



**ZRÍNYI MIKLÓS NEMZETVÉDELMI EGYETEM
BOLYAI JÁNOS KATONAI MŰSZAKI KAR
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA**



Kovács Judit

Az emberi tényező matematikai modellezésének lehetőségei a katasztrófavédelmi kockázatértékelés és kockázatkezelés területén

Doktori (PhD) Értekezés

**Témavezető: Dr. habil Vincze Árpád PhD
Dr. Berek Tamás PhD**

2011. BUDAPEST

TARTALOMJEGYZÉK

TARTALOMJEGYZÉK	2
BEVEZETÉS	4
A tudományos probléma megfogalmazása	4
Kutatási célkitűzések	5
Kutatási módszerek	5
Várható eredmények, azok felhasználhatósága.....	6
Rövidítések.....	7
1. AZ EMBERI TÉNYEZŐ VIZSGÁLATÁNAK SZÜKSÉGESSÉGE. AZ EMBERI TÉNYEZŐ HELYE AZ INTEGRÁLT KOCKÁZATELEMZÉS RENDSZERÉBEN	9
1. 1. Áttekintés	9
1. 2. Definiciók.....	11
1. 3. Eszközök, módszerek, lehetőségek	12
1. 4. Az emberi megbízhatóság becslésével kapcsolatos tapasztalatok, elemzések.....	13
1. 5. A kockázatértékelés szerepe, a vele szemben támasztott elvárások	17
1. 6. Az integrált kockázatértékelés fogalma	18
1. 7. A kockázatértékelési folyamat részletes terve	20
1. 8. Az emberi tényező helye a kockázatértékelési folyamatban.....	21
1. 9. Részkövetkeztetések.....	21
2. AZ EMBERI TÉNYEZŐ MODELLEZÉSE AZ IRODALOMBAN	24
2. 1. Az emberi megbízhatósági elemzés alapjai	24
2. 2. Fontos HRA módszerek	26
2. 2. 1. Az ATHEANA módszer	26
2. 2. 2. Az CREAM módszer	27
2. 2. 3. A HCR módszer	31
2. 2. 4. A HEART módszer	32
2. 2. 5. A HERMES módszer	33
2. 2. 6. A THEA módszer	34
2. 2. 7. A THERP módszer.....	38
2. 3. Az emberi tényező egy-egy aspektusának modellezése.....	43
2. 3. 1. Kockázatperspektíva-hatás	43
2. 3. 2. A kockázat egyenletes eloszlásának preferenciája.....	43
2. 3. 3. A kockázat tartóssága és sűrűsége növeli a kockázat érzékelt nagyságát.....	44
2. 3. 4. SÖN-formula (Súlyozott Összeadás a Nevezőben)	44
2. 3. 5. A kockázat emberi érzékelése a kockázatos eseményig eltelő időtartam érezékelésén alapul.	44
2. 3. 6. Csoportban dolgozó emberek selejtszázaléka az együtt töltött idő növekedésével csökkenő tendenciát mutat.	44
2. 4. Részkövetkeztetések.....	45
3. A MEGLÉVŐ ÉS ÚJ MATEMATIKAI MODELLEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA.....	47
3. 1. Az ATHEANA módszer matematikai modellje.....	47
3. 2. A CREAM módszer matematikai modellje	50
3. 2. 1. CREAM-az alapmódszer [26]	50
3. 2. 2. Az eseménysorozat felépítése [26].....	51

3. 2. 3. A teljesítményt befolyásoló általános feltételek (CPC-k) meghatározása és értékelése [26]	51
3. 2. 4. A lehetséges szabályozási, illetve beavatkozási mód meghatározása	56
3. 2. 5. Egy feltételezett folyamat elemzése a CREAM alapszámítás segítségével	60
3. 3. A HCR módszer matematikai modellje	61
3. 4. A HEART módszer matematikai modellje	64
3. 5. A HERMES módszer matematikai modellje	68
3. 6. A THEA módszer matematikai modellje	68
3. 7. A THERP módszer matematikai modellje	69
3. 7. 1. A THERP módszer részletes mennyiségi elemzése	69
3. 7. 2. Emberi hibavalószínűség típusok	71
3. 7. 3. Az emberi hibavalószínűségek eloszlása	72
3. 7. 4. A PSF-ek módosító hatása	75
3. 8. Az emberi tényező egy-egy aspektusának matematikai modellezése	77
3. 8. 1. Kockázatperspektíva-hatás bizonyítása kísérlettel	77
3. 8. 2. A kockázat egyenletes eloszlása preferenciájának bizonyítása kísérlettel	78
3. 8. 3. A kockázat tartóssága és sűrűsége növeli a kockázat érzékelt nagyságát. Az állítás bizonyítása kísérlettel.	80
3. 8. 4. A SÖN-formula (Súlyozott Összeadás a Nevezőben) képlete	81
3. 8. 5. A kockázat emberi érzékelése a kockázatos eseményig eltelt időtartam érzékelésén alapul [43]	82
3. 9. Részkövetkeztetések	82
4. AZ EMBERI TÉNYEZŐVEL KAPCSOLATOS MODELLEK ALKALMAZHATÓSÁGI KÖRÉNEK FELTÁRÁSA	85
4. 1. Az emberi tényező szerepe a katasztrófavédelmi helyzetértékelésben	85
4. 1. 1. A katasztrófavédelmi helyzetértékelés	85
4. 1. 2. A katasztrófavédelmi helyzetértékelés során felmerülő problémák	86
4. 1. 3. A helyzetértékelő csoportok vizsgálata az emberi tényező szempontjából	86
4. 1. 4. A helyzetértékelő csoport optimális felépítése	87
4. 2. Az emberi tényező szerepe veszélyhelyzeti kommunikációban	89
4. 2.1. A XX. század néhány jelentős nukleáris balesetében szerepet játszó kommunikációs hibák, és javításuk néhány lehetősége	89
4. 3. Az emberi tényező szerepe zavarállapotok meghatározásánál	91
4. 3. 1. Zavarállapotok	91
4. 3. 2. Az emberi tényező szerepe zavarállapotok kialakulásánál	93
4. 4. Az emberi tényező matematikai modelljeinek felhasználása a védelmi szféra egyetemi matematikaoktatásában	94
4. 4. 1. Matematika a műszaki felsőoktatásban	94
4. 4. 2. A matematikaoktatás céljai	95
4. 4. 3. Az emberi tényező matematikai modelljeinek helye van a matematikaoktatásban	95
4. 5. Részkövetkeztetések	96
ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK	97
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	101
AJÁNLÁSOK	101
TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM	102
FELHASZNÁLT IRODALOM	103

BEVEZETÉS

A tudományos probléma megfogalmazása

A kockázatértékelés és kockázatkezelés a maximális biztonság elérése érdekében napjainkban végzett egyik legfontosabb, törvényekben előírt feladat (ld. a 2000. évi XXV. Törvény és az 1993. évi XCIII. Törvény 1998. január 1-től hatályos módosításának 54.§ (2) bekezdése). A kockázat értékelésére és a kockázatkezelés kivitelezésére jelentős befolyással lehet az emberi tényező vizsgálata, ugyanis az emberi teljesítmény alapvető hatást gyakorol a különböző rendszerek megbízhatósági és biztonsági szintjére. Az emberi tényező szerepe általánosan három fő csoportra bontható bármely esemény (baleset, veszélyhelyzet, katasztrófa) kialakulásával, lefolyásával kapcsolatban: az ember lehet okozója, elszenvedője, illetve megakadályozója egy adott eseménynek. A kockázatértékelésben az emberi hozzájárulás kiemelten fontos része bármely elemzésnek, mivel a balesetek és katasztrófák fontosabb okai között minden esetben megtalálható az emberi tényező. A megközelítés módjától függően különböző elemzések a hibák 45-80 %-át emberi tevékenységre vezetik vissza.

A kockázatértékelésre és a kockázatkezelésre vonatkozó igény már a XVI. századtól kezdve, a hajózási biztosítások elterjedésével párhuzamosan jelen van a világban. A katasztrófavédelmi kockázatértékelés először a nukleáris ipar részéről merült fel. Az atomerőművek működésének és fenntartásának tekintetében az emberi cselekvések alapvető fontosságúak, mind normális, mind a normálistól eltérő körülmények között. A feldolgozó iparágaknál és a közlekedésben hasonlóan fontosnak értékelhető az emberi cselekvés szerepe a balesetek kialakulásánál és következményeinél. Általánosságban elmondható: annak ellenére, hogy a hibák nagy többsége, a műszaki okokat is beleértve, az emberi tevékenységre vezethető vissza, az ember képes fenntartani a biztonságos és gazdaságos működést, emellett pedig zavarállapotokra reagáló cselekvésre is képes. Ily módon az emberi cselekvés hatással van mind a nem várt helyzetek, mind azok következményeinek valószínűségére. A nagy veszéllyel járó eseményekkel kapcsolatos emberi hiba modellezése mellett fontos szerepet kaphat a – dolgozatomban külön nem tárgyalt, de a jövőben egyre inkább kikerülhetetlen – szoftverfejlesztéssel kapcsolatos emberi hibák modellezése is.

Az emberi hibák mértékének számszerűsítésére, átfogó matematikai modellalkotásra eddig még nem került sor, pedig az „emberi tényező” jelenségre felállított matematikai modell számos okkal indokolhatóan hasznos lenne. A matematikai modellek általában tömör és könnyen felhasználható formában fejezik ki a tényleges összefüggéseket, valamint többnyire alkalmasak numerikus számítások elvégzésére. Alapvető tulajdonságuk, hogy a bennük érvényes tételek a tényleges jelenségeket nem teljes mértékben írják le, csak jól hasznosítható közelítéseket adnak. A modellalkotás része tehát az érvényességi kör pontos meghatározása, azonban a modell és a modellezett jelenség kapcsolata sokszor nehezen elemezhető. Az emberi tényező összetettsége miatt választ kell keresni arra a kérdésre, hogy lehetséges-e az emberi tényezőt egyetlen átfogó matematikai modellel jellemezni. Ha lehetséges, akkor nyilvánvalóan a leghasznosabb egy ilyen modell megalkotása lenne, ha pedig nem, akkor bizonyítani kell, hogy nem lehetséges egy ilyen modell megalkotása. **HIPOTÉZISEM** az, hogy nem fogalmazható meg egyetlen, átfogó matematikai modell az „emberi tényező” jelenségre. Átfogó modell hiányában pedig a meglévő modellek összehasonlítása és pontosítása alapján újabb, részterületenként érvényes modellek megalkotására van szükség.

Kutatási célkitűzések

Hipotézisem igazolása, és az új tudományos eredmények kidolgozása érdekében a következő kutatási célokat tűztem ki:

1. Az emberi tényező matematikai modellezési lehetőségeinek összehasonlítását, a modellezés korlátainak meghatározását.
2. Az emberi tényező modellezésével kapcsolatos tételek felállítását és bizonyítását.
3. Az integrált kockázatkezelés területén új típusú hibák definiálását.
4. Az emberi tényező vizsgálatával kapcsolatos tudományos eredmények felhasználására vonatkozó javaslatok megtételét.
5. Az emberi tényezővel kapcsolatos eredmények megismertetésére és alkalmazására vonatkozó terv kidolgozását a műszaki és katonai felsőoktatás számára.

Céljaim elérésének érdekében megvizsgáltam:

1. a kockázatértékelésben, azaz a kockázat átfogó becslésében a matematikai modellalkotás lehetőségeit az emberi tényező szempontjából, különös tekintettel a védelmi szférára (katonai védelem, katasztrófavédelem).
2. a létező matematikai modelleket, a modellek kiegészítésének, valamint új modellek bevezetésének lehetőségét.

Kutatási módszerek

1. A témával kapcsolatos hazai és külföldi szakirodalom részletes áttekintése, a tudományos konferenciákon elhangzó legújabb kutatási eredmények tanulmányozása.
2. A téma, illetve az eredmények tudományos konferenciákon való felvetése, feldolgozása.
3. Konzultáció a témát kutató külföldi szakemberekkel.

Várható eredmények, azok felhasználhatósága

1. Bebizonyítani, hogy nem dolgozható ki egyetlen, a létező modelleknél jobb matematikai modell az emberi tényezőre.
2. Kidolgozni ismert, az emberi tényező modellezésével foglalkozó módszerek részletes matematikai modelljét, nevezetesen kidolgozni a CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method – Kognitív megbízhatósági és hibaelemzési módszer) alapszámításának részletes matematikai modelljét, megalkotni a HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique - Emberi hibátényező meghatározó és csökkentő módszer) emberi hibavalószínűség képletét, és összefüggést keresni a HCR (Human Cognitive Reliability - Emberi kognitív megbízhatóság) módszer paramétereire.
3. Matematikai modellt találni a kockázat egyenletes eloszlásának preferenciájával kapcsolatban az összkockázat érzékelésénél történő, az egyenletesség preferenciája irányába való kognitív emberi eltolódásra.
4. Matematikai modellt alkotni a szándékos veszélyeztetés kiküszöbölésére.
5. Matematikai modellt alkotni a stressz és a fáradtság együttes hatására.
6. Javaslatot tenni az emberi tényező megfelelő helyen való figyelembevételére az integrált kockázatértékelésben.
7. Javaslatot tenni a helyzetértékelő csoportok felépítésére a katasztrófavédelmi helyzetértékelés emberi hiba-okokból bekövetkező problémáinak kiküszöbölése érdekében.

Rövidítések

APOA: Assessed Proportion of Affect
Hatásarány

ATHEANA: A Technique for Human Error Analysis
Emberi Hiba Elemzési Technika

BHEP: Basic Human Error Probability
Alap emberi hibavalószínűség

CCF: Common Cause Failures
Közös okú meghibásodások

CHEP: Conditional Human Error Probability
Feltételes emberi hibavalószínűség

COCOM: Contextual Control Model
Kontextus-hangsúlyú Szabályozási Modell

CPC: Common Performance Condition
Teljesítményt befolyásoló általános feltétel

CREAM: Cognitive Reliability and Error Analysis Method
Kognitív megbízhatósági és hibaelemzési módszer

CSNI: Committee on the Safety of Nuclear Installations
Nukleáris létesítmények biztonságával foglalkozó bizottság

EEM: External Error Mechanism
Külső hibamechanizmus

EF: Error Factor
Hibatényező

EFC: Error Forcing Context
Hiba-kikényszerítő helyzet

EPC: Error Producing Condition
Hibát Okozó Feltétel

ERF: Error Relative Frequency
Hiba relatív gyakoriság

ETA: Event Tree Analysis
Eseményfa-elemzés

FTA: Fault Tree Analysis
Hibafa-elemzés

HAZOP: Hazard and Operability Studies

Működésbiztonsági veszélyelemzés/ Veszélyhelyzet és üzemeltethetőség vizsgálat

HCR: Human Cognitive Reliability

Emberi Kognitív Megbízhatóság

HEART: Human Error Assessment and Reduction Technique

Emberi Hibatényező Meghatározó és Csökkentő Módszer

HEP: Human Error Probability

Emberi hibavalószínűség

HERMES: Human Error Risk Management for Engineering Systems

Mérnöki rendszerek humán kockázatkezelési módszere

HP: Human Performance

Emberi teljesítmény

HRA: Human Reliability Assessment

Emberi megbízhatósági vizsgálat/emberi megbízhatóság becslésére alkalmas módszerek

IEM: Internal Error Mechanism

Belső hibamechanizmus

JHEP: Joint Human Error Probability

Egyesített emberi hibavalószínűség

PEM: Psychological Error Mechanism

Pszichológiai hiba mechanizmus

PRA: Probabilistic Risk Assessment

Valószínűségi kockázatelemzés

PSA: Probabilistic Safety Assessment

Valószínűségi biztonsági elemzés

PSF: Performance Shaping Factor

Teljesítményt befolyásoló tényező

NEA: Nuclear Energy Agency

Nukleáris Energia Ügynökség

SLOCA: Small Loss of Coolant Accident

Hűtőközegvesztéssel járó baleset

THEA: Technique for Human Error Assessment

Emberi Hiba Értékelési Technika

THERP: Technique for Human Error Rate Prediction

Emberi Hibatényező Meghatározási Technika

1. AZ EMBERI TÉNYEZŐ VIZSGÁLATÁNAK SZÜKSÉGESSÉGE. AZ EMBERI TÉNYEZŐ HELYE AZ INTEGRÁLT KOCKÁZATELEMZÉS RENDSZERÉBEN

1. 1. Áttekintés

Az ipari nagyvállalatoknál a munkafolyamat tervezése mindig nagy kihívás. Az egyes folyamatok tervezőinek gyakran alig van elképzelésük arról, hogy milyen széles skálán mozognak azok a hatások, amelyek a gyárakban/üzemekben dolgozó emberek munkatevékenységének minőségét befolyásolják. Ez gyakran vezet arra a következményre, hogy a megfelelő elméleti tervezések ellenére a munkafolyamat nem az elvárásoknak megfelelően alakul. A tervezők gyakran túlbecsülik az emberi munkavégzés hatásosságát és hatékonyságát. A megoldás kulcsa az, hogy egyre jobban megismerjük az emberi tényezőnek a lehetséges hatásait az egyes munkák, tervek kivitelezésénél. Nagyon fontos már a tervezési folyamat elején tudatában lenni ezeknek a hatásoknak, minthogy ilyenkor még könnyen és kis költséggel módosíthatók a tervek megfelelő részletei.

Azon okok között, amelyek potenciális veszélyekből akut veszélyhelyzetet válthatnak ki, illetve az ipari balesetek fontosabb okai között is minden esetben megtalálható az emberi tényező. Az összefüggések elég következetes feltárása a műszaki okok mélyén is emberi mulasztásokat mutat ki. A megközelítés módjától függően különböző tanulmányok a hibák 45-80 %-át emberi tevékenységre vezetik vissza. Rankin és Krichbaum kutatásai alapján az általuk vizsgált időszakban az emberi tényező szerepe a balesetek bekövetkezésében drámai emelkedést mutatott, elérve akár 70-80 %-os arányt is, függetlenül a technológiai körülményektől [1].

A számottevő emelkedésnek két fő oka van, nevezetesen: (a) a mechanikus és elektronikai alkatrészek nagyon magas megbízhatósági szintje és kifinomultsága, valamint (b) a rendszer összetettségéből következő nagyobb emberi szerepvállalás az ellenőrzési folyamatban.

A mechanikus és elektronikai alkatrészek nagyon magas megbízhatósági szintje és kifinomultsága nagymértékben csökkenti a műszaki hibák számát, és a kritikus folyamatok kezelésére is lehetőséget ad még rendszerhibák és üzemzavarok esetén is, a tartalékolásnak és a biztonsági rendszereknek köszönhetően. A hardver alkatrészek magas megbízhatósága közvetlen hatással van az emberi hibákból bekövetkező balesetek statisztikai eloszlására, ami egyre inkább szembetűnővé válik.

A rendszer összetettségéből következő nagyobb emberi szerepvállalás az ellenőrzési folyamatban gyakorlatilag azt jelenti, hogy az ember elsődlegesen az automatizált folyamatok felügyelőjévé válik. Ilyen módon a kihívások az észlelő-gondolkodó képességeket helyezik előtérbe az érzékelési-mozgásos képességek helyett.

Hazánkban az eddigi intézményesített – többnyire szokásjogon alapuló – szabályozási, szervezeti, operatív gyakorlat technika-centrikus, és lemaradt a magatartástudomány által kínált lehetőségek hasznosításában. Napjainkban – nemcsak a védelmi szférában, de a társadalmi, gazdasági élet szinte minden területén – a humán erőforrások előtérbe kerülése oly nagy ütemben halad, hogy szinte egy új, eddig nem tapasztalt, óriási hatékonysággal bíró termelőerő kialakulásának lehetünk tanúi. Az utóbbi 50 évben a technikai fejlődés – a

lehetőségek tekintetében – utolérte az embert, és el is haladt mellette. Ez azt jelenti, hogy a technika-ember rendszer által elérendő cél sok esetben nem valósult meg, mert a vezető, végrehajtó ember a szinte mindent tudó gépezeti dzsungelében minduntalan önmaga pszichés korlátaiba ütközött. További lényeges szempont, hogy hazánkban a pszichológiával kapcsolatos szociális attitűd minősége messze elmarad a fejlett országokétól. Az elmaradottság sokkal nagyobb, mint ami a műszaki-technikai fejlettség szintjén tapasztalható. A pszichológiához a vezetők egy részének hozzáállása is sok esetben negatív, nem ismerik, a véleményeik előítéletesek. Nem szívesen foglalkoztatnak pszichológust, egyrészt, mert nem bíznak ebben a tudományban, a valóságban viszont inkább attól tartanak, hogy egy szakember esetleg rövid idő