDSZERJELLEMZŐK IS FIGYELEMBE VEHETŐK, AMELYEK KEZELÉSÉRE AZ EDDIGI KUTATÁSOK NEM ADNAK MEGOLDÁST;**
- KÉPES A REPÜLSÉSBIZTONSÁGI, BIZONYÍTOTTAN RELEVANCIÁVAL RENDELKEZŐ **AKTUÁL-FAKTOROK FIGYELEMBEVÉTELÉRE IS;**

A vonatkozó hatályos eljárásrendek vizsgálatával és a nagybiztonságú légiközlekedési rendszerre vonatkozó összevetésével megállapítottam, hogy számos repülésbiztonsági relevanciával rendelkező domináns **aktuál-faktor hatása az eljárások befolyásolásának szintjén nem jelenik meg.**

A tézishez kapcsolódó publikációk: [Mey10a], [Mey10b], [Mey15]

4. TÉZIS

OLYAN, KUTATÁSI CÉLÚ MODULÁRIS LÉGIFORGALMI KOCKÁZATTERJEDÉS-SZIMULÁCIÓS MODELLT DOLGOZTAM KI, AMELY ALKALMAS AZ AIRSIDE, PRE-TAKE-OFF REPÜLSÉBIZTONSÁGI ÁLLAPOTTÉR EGYSZERŰ MODELLEZÉSÉRE ÉS RUGALMASAN BŐVÍTHETŐ. ENNEK SEGÍTSÉGÉVEL KIDOLGOZTAM A POLGÁRI CÉLÚ LÉGIKÖZLEKEDÉS AIRSIDE, PRE-TAKE-OFF CSELEKMÉNY- ÉS MŰVELETHALMAZ AKTUÁL-REPÜLSÉBIZTONSÁGI SZINTJÉT OPTIMALIZÁLÓ, VESZÉLY- ÉS KOCKÁZATELEMZÉS ALAPÚ INTEGRÁLT **ELJÁRÁS-BEFOLYÁSOLÓ RENDSZERMODELL** ALAPJAIT.

- I. Kidolgoztam a polgári célú légiközlekedés airside, pre-take-off cselekmény- és művelethalmazára vonatkozó **repülésbiztonsági szint alapú döntés-elméletet**, amely a repülésbiztonság-alapú eljárás-befolyásolás alapeleme.
- II. A vasúti közlekedésben alkalmazott biztonságigazolási eljárások elméletének részleges átültetésével fogalomkörbe vontam a polgári légiközlekedés repülésbiztonsági modelljét illető **alulméretezési tartomány** fogalmát, amely a fuzzy optimumkeresési algoritmus egysége.
- III. Létrehoztam a **repülésbiztonsági szint optimalizálását eljárás-befolyásolással célzó prediktív, pre-online ALARP struktúra-elméletet**, amelynek működését a felépített, többszintű, repülésbiztonsági fuzzy modellel (Fuzzy Predictive ALARP Control, FPAC) szimuláltam. A működő modell a szimuláció során az elvárt eredményeket adta. A létrehozott modell-alkalmazással megteremttem az előzetes, kockázatterjedés-alapú repülésbiztonsági szint monitoringjára, és a beavatkozási pontok dinamikus definiálására alkalmas eljárás-befolyásolási struktúrát.
- IV. A modell valós alkalmazású repülésbiztonsági tesztkörnyezetének vizsgálatával megállapítottam, hogy a **polgári légiközlekedés repülésbiztonsági vizsgálati keretrendszerébe illeszthető**.

A tézishoz kapcsolódó publikációk: [Mey11], [Mey13], [MeyM14]

ÖSSZEFOGLALÁS

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen értekezésben ismertetett eljárás megbízhatósági szempontból a légi közlekedés cselekményének egy meghatározott fázissorozatát teljes környezetében és folyamatában egy rendszerben kezeli.

A biztonságkritikus eseményt előkészítő feladatokat felölelő folyamatok megfelelő monitorozása – a feladatok közvetlen és közvetett hatásaira való tekintettel – különösen hangsúlyos kérdés kell, hogy legyen. Az értekezésben a biztonságkritikus cselekményt előkészítő tevékenységek összességének az airside, pre-take-off járatelőkészítési cselekményhalmaz feleltethető meg.

Az értekezés tartalmazza annak a biztonságigazolási eljárásnak a bemutatását, valamint annak alkalmazási létjogosultságának igazolását, amely mintegy ernyőként egy, integrált rendszerben értelmezve a járatelőkészítés folyamatát, fókuszpontba helyezve a biztonságkritikus cselekmény tárgyát képez egy új határokkal értelmezett vizsgálati rendszert.

Az értekezésben ismertetett eredmények a vizsgált terület kockázaterzékeny pontjait kiszűrve, aktuálisan kivitelezhető újdonságokat, biztonságfokozó megoldásokat nyújtanak.

A megoldások alapja, hogy a kritikus eseményvalószínűségű közlekedésirányítási folyamat matematikailag formalizáltabban, valamint valószínűségi értékek alkalmazásával lényegesen jobban kezelhető optimalizálható és igazolható, hiszen a különböző előírt biztonsági kritériumok is valószínűségi értékekkel definiált tartományok. A formalizálás egyik alapja a megfelelően strukturált modellezés. A disszertációban bemutatott fuzzy alapú eljárás-elmélet, és az ahhoz kapcsolódó gyakorlati rendszerelméleti modell-alkalmazás dinamikus, prediktív, pre-online és járatszintű tulajdonságú. Folyamatosan előre vetíti, szűri és megadja a járatelőkészítés során fellépő kritikus pontokat, valamint ajánlásokat tesz azok megelőzésére, elhárítására, amellyel a megfelelő biztonsági szint monitorozására, naplózására, egyben permanens fenntartására nyílik lehetőség.

A kutatások célja az volt, hogy a polgári célú légi közlekedés repülőtereinek airside vonatkozású cselekményhalmazán belül a felszállással bezárólag értelmezett járatelőkészítés veszély- és kockázatelemzésében tegyen lépéseket, hiszen ez az a folyamat, amely közvetlenül megelőzi, előkészíti a légi közlekedés cselekményét, és amely fázisban statisztikai mutatószámok alapján jelentős a légi közlekedési esemény bekövetkezési valószínűsége, valamint a későbbi fázisokra való kihatás valószínűsége inaktív vagy látens hiba okán.

Olyan eljárás született, amely

1. a biztonságkritikus rendszer vizsgált folyamatának teljes apparátusát, folyamatainak teljes egészét, minden szereplőjét és elemét, valamint azok környezetét tartalmazza, és megfelelő súlyozással és összefüggésrendszerrel veszi figyelembe a veszély- és kockázatelemzés során;
2. a működő, formalizált rendszermodellel, a biztonságigazolási rendszer egy új határokkal értelmezett, integrált kezelése valósítható meg;
3. a formalizálás a veszély- és kockázatelemzés eredményének számszerűsítését segíti; a számszerűsítés az emberi és gépi beavatkozások hibavalószínűségének megállapítására egyaránt vonatkozik;
4. a hibás emberi beavatkozás valószínűségét fuzzy logika alapján, annak a rendszerbe illeszthető, konvertált értékével veszi figyelembe;
5. mindezekon felül a biztonságkritikus cselekmény attribútumát, a járatot helyezi abszolút fókuszba, minden egyes járat esetében külön elvégezve a veszély- és kockázatelemzési vizsgálatot, ami által járatszintű tulajdonságú;
6. természetéből fakadóan az elemzés igénye egy járat esetében is többszörös lehet, hiszen a megkívánt biztonsági szint nem teljesülése, vagy túlteljesítése esetén visszacsatolásra és beavatkozásra van szükség, amivel párhuzamosan, illetve amit követően újabb vizsgálat elvégzése indokolt; mindezek gyakorlati megvalósíthatóságát pre-online rendszer biztosítja;
7. a veszély- és kockázatelemzési modell tehát dinamikus jellegű és a biztonsági szint optimalálására alkalmas.

A működő modellel gyakorlattá kívánom váltani azt a napjainkban is fejlődését élő filozófiát, amely valóban a biztonság abszolút elsőrendűségére alapozva irányítja a légiközlekedés előkészítésének folyamatát.

A megvalósítás bár várhatóan rendkívül költség-, munka- és időigényes, de kiépítésével objektív, igazolható, permanens biztonság, jobban szervezett járatelőkészítés, hatékonyabb munkavégzés, döntéstámogatás, a késések csökkenése, repülőterkonfiguráció rugalmassága, rendszerváltoztatások rugalmassága, tervezett rendszerváltoztatások hatásvizsgálatának egyszerűsödése, emberi hibák arányának csökkenése, emberi beavatkozások számának csökkenése várható.

ÁBRAJEGYZÉK

| | |
|---|----|
| 1. ábra: Projekt-biztonsági folyamat fejlesztésének lépései [EUC05] | 20 |
| 2. ábra: Tervezési attribútumok leképezése [Pir12] | 26 |
| 3. ábra: Az integrált légiközlekedési rendszermodell sematikus blokkdiagramja | 28 |
| 4. ábra: az integrált, komplex rendszer paramétercsoportjai..... | 29 |
| 5. ábra: Az airside környezet, mint a funkcióter horizontális fizikai alapja..... | 31 |
| 6. ábra: β_n szint domináns ember-gép felületei..... | 32 |
| 7. ábra: A valós funkcióter megbízhatósági modellje..... | 34 |
| 8. ábra: Általános fuzzy következtető rendszer vázlata [Kóc01] | 55 |
| 9. ábra: az egyes scenáriókban előforduló minimális vágatok százalékos aránya..... | 72 |
| 10. ábra: Az interdependenciában érintett dinamikus paramétercsoportok (Dynamic flight complexity parameters) kapcsolatrendszere az airside, pre-take-off objektum- és eljárásrendszerrel | 75 |
| 11. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer meteorológiai paramétereinek tagsági függvényei | 79 |
| 12. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer technológiai paramétereinek tagsági függvényei | 79 |
| 13. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer üzemi paramétereinek tagsági függvényei | 80 |
| 14. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer humán paramétereinek tagsági függvényei..... | 80 |
| 15. ábra: Az FPALARP szabályozó..... | 81 |
| 16. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer szabálybázisának vizuális megjelenítése - részlet | 82 |
| 17. ábra: Az FPALARP következtetési rendszer PALARP paramétereinek tagsági függvényei...82 | |
| 18. ábra: A pszichológiai megterhelés által kiváltott stressz és a munkavégzés hatékonysága közötti összefüggés [Izsó07] | 83 |
| 19. ábra: A PALARP következtető rendszer humán-tech paraméter-összefüggéseinek felülete ..83 | |
| 20. ábra: A PALARP következtető rendszer operation-met paraméter-összefüggéseinek felülete | 84 |
| 21. ábra: A PALARP következtető rendszer humán-operation paraméter-összefüggéseinek felülete..... | 84 |
| 22. ábra: A FISPALARPfull következtető rendszer sematikus váza | 86 |
| 23. ábra A FISPALARPfull következtető rendszer PALARPfull paramétereinek tagsági függvényei..... | 86 |

| | |
|--|-----|
| 24. ábra: A FISPALARPfull következtetési rendszer egy szimulációs futtatásának eredményei.. | 87 |
| 25. ábra: Az FPAC elméleti felépítésének váza..... | 89 |
| 26. ábra: Az FPAC_PALARPFULL ATC_TWR, A/C paraméter-összefüggéseinek felülete..... | 92 |
| 27. ábra: Az FPAC_PALARPFULL következtető vizuálisan megjelenített szabályrendszerének egy futtatási eredménye | 93 |
| 28. ábra: Hierarchikus FPALARP repülésbiztonsági modell (FPAC)..... | 94 |
| 29. ábra: Az FPAC rendszer egy futtatásának eredménye..... | 96 |
| 30. ábra: A veszély- és kockázatelemzés alapú fuzzy, FTC, pre-online eljárás-befolyásoló rendszer alapkonceptiója..... | 97 |
| 31. ábra: FII/1-RWY_CONF1_légijárművel kapcsolatos hiba_part1 | 121 |
| 32. ábra: FII/1-RWY_CONF1_Nem előrejelezhető veszélyes időjárási körülmények..... | 122 |
| 33. ábra: FII/1- RWY_CONF1_Repülőter infrastruktúrális hibája_part1 | 123 |
| 34. ábra: FII/1-RWY_CONF1_Repülőter infrastruktúrális hibája_part2..... | 124 |
| 35. ábra: FII/1- RWY_CONF1_Repülőter infrastruktúrális hibája_part3..... | 125 |
| 36. ábra: FII/1- RWY_CONF1_Repülőter infrastruktúrális hibája_part4..... | 126 |
| 37. ábra: FII/1- RWY_CONF1_Repülőter infrastruktúrális hibája_part5..... | 127 |
| 38. ábra: FII/1- RWY_CONF1_Repülőter infrastruktúrális hibája_part6..... | 128 |
| 39. ábra: a fuzzyfikált eljárás-befolyásoló modell alrendszerei..... | 137 |
| 40. ábra: A PALARPfull FIS ADC-MATIAS paraméter-összefüggéseinek felülete..... | 138 |
| 41. ábra:A FISPALARPfull grafikus megjelenítésű szabályrendszerének részlete..... | 139 |
| 42. ábra A FISPALARFULL szimulációs tesztjéhez felépített SIMULINK modell | 140 |
| 43. ábra Az FPAC_PALARPAC egy futtatási eredménye | 142 |

TÁBLÁZATJEGYZÉK

| | |
|---|-----|
| 1. táblázat: Az integrált, komplex airside, pre-take-off rendszer szereplői és elemei | 44 |
| 2. táblázat: Elemi események és a hozzájuk felvett valószínűségi értékek, valamint azonosítójuk | 63 |
| 3. táblázat A csúcsesemény domináns vágatai..... | 67 |
| 4. táblázat: a domináns elemi események fontossági elemzése..... | 68 |
| 5. táblázat Az elemi események paramétereinek fontossági elemzése | 69 |
| 6. táblázat: A kördiagram paramétercsoportos alapmátrixa | 76 |
| 7. táblázat: Példák az FTC jelcsoportokra | 99 |
| 8. Táblázat: FII/1-RWY_CONF1_Minimális vágatok..... | 129 |
| 9. táblázat: Az egyes szcenáriók és minimális vágataik | 133 |

FORRÁSJEGYZÉK

- [16/2000] A légi forgalom irányításának szabályairól szóló 16/2000. (XI. 22.) KöViM rendelet
- [3/2002] 3/2002. (VI. 20.) GKM rendelet a légi közlekedéssel kapcsolatos hatósági eljárások díjairól
- [7/2002] 7/2002. (I. 28.) KöViM rendelet a földi kiszolgálás feltételeiről és engedélyezésének rendjéről
- [Ale06] Ale B.J.M., Bellamy L.J., Cooke R.M., Goossens L.H.J., Hale A.R., Roelen A.L.C, Smith E.: Towards a causal model for air transport safety—an ongoing research project *Safety Science* 44 (2006) 657–673
- [Bab00] Babić, O., Krstić, T., Airspace daily operational sectorization by fuzzy logic, *Fuzzy Sets and Systems* 116 (2000) 49-64
- [Bécs08] Bécsi, T.: Közúti közlekedési rendszerek modellezése és sztochasztikus szimulációja PhD Értekezés 2008
- [Brab03] Braband, J., H. J. Reder: Sicherheitstechnische Vorgehensweisen in Eisenbahnsignaltechnik und Luftfahrt, *Signal+Draht* (95) 1+2/2003, p. 12-14
- [Brab04] Braband, J: On the Formal Definition of Risk in Standards for Safety Related Computer Systems in: Schnieder, E., Tarnai, G.: *Formal Methods for Automation and Safety in Railway and Automotive Systems; Proc. FORMS/FORMAT 2004*, Braunschweig, pp. 19-23
- [Bro06] P.Brooker: Air Traffic Management accident risk Part 1: The limits of realistic modelling *Safety Science* 44 (2006) pp. 419–450
- [Bro07] P.Brooker: The Überlingen accident: Macro-level safety lessons *Safety Science* (2007)
- [Carr01] Carr, V., and J. H. M. Tah. "A fuzzy approach to construction project risk assessment and analysis: construction project risk management system." *Advances in Engineering software* 32.10 (2001): 847-857.
- [CD94] Council Directive 94/56/EC of 21 November 1994 establishing the fundamental principles governing the investigation of civil aviation accidents and incidents *Official Journal L* 319, 12/12/1994 P. 0014 - 0019
- [Damj10] Damjanovich I.,: A biztonságvizsgálatokban alkalmazott kockázatértékelési és veszélyelemzési módszerek áttekintése <http://www.inventor.hu/>; 2010.08.10. (KÖZÉP- ÉS KELET-EURÓPAI KÖRNYEZETFELJESZTÉSI INTÉZET tanulmánya)

- [Deb06] Debels, P. EUROCONTROL CRDS HUNGARIAN AERONAUTICAL RESEARCH WORKSHOP, Budapest, 2006
- [DEC03] DIRECTIVE 2003/42/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 June 2003 on occurrence reporting in civil aviation
- [DES96] Desmond, P. A., T. W. Hoyes: Workload Variation, Intrinsic Risk and Utility in a Simulated Air Traffic Control Task: Evidence for Compensatory Effects Safety Science (96) 22/1996 pp. 87-101
- [DO178] RTCA, INC., DOCUMENT RTCA/DO-178, SOFTWARE CONSIDERATIONS IN AIRBORNE SYSTEMS AND EQUIPMENT CERTIFICATION, 1982.
- [DO254] RTCA, INC., DOCUMENT RTCA/DO-254, DESIGN ASSURANCE GUIDANCE FOR AIRBORNE ELECTRONIC HARDWARE, 2005
- [Dro07] Drogoul, F. et al: Safety in design – Can one industry learn from another? Safety Science (07) 45/2007 pp. 129–153
- [EAM/GUI04] EAM 3 / GUI 4 – Mapping between ISO 9001:2000 and ESARR 3, EUROCONTROL SRC, 2004
- [EAP03] European Action Plan for Runway Incursion, EUROCONTROL, Group of Aerodrome Safety Regulators, IATA, ACI, BAA, NATS, DFS, 2003
- [EC05] COMMISSION REGULATION (EC) No 2096/2005 of 20 December 2005 laying down common requirements for the provision of air navigation services
- [EK06] A BIZOTTSÁG 736/2006/EK RENDELETE (2006. május 16.) az Európai Repülésbiztonsági Ügynökség szabványosítási vizsgálatok elvégzésével kapcsolatos munkamódszereiről
- [EK04] AZ EURÓPAI PARLAMENT ÉS A TANÁCS 552/2004/EK RENDELETE
(2004. március 10.) az Európai Légitforgalmi Szolgáltatási Hálózat átjárhatóságáról
- [EN50126] Railway Applications: The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS); CENELEC
- [EN50129] Railway Applications: Safety Related Electronic Systems for Signalling; CENELEC
- [EUC03a] Validation of the Human Error in ATM (HERA-JANUS) Technique Edition, EUROCONTROL, 2003
- [EUC03b] The Human Error in ATM Technique (HERA-JANUS), EUROCONTROL, 2003

- [EUC05] A-SMGCS Levels 1 & 2 Guidance Material in support of the Preliminary Safety Case, 2005
- [EUC] <http://www.EUROCONTROL.int/>
- [ERG09] <http://www.erg.bme.hu/>, 2009.
- [ESARR2] Reporting and Assessment of Safety Occurrences in ATM, EUROCONTROL, 2000
- [ESARR3] Use of Safety Management Systems by ATM Service Providers, EUROCONTROL, 2000
- [ESARR4] Risk Assessment and Mitigation in ATM, EUROCONTROL, 2001
- [Fod15] Fodor J.: Fuzzy irányítási rendszerek előadás vázlat http://uni-obuda.hu/fodor/06_fuzzy_iranyitas.pdf 2015
- [Fus75] Fussell, J.B. 1975. How to calculate system reliability and safety characteristics. IEEE Transactions on Reliability 24(3): 169–174.
- [Har09] Harmati I., Járműtest energiaabszorpciós deformációs modelljeinek identifikációja PhD értekezés BME 2009
- [Har14] Harmati I., Fuzzy rendszerek és genetikus algoritmusok előadás vázlat <http://bagira.iit.bme.hu/~harmati/oktatas/FuzzyGAea/het3.pdf> 2014
- [IA106] ICAO Annex1, Personnel Licensing 10 ed.-2006
- [IA601] ICAO Annex6, Operation of Aircraft : International Commercial Air Transport 8 ed.-2001
- [IA805] ICAO Annex8, Airworthiness of Aircraft 10. ed. 2005
- [IA1101] ICAO Annex11, Air Traffic Services 13 ed.-2001
- [IA1301] ICAO Annex 13. Aircraft Accident and Incident Investigation 9 ed.-2001
- [IA1404] ICAO Annex 14, Aerodromes 4 ed. – 2004
- [IA1913] ICAO Annex 19, Safety Management 1. ed. - 2013
- [IATA09] IATA Airport Handling Manual 29th Edition International Air Transport Association (IATA), ISBN-13: 9789292331085, 2008
- [ICAO01] ICAO Doc 9774 AN/969, Manual on Certification of Aerodromes 2001.
- [ICAO02] ICAO Doc 9674 World Geodetic System — 1984 (WGS-84) Manual
- [ICAO03] ICAO *DOC 9157* Aerodrome Design Manual

- [ICAO04] ICAO DOC 4444 PANS-ATM, Procedures for Air Traffic Management
- [ICAO05] ICAO DOC 9870 Manual on the Prevention of Runway Incursions
- [Ige02] Igenbergs, E.: Grundanlagen der Systemtechnik vál.kurzus BME 2002
- [Izsó07] Izsó, L.: Ergonómia, www.erg.bme.hu
- [JAR07] JAA, JAR-OPS 1: Commercial Air Transportation (Aeroplanes), 2007.
- [Kıy08] Kıyıldı, R.K., Karasahin, M., The capacity analysis of the check-in unit of Antalya Airport using the fuzzy logic method Transport. Res. Part A 2008, doi:10.1016/j.tra.2008.01.004
- [Kóc01] Kóczy T. L., Tikk D., Fuzzy rendszerek Typotex, Budapest ISBN 963 9132 55 1
- [Kóc06] Kóczy T. L., et al., Fuzzy következtető rendszerek alkalmazása mobil hálózatok felügyeletében Híradástechnika 2006/12 pp52-59
- [Kov93] Kovács Sz., Fuzzy logic control, M.Phil. theses, Technical University of Budapest, Faculty of Informatics and Electrical Engineering, Budapest, Branch of Computer Science, p.116, 1993
- [Kur07] Kurd Z., Kelly T.P.: Using fuzzy self-organising maps for safety critical systems Reliability Engineering and System Safety 92 2007 1563–1583
- [Mar15] Mardani et al: Fuzzy multiple criteria decision-making techniques and applications – Two decades review from 1994 to 2014 Expert Systems with Applications 42 (2015) 4126–4148
- [Mey02] Meyer, D.: Alkalmazott rendszerelmélet házidolgozat 2002
- [Mey06] Meyer, D.: A polgári légi közlekedés nemzetközi repülőtereinek biztonságigazolása, Diplomaterv, BME Közlekedésmérnöki Kar, Budapest, 2006
- [MeyTS07] Meyer D., Sághi B., Tarnai G.: Tracks and Wings - Dialogue for Safety. FORMS/FORMAT2007. 6th Symposium on Formal Methods for Automation and Safety in Railway and Automotive Systems. Braunschweig, Németország, 2007. január 25-26. pp. 286-293.
- [MeyTS07a] Meyer, D., Sághi B., Tarnai G. - Technológia transzfer lehetőségek a futópálya sértetlenségének elősegítésére, 6. EURÓPAI KÖZLEKEDÉSI KONGRESSZUS: A KÖZLEKEDÉS BIZTONSÁGA, A BIZTONSÁGOS KÖZLEKEDÉS 2007. Budapest, 2007. április 25-27. pp. 44-48.

- [MeyTS08] Meyer D., Sági B., Tarnai G.: Safety management of traffic growth in air transportation, *Periodica Polytechnica* 36/1-2 (2008) pp. 69–72.
- [Mey09a] Meyer, D., Károlyi I., Renner P., Bécsi T., Szabó G., Aradi Sz. - Gyakorlati alapú szektorkapacitás-meghatározás validálása légiforgalmi irányítói terhelésen alapuló módszerrel, *Közlekedéstudományi Szemle* 59/5 (2009) pp. 19-29.
- [MeyT09b] Meyer D., Tarnai G.: Integrált, dinamikus, járat-specifikus veszély- és kockázatelemzés koncepciója a polgári légiközlekedésben, *Innováció és Fenntartható Felszíni Közlekedés MMA Konferencia*, Budapest, 2009. szeptember 3-5.
- [Mey10a] Meyer D., Tarnai G.: Futópálya-baleset hibafa elemzése a polgári légiközlekedésben, *Innováció és fenntartható felszíni közlekedés MMA Konferencia*, Budapest, 2010.szeptember 2-4., ISBN 978-963-88875-1-1
- [Mey10b] Meyer D., Tarnai G.: Integrált, prediktív, pre-online futópálya-biztonsági modell alapjai - FTA szcenárió-analízis , *MAGYAR REPÜLÉSTUDOMÁNYI NAPOK Konferencia*, Budapest, 2010. november 11-12., ISBN 978-963-313-032-2
- [Mey10c] MEYER D., TARNAI G.: Légtér komplexitás és szektorkapacitás összefüggéseinek meghatározása szimulációs támogatással, VIII. ALKALMAZOTT INFORMATIKA KONFERENCIA, KAPOSVAR, 2010.01.22.
- [Mey10d] MEYER D.: Folyamatalapú, járat-specifikus repülésbiztonsági szimulációs fejlesztés alapelmélete VIII. ALKALMAZOTT INFORMATIKA KONFERENCIA, KAPOSVAR, 2010.01.22.
- [Mey11] Meyer D., Tarnai G.: Veszély- és kockázatbecslés alapú eljárás-befolyásolás a polgári légiközlekedésben, *Innováció és fenntartható felszíni közlekedés MMA Konferencia*, Budapest, 2011. augusztus 29-31., pp 193-197, ISBN 978-963-88875-2-8
- [Mey13] Meyer D.,: Repülésbiztonsági megfelelés biztosítása, *Innováció és fenntartható felszíni közlekedés MMA Konferencia*, Budapest, 2013. augusztus 28-30., pp 64-67, ISBN 978-963-88875-2-8
- [MeyM14] Meyer D., Mudra I.: Repülésbiztonság növelésének kutatása, *Innováció és fenntartható felszíni közlekedés MMA Konferencia*, Budapest, 2014. augusztus 25-27., pp 176-182, ISBN 978-963-88875-2-8
- [Mey15] Meyer D., Tarnai G.: Safety level of airside, pre-take-off objects and processes, *Periodica Polytechnica*, xxx (2015) pp. xxx ISSN 1587-3811
- [Mil04] Milius, B., J. T. Gayen: Functional Hazard Assessment der Luftfahrt im Vergleich zu Risikoanalysen der Eisenbahn, *Signal+ Draht* (96) 10/2004 pp. 23-31

- [Mud07] Mudra I., Repülőterek és repülőtéri berendezések (Repülőterek felületei, rendszerei, berendezései és egyéb felszerelései), Repülésoktatási és Dokumentációs Központ, 2007.
- [Mud08] Mudra I., Safety Management System Budapest-Ferihegy Repülőtéren Közlekedésbiztonsági szakmai nap Siófok, 2008.
- [Mud09] Mudra I., A futópálya-biztonság, Repülésoktatási és Dokumentációs Központ, 2009.
- [Nad15] M. Naderpour et al.: An abnormal situation modeling method to assist operators in safety-critical systems Reliability Engineering and System Safety 133 (2015) 33-47
- [NLR] <http://www.nlr.nl/>
- [OAH00] Átalakítások biztonsági hatásának elemzése; a NUKLEÁRIS BIZTONSÁGI SZABÁLYZATOK 3. sz. kötetéhez tartozó 3.10. sz. Irányelv, Országos Atomenergia Hivatal, 2000.
- [Pir12] Piros A.,: Fuzzy alapú kiértékelő módszer alkalmazása a konstrukciós tervezésben PhD értekezés BME, 2012
- [Pit05] Pitlik L., Bunkóczi L., Pető I.: Környezeti-ökológiai konzisztenciák bevonása a modellalkotás automatizálásába
VII. Magyar Biometriai és Biomatematikai Konferencia Budapest 2005
- [RSM09] RiskSpectrum Analysis Tools - Theory Manual 2009.
- [SAE94] ARP4754: Certification Considerations for Highly-Integrated or Complex Aircraft Systems; SAE Systems Integration Requirements Task Group AS-1C, ASD.Society of Automotive Engineers, Inc., December 1994
- [SAE95] ARP4761: Guidelines and methods for conducting the safety assessment process on civil airborne systems and equipment SAE Committee S-18 Society of Automotive Engineers, Inc., August 1995
- [Ság03] Sági B.: Formális módszerek alkalmazhatósága a vasútbiztosító technikában PhD Értekezés BME 2003.
- [SES] <http://ec.europa.eu/transport/air/sesar/>
- [SG09] <http://www.sg.hu/>; 2009.
- [SMM13] ICAO Doc 9859, Safety Management Manual (SMM)
- [Röv05] Rövid A.,: Baleseti járműtest-deformációk identifikációja intelligens számítási módszerekkel PhD értekezés BME 2005

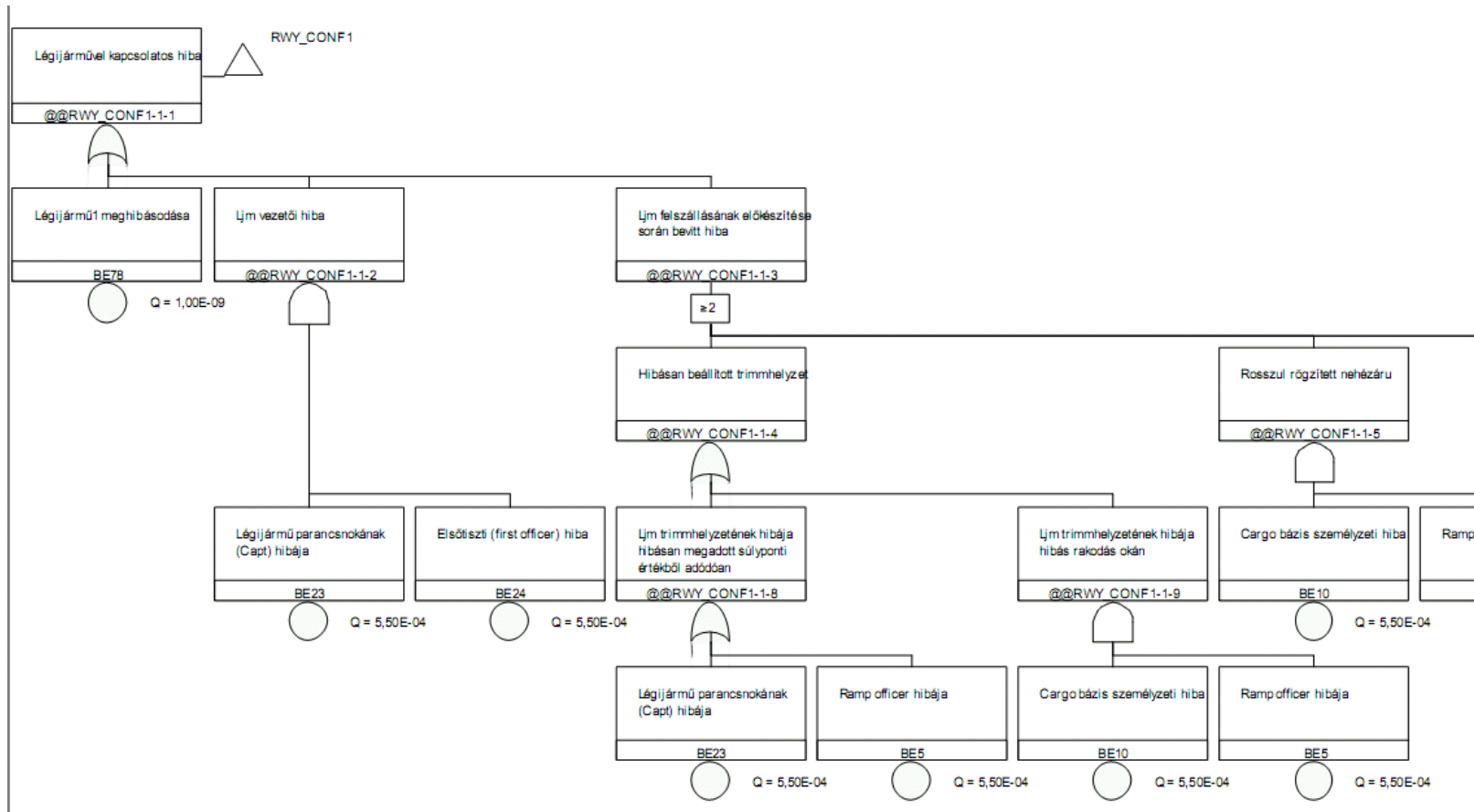
- [SRC] EUROCONTROL SRC, ESARR 2 GUIDANCE TO ATM SAFETY REGULATORS Severity Classification Scheme for Safety Occurrences in ATM
- [Szabó08] Szabó G.: Nagy megbízhatóságú elektronikus közlekedési alrendszerek RAMS paramétereinek kezelése Ph.D Értekezés 2008.
- [Tak90] TAKEDA, H.; VEERKAMP, P.; TOMIYAMA, T.; YOSHIKAWA, H. (1990): Modelling Design Process AI Magazine, Vol. 11 No. 4. Association for the Advancement of Artificial Intelligence, pp.:37-48, ISSN: 0738-4602
- [Tak09] Takács, M: Extended fuzzy methods in risk management. In: Proc. of 14th WSAES International Conference on Applied Mathematics, 2009. pp. 978-960.
- [Tak10] Takács, M.: Multilevel fuzzy approach to the risk and disaster management." Acta Polytechnica Hungarica 7.4 (2010): 91-102.
- [Tak12] Tóth-Laufer, E.; Takács, M.; Rudas, I. J. Conjunction and disjunction operators in neuro-fuzzy risk calculation model simplification. In: Computational Intelligence and Informatics (CINTI), 2012 IEEE 13th International Symposium on. IEEE, 2012. p. 195-200.
- [Tarn05] Tarnai G.: Vasúti biztosítóberendezések tanúsítási eljárásának harmonizálása, tanulmány, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Közlekedésautomatikai Tanszék, 2005
- [Tarn09a] Tarnai G.: Közlekedési automatika előadási vázlat 2009; <http://www.kka.bme.hu>
- [Tarn09b] Tarnai G., Ságghi B., Nagybiztonságú rendszerek tervezése előadási vázlat 2009; <http://www.kka.bme.hu>
- [Tarn09c] Tarnai G.: Kockázat és biztonságintegritás a közlekedésben PhD tárgy előadási vázlata 2009;
- [Teo98] Teodorović D., P. Lučić: A Fuzzy Set Theory Approach to the Aircrew Rostering Problem Fuzzy Sets and Systems 95 (1998) pp. 261-271
- [WP15] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Rendszer>; 2015
- [WP09] http://en.wikipedia.org/wiki/Aircraft_maintenance_checks; 2009.
- [Zad72] Zadeh L., A., Polak E.: Rendszerelmélet Műszaki Könyvkiadó Budapest 1972

FÜGGELÉK

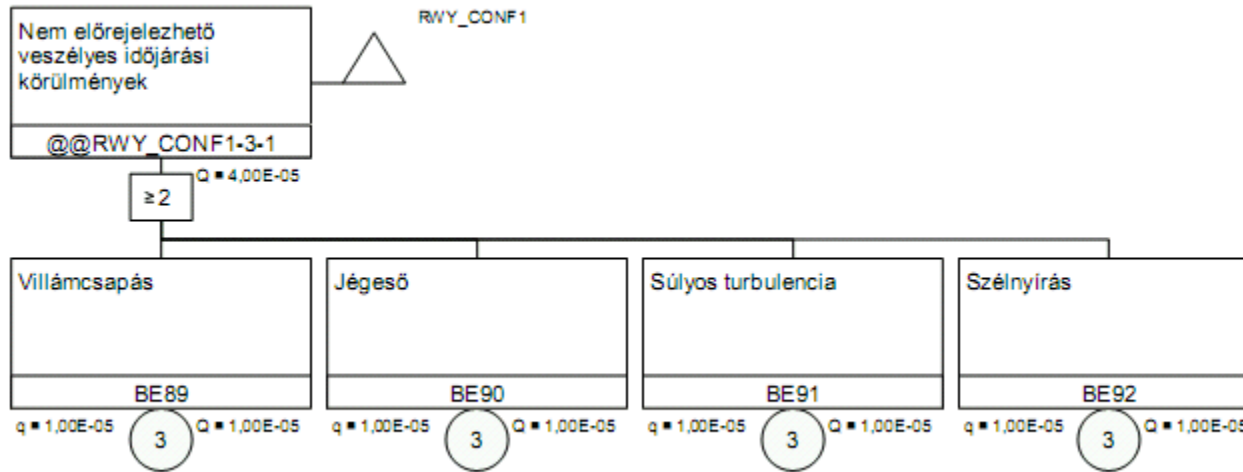
FI. FTA

FII/1. RWY_CONF1 alfái

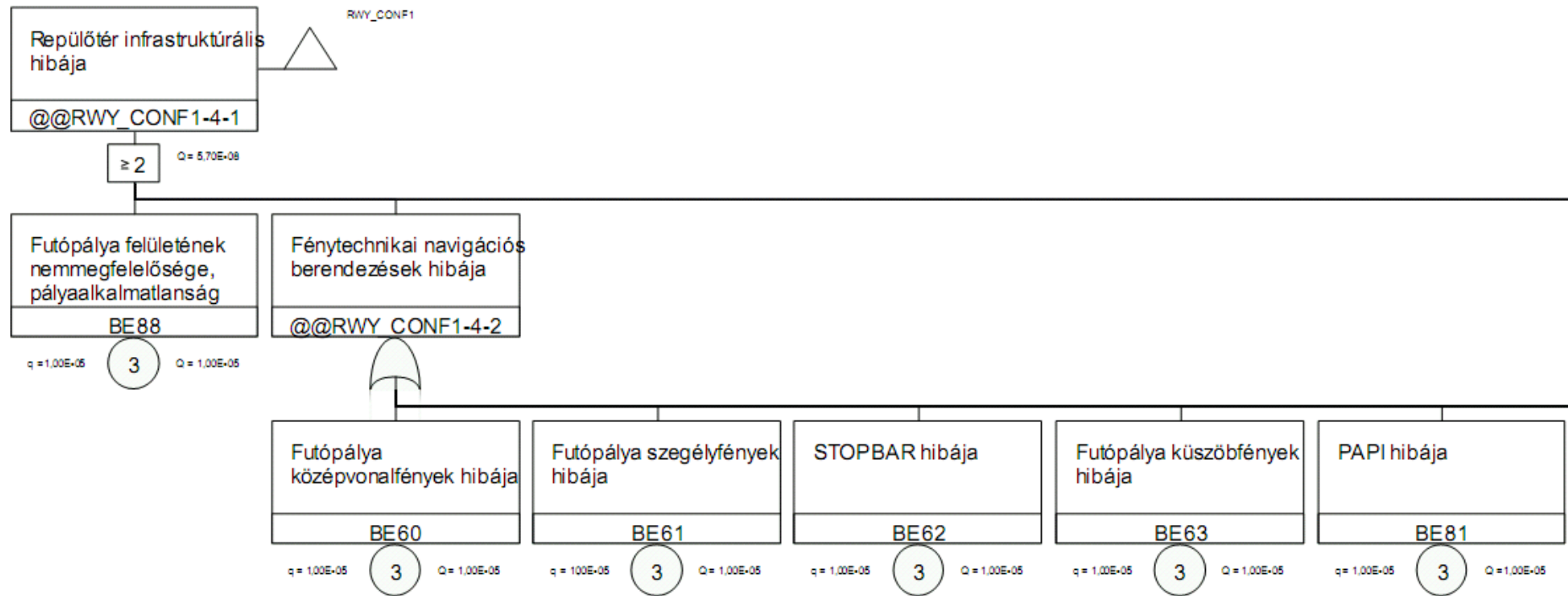
31. ábra: FII/1-RWY_CONF1_légijárművel kapcsolatos hiba_part1



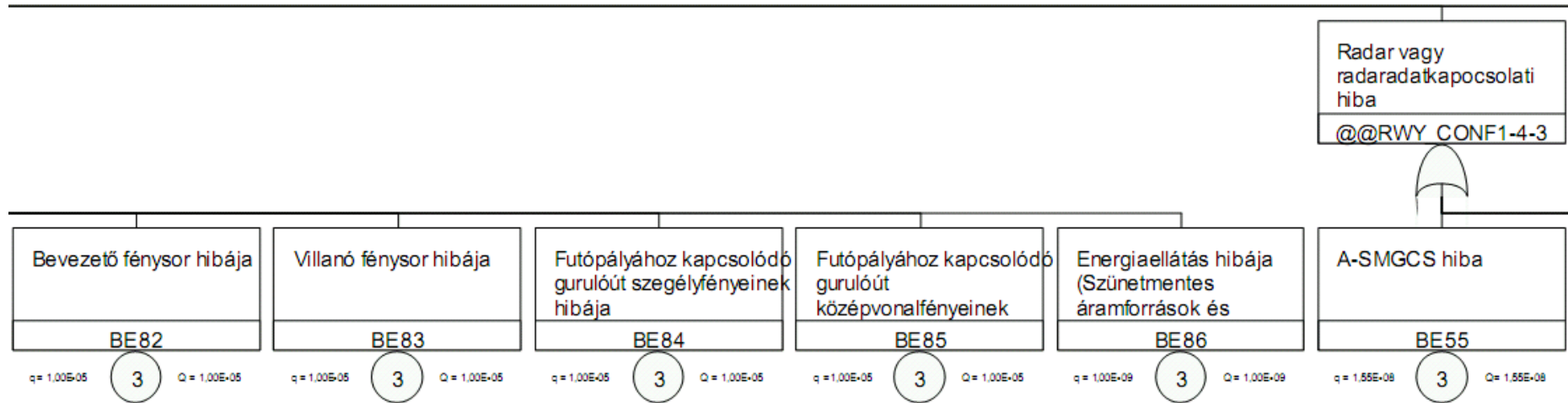
32. ábra: FII/1-RWY_CONF1_Nem előrejelezhető veszélyes időjárási körülmények



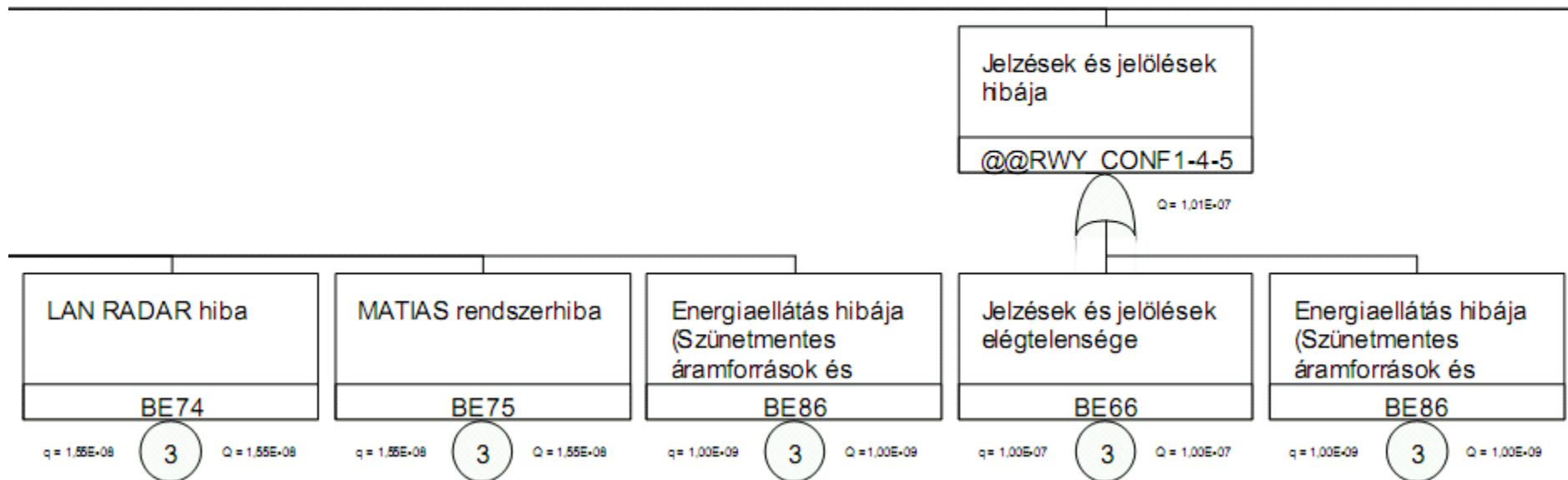
33. ábra: FII/1- RWY_CONF1_Repülőtér infrastruktúrális hibája_part1



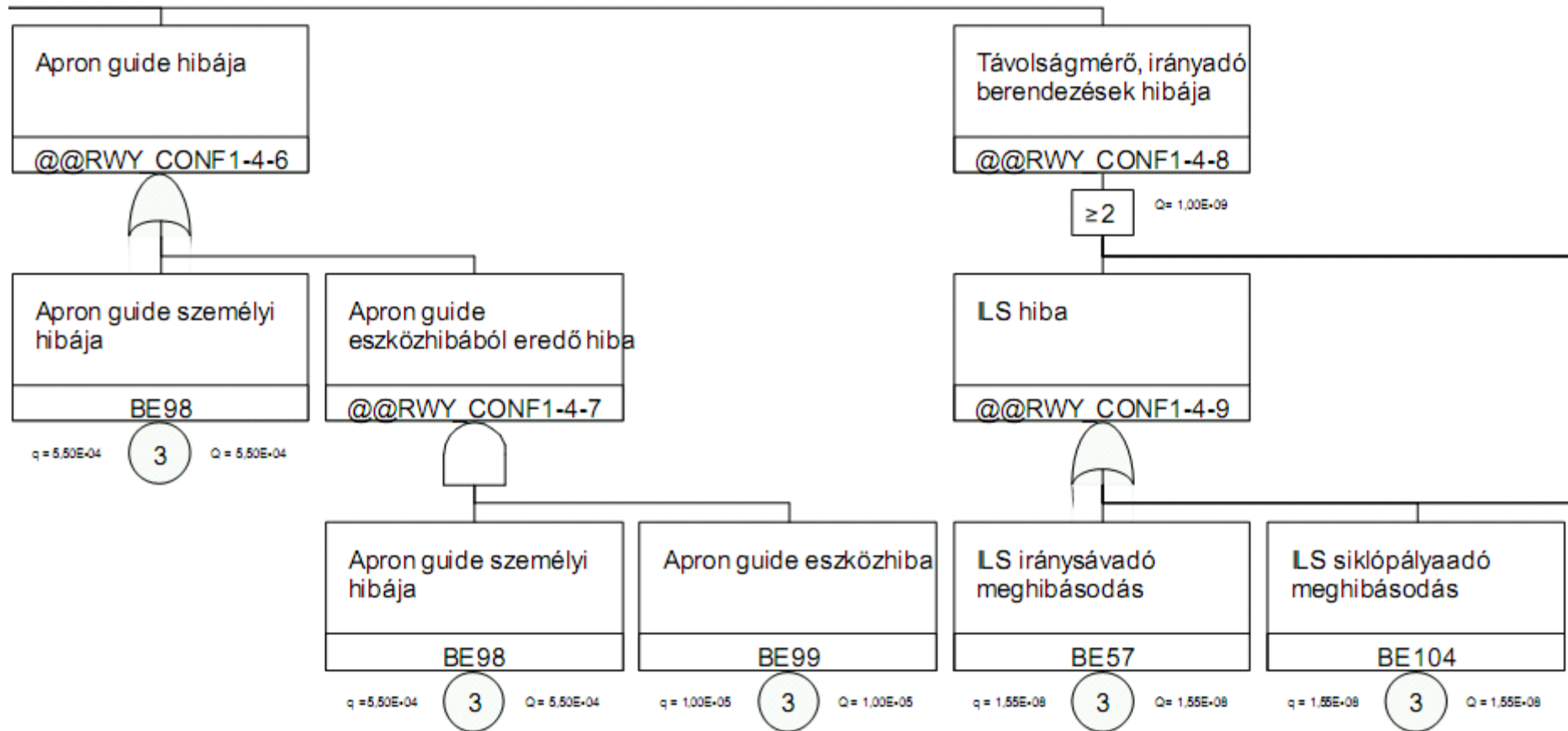
34. ábra: FII/1-RWY_CONF1_Repülőtér infrastruktúrális hibája_part2



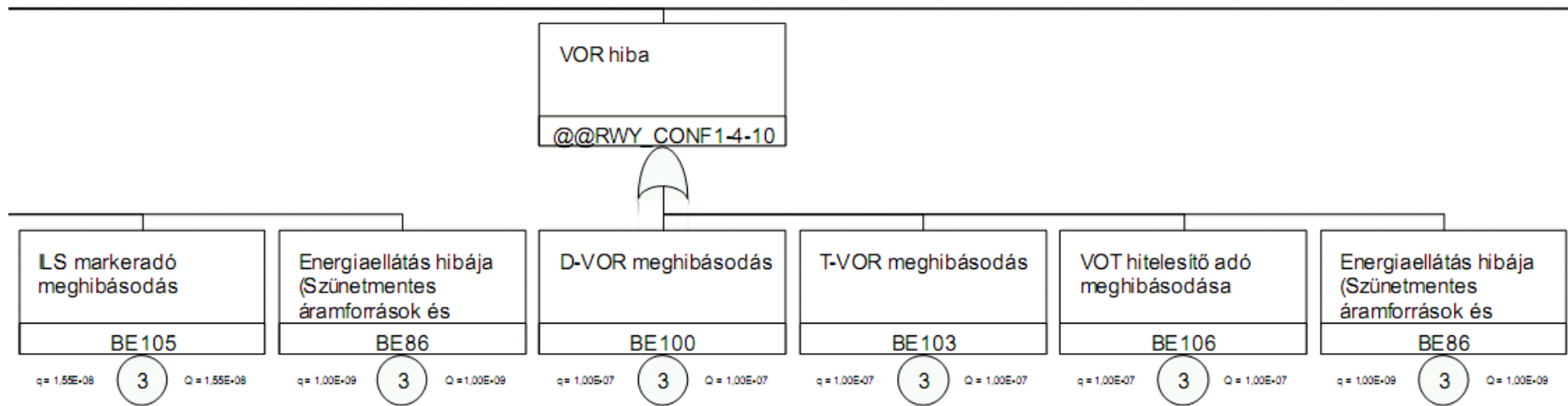
35. ábra: FII/1- RWY_CONF1_Repülőtér infrastruktúrális hibája_part3



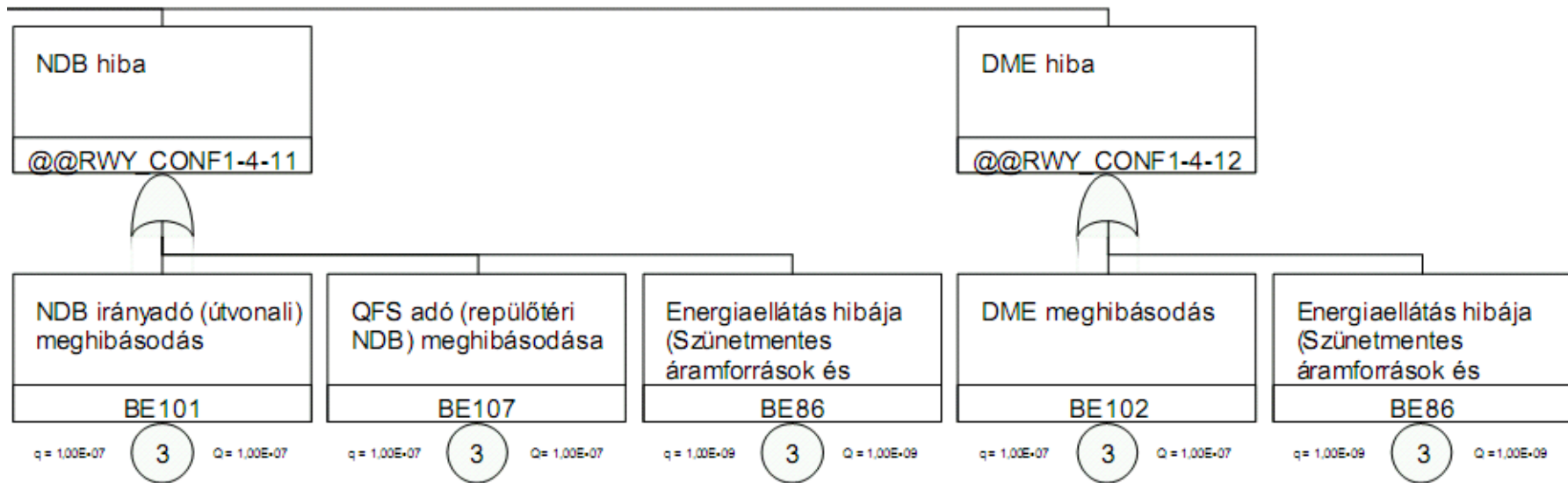
36. ábra: FII/1- RWY_CONF1_Repülőtér infrastruktúrális hibája_part4



37. ábra: FII/1- RWY_CONF1_Repülőtér infrastruktúrális hibája_part5



38. ábra: FII/1- RWY_CONF1_Repülőtér infrastruktúrális hibája_part6



8. Táblázat: FII/1-RWY_CONF1_Minimális vágatok

| Nr. | Q | % | Elemi esemény |
|-----|----------|-------|----------------|
| 1 | 1,00E-09 | 63,09 | BE86 |
| 2 | 1,66E-10 | 10,5 | BE23 BE24 BE53 |
| 3 | 1,66E-10 | 10,5 | BE10 BE5 BE53 |
| 4 | 1,66E-10 | 10,5 | BE23 BE53 BE64 |
| 5 | 8,53E-12 | 0,54 | BE53 BE73 |
| 6 | 8,53E-12 | 0,54 | BE75 BE98 |
| 7 | 8,53E-12 | 0,54 | BE53 BE77 |
| 8 | 8,53E-12 | 0,54 | BE53 BE75 |
| 9 | 8,53E-12 | 0,54 | BE53 BE72 |
| 10 | 3,03E-12 | 0,19 | BE53 BE61 BE98 |
| 11 | 3,03E-12 | 0,19 | BE53 BE82 BE98 |
| 12 | 3,03E-12 | 0,19 | BE53 BE81 BE98 |
| 13 | 3,03E-12 | 0,19 | BE53 BE62 BE98 |
| 14 | 3,03E-12 | 0,19 | BE53 BE83 BE98 |
| 15 | 3,03E-12 | 0,19 | BE53 BE88 BE98 |
| 16 | 3,03E-12 | 0,19 | BE53 BE63 BE98 |
| 17 | 3,03E-12 | 0,19 | BE53 BE85 BE98 |
| 18 | 3,03E-12 | 0,19 | BE53 BE60 BE98 |
| 19 | 3,03E-12 | 0,19 | BE53 BE84 BE98 |
| 20 | 1,00E-12 | 0,06 | BE66 BE82 |
| 21 | 1,00E-12 | 0,06 | BE63 BE66 |
| 22 | 1,00E-12 | 0,06 | BE66 BE81 |
| 23 | 1,00E-12 | 0,06 | BE66 BE83 |
| 24 | 1,00E-12 | 0,06 | BE66 BE84 |
| 25 | 1,00E-12 | 0,06 | BE61 BE66 |
| 26 | 1,00E-12 | 0,06 | BE66 BE85 |
| 27 | 1,00E-12 | 0,06 | BE62 BE66 |
| 28 | 1,00E-12 | 0,06 | BE60 BE66 |
| 29 | 5,50E-13 | 0,03 | BE53 BE78 |
| 30 | 1,55E-13 | 0,01 | BE75 BE81 |
| 31 | 1,55E-13 | 0,01 | BE75 BE83 |
| 32 | 1,55E-13 | 0,01 | BE75 BE84 |

| | | | | | | |
|----|----------|------|------|------|------|------|
| 33 | 1,55E-13 | 0,01 | BE62 | BE75 | | |
| 34 | 1,55E-13 | 0,01 | BE75 | BE88 | | |
| 35 | 1,55E-13 | 0,01 | BE60 | BE75 | | |
| 36 | 1,55E-13 | 0,01 | BE75 | BE82 | | |
| 37 | 1,55E-13 | 0,01 | BE61 | BE75 | | |
| 38 | 1,55E-13 | 0,01 | BE63 | BE75 | | |
| 39 | 1,55E-13 | 0,01 | BE75 | BE85 | | |
| 40 | 9,15E-14 | 0,01 | BE53 | BE67 | BE68 | BE69 |
| 41 | 9,15E-14 | 0,01 | BE25 | BE26 | BE53 | BE67 |
| 42 | 9,15E-14 | 0,01 | BE26 | BE53 | BE67 | BE69 |
| 43 | 9,15E-14 | 0,01 | BE25 | BE53 | BE67 | BE69 |
| 44 | 9,15E-14 | 0,01 | BE25 | BE53 | BE68 | BE69 |
| 45 | 9,15E-14 | 0,01 | BE26 | BE53 | BE68 | BE69 |
| 46 | 9,15E-14 | 0,01 | BE26 | BE53 | BE67 | BE68 |
| 47 | 9,15E-14 | 0,01 | BE25 | BE26 | BE53 | BE69 |
| 48 | 9,15E-14 | 0,01 | BE25 | BE26 | BE53 | BE68 |
| 49 | 9,15E-14 | 0,01 | BE25 | BE53 | BE67 | BE68 |
| 50 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE63 | BE88 | |
| 51 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE62 | BE88 | |
| 52 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE84 | BE88 | |
| 53 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE91 | BE92 | |
| 54 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE89 | BE90 | |
| 55 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE85 | BE88 | |
| 56 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE83 | BE88 | |
| 57 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE82 | BE88 | |
| 58 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE90 | BE92 | |
| 59 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE89 | BE92 | |
| 60 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE60 | BE88 | |
| 61 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE81 | BE88 | |
| 62 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE89 | BE91 | |
| 63 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE90 | BE91 | |
| 64 | 5,50E-14 | 0 | BE53 | BE61 | BE88 | |
| 65 | 3,03E-14 | 0 | BE53 | BE66 | BE98 | |
| 66 | 4,69E-15 | 0 | BE10 | BE5 | BE75 | |

| | | | | | |
|-----|----------|--------|------|------|------|
| 67 | 4,69E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE77 | |
| 68 | 4,69E-15 | 0 BE53 | BE55 | BE98 | |
| 69 | 4,69E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE72 | |
| 70 | 4,69E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE75 | |
| 71 | 4,69E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE77 | |
| 72 | 4,69E-15 | 0 BE53 | BE74 | BE98 | |
| 73 | 4,69E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE73 | |
| 74 | 4,69E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE72 | |
| 75 | 4,69E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE73 | |
| 76 | 1,66E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE84 | BE98 |
| 77 | 1,66E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE83 | BE98 |
| 78 | 1,66E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE61 | BE98 |
| 79 | 1,66E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE62 | BE98 |
| 80 | 1,66E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE63 | BE98 |
| 81 | 1,66E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE60 | BE98 |
| 82 | 1,66E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE85 | BE98 |
| 83 | 1,66E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE81 | BE98 |
| 84 | 1,66E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE62 | BE98 |
| 85 | 1,66E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE83 | BE98 |
| 86 | 1,66E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE82 | BE98 |
| 87 | 1,66E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE60 | BE98 |
| 88 | 1,66E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE61 | BE98 |
| 89 | 1,66E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE84 | BE98 |
| 90 | 1,66E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE81 | BE98 |
| 91 | 1,66E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE63 | BE98 |
| 92 | 1,66E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE82 | BE98 |
| 93 | 1,66E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE85 | BE98 |
| 94 | 1,66E-15 | 0 BE10 | BE5 | BE88 | BE98 |
| 95 | 1,66E-15 | 0 BE23 | BE24 | BE88 | BE98 |
| 96 | 1,55E-15 | 0 BE66 | BE75 | | |
| 97 | 1,00E-15 | 0 BE81 | BE89 | BE90 | |
| 98 | 1,00E-15 | 0 BE83 | BE89 | BE90 | |
| 99 | 1,00E-15 | 0 BE60 | BE89 | BE90 | |
| 100 | 1,00E-15 | 0 BE62 | BE89 | BE90 | |

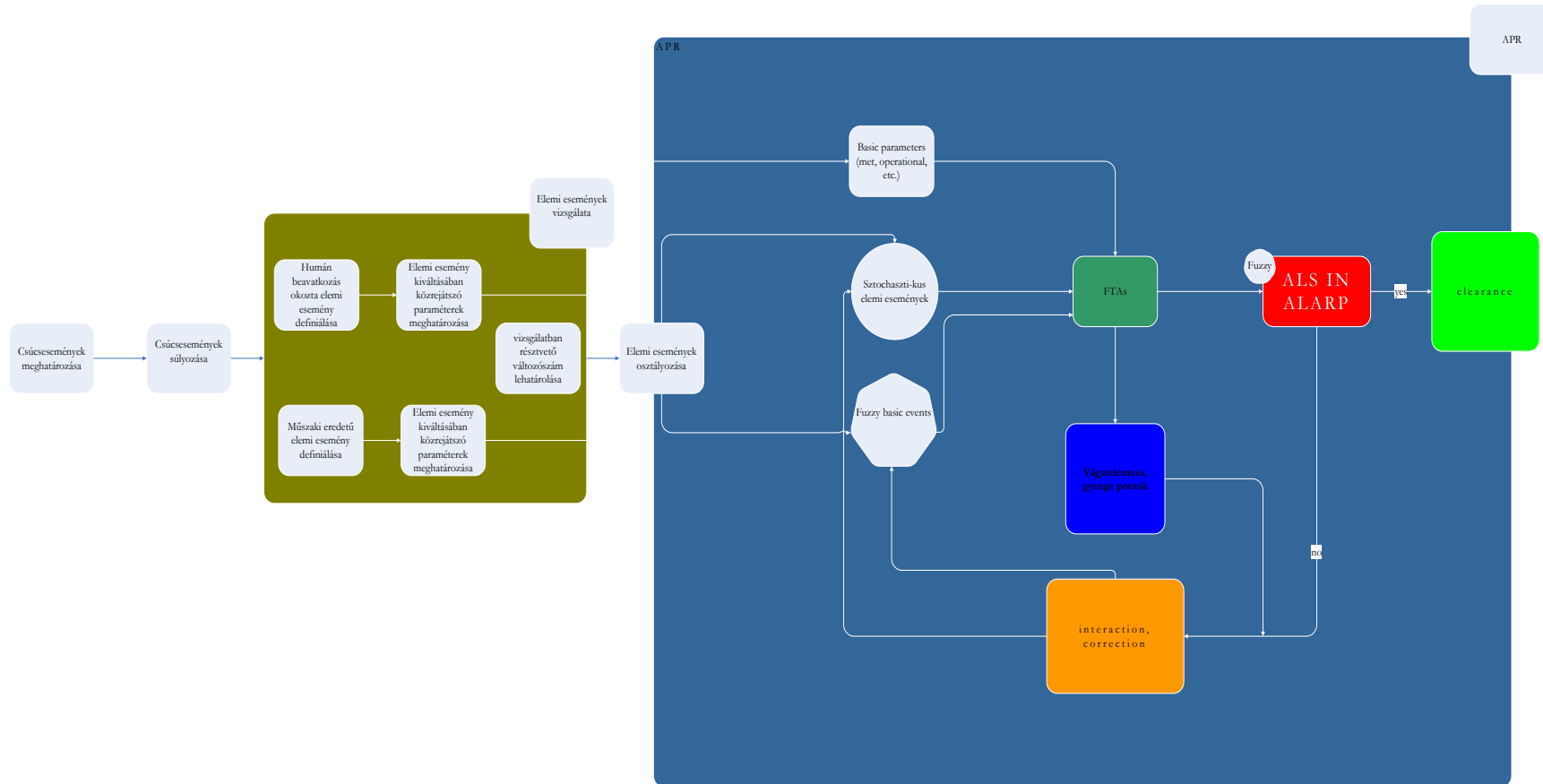
9. táblázat: Az egyes szcenáriók és minimális vágataik

| Szcenárió | Csúcsesemény bekövetkezési valószínűsége | Nr. | Nom. Val. | % | Minimális vágat | | |
|-----------|--|-----|-----------|-------|-----------------|------|------|
| 1. | 2,37E-08 | 1 | 5,50E-09 | 23,19 | BE52 | BE75 | |
| | | 2 | 5,50E-09 | 23,19 | BE53 | BE75 | |
| | | 3 | 5,50E-09 | 23,19 | BE75 | BE95 | |
| | | 4 | 5,50E-09 | 23,19 | BE65 | BE75 | |
| | | 5 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE65 |
| | | 6 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE65 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE53 | BE64 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE52 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE53 |
| | | 10 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE95 |
| 2. | 1,78E-09 | 1 | 1,66E-10 | 9,36 | BE10 | BE5 | BE52 |
| | | 2 | 1,66E-10 | 9,36 | BE23 | BE24 | BE52 |
| | | 3 | 1,66E-10 | 9,36 | BE23 | BE24 | BE65 |
| | | 4 | 1,66E-10 | 9,36 | BE23 | BE53 | BE64 |
| | | 5 | 1,66E-10 | 9,36 | BE23 | BE24 | BE53 |
| | | 6 | 1,66E-10 | 9,36 | BE10 | BE5 | BE95 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 9,36 | BE10 | BE5 | BE53 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 9,36 | BE10 | BE5 | BE65 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 9,36 | BE23 | BE24 | BE95 |
| | | 10 | 8,53E-12 | 0,48 | BE75 | BE95 | |
| 3. | 2,37E-08 | 1 | 5,50E-09 | 23,17 | BE53 | BE75 | |
| | | 2 | 5,50E-09 | 23,17 | BE65 | BE75 | |
| | | 3 | 5,50E-09 | 23,17 | BE75 | BE95 | |
| | | 4 | 5,50E-09 | 23,17 | BE52 | BE75 | |
| | | 5 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE95 |
| | | 6 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE53 | BE64 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE52 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE52 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE53 |

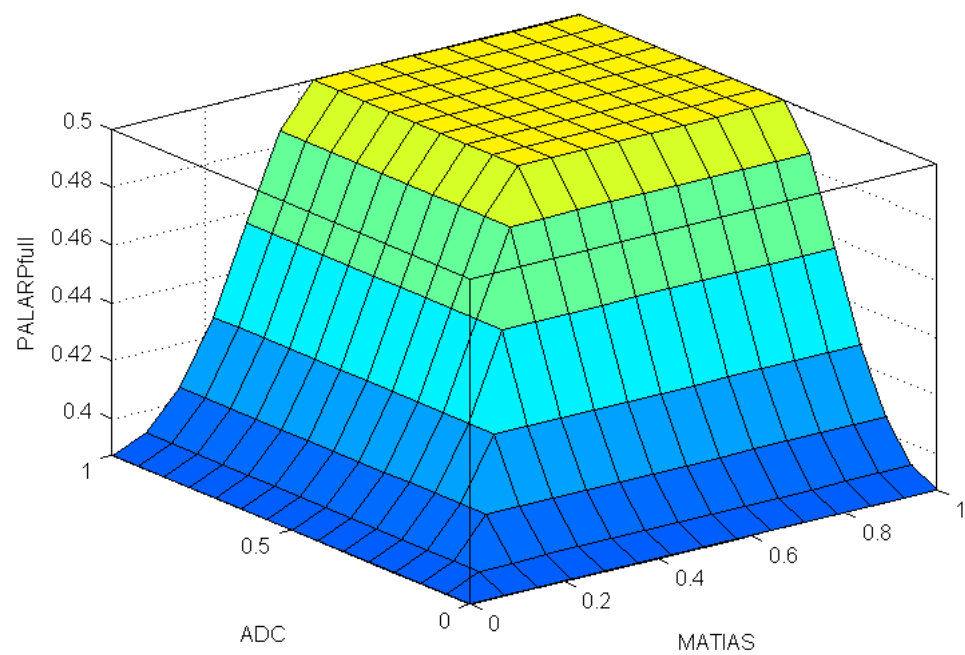
| | | | | | | | |
|----|----------|----|----------|-------|------|------|------|
| | | 10 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE65 |
| 4. | 2,37E-08 | 1 | 5,50E-09 | 23,19 | BE53 | BE72 | |
| | | 2 | 5,50E-09 | 23,19 | BE72 | BE95 | |
| | | 3 | 5,50E-09 | 23,19 | BE65 | BE72 | |
| | | 4 | 5,50E-09 | 23,19 | BE52 | BE72 | |
| | | 5 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE95 |
| | | 6 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE53 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE52 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE95 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE65 |
| | | 10 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE65 |
| 5. | 2,37E-08 | 1 | 5,50E-09 | 23,17 | BE65 | BE72 | |
| | | 2 | 5,50E-09 | 23,17 | BE52 | BE72 | |
| | | 3 | 5,50E-09 | 23,17 | BE53 | BE72 | |
| | | 4 | 5,50E-09 | 23,17 | BE72 | BE95 | |
| | | 5 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE53 |
| | | 6 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE52 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE53 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE53 | BE64 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE52 |
| | | 10 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE95 |
| 6. | 1,78E-09 | 1 | 1,66E-10 | 9,36 | BE10 | BE5 | BE52 |
| | | 2 | 1,66E-10 | 9,36 | BE23 | BE24 | BE52 |
| | | 3 | 1,66E-10 | 9,36 | BE23 | BE24 | BE65 |
| | | 4 | 1,66E-10 | 9,36 | BE10 | BE5 | BE53 |
| | | 5 | 1,66E-10 | 9,36 | BE23 | BE53 | BE64 |
| | | 6 | 1,66E-10 | 9,36 | BE10 | BE5 | BE95 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 9,36 | BE23 | BE24 | BE53 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 9,36 | BE10 | BE5 | BE65 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 9,36 | BE23 | BE24 | BE95 |
| | | 10 | 8,53E-12 | 0,48 | BE75 | BE95 | |
| 7. | 1,76E-09 | 1 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE65 |
| | | 2 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE95 |

| | | | | | | | |
|-----|----------|----|----------|------|------|------|------|
| | | 3 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE95 |
| | | 4 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE53 |
| | | 5 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE52 |
| | | 6 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE53 | BE64 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE65 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE52 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE53 |
| | | 10 | 8,53E-12 | 0,48 | BE72 | BE95 | |
| 8. | 1,76E-09 | 1 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE53 | BE64 |
| | | 2 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE95 |
| | | 3 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE52 |
| | | 4 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE65 |
| | | 5 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE53 |
| | | 6 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE65 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE95 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE52 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE53 |
| | | 10 | 8,53E-12 | 0,48 | BE52 | BE73 | |
| 9. | 1,76E-09 | 1 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE53 |
| | | 2 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE53 |
| | | 3 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE65 |
| | | 4 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE95 |
| | | 5 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE52 |
| | | 6 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE95 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE53 | BE64 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE52 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE65 |
| | | 10 | 8,53E-12 | 0,48 | BE53 | BE73 | |
| 10. | 1,76E-09 | 1 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE53 | BE64 |
| | | 2 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE53 |
| | | 3 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE53 |
| | | 4 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE65 |
| | | 5 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE52 |

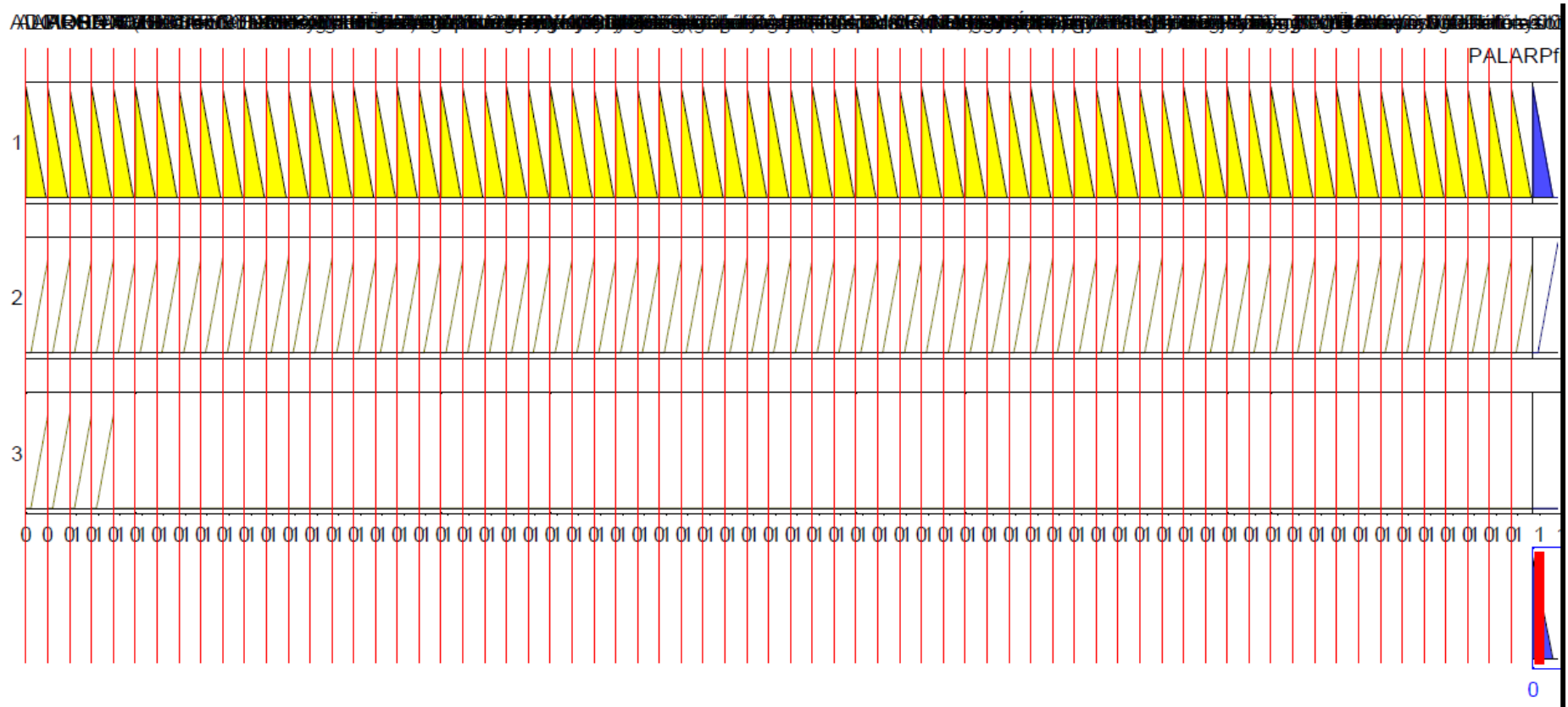
| | | | | | | | |
|-----|----------|----|----------|-------|------|------|------|
| | | 6 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE95 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE52 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE65 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE95 |
| | | 10 | 8,53E-12 | 0,48 | BE53 | BE77 | |
| 11. | 1,76E-09 | 1 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE65 |
| | | 2 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE95 |
| | | 3 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE65 |
| | | 4 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE53 |
| | | 5 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE95 |
| | | 6 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE52 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE24 | BE52 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 9,43 | BE23 | BE53 | BE64 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 9,43 | BE10 | BE5 | BE53 |
| | | 10 | 8,53E-12 | 0,48 | BE52 | BE75 | |
| 12. | 2,38E-08 | 1 | 5,50E-09 | 23,16 | BE75 | BE95 | |
| | | 2 | 5,50E-09 | 23,16 | BE52 | BE75 | |
| | | 3 | 5,50E-09 | 23,16 | BE65 | BE75 | |
| | | 4 | 5,50E-09 | 23,16 | BE53 | BE75 | |
| | | 5 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE65 |
| | | 6 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE65 |
| | | 7 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE52 |
| | | 8 | 1,66E-10 | 0,7 | BE10 | BE5 | BE52 |
| | | 9 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE24 | BE53 |
| | | 10 | 1,66E-10 | 0,7 | BE23 | BE53 | BE64 |



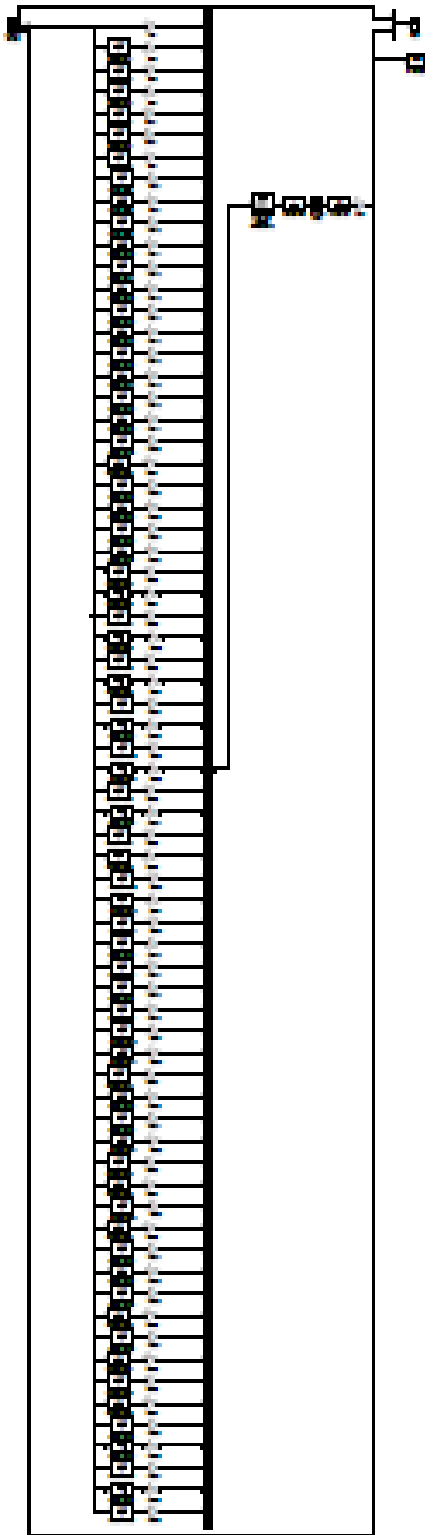
39. ábra: a fuzzyfikált eljárás-befolyásoló modell alrendszerei



40. ábra: A PALARPfull FIS ADC-MATIAS paraméter-összefüggéseinek felülete



41. ábra: A FISPALARPF full grafikus megjelenítésű szabályrendszerének részlete

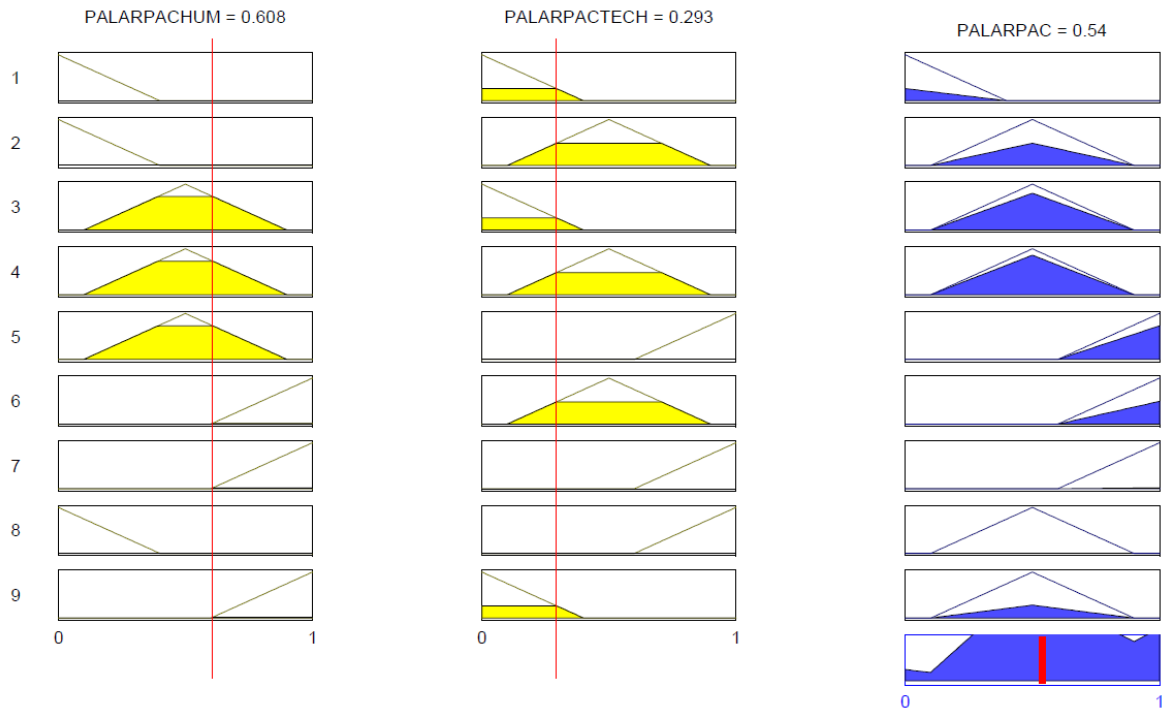


$$G(s) = \frac{1.2 \cdot e^{-s}}{10s + 1}$$

A szabályozó a www.mit.bme.hu oktatási segédanyagainak felhasználásával készült.

A szimulációk során a „G, valós” rendszert leíró hipotetikus függvény:

42. ábra A FISPALARFULL szimulációs tesztjéhez felépített SIMULINK modell



43. ábra Az FPAC_PALARPAC egy futtatási eredménye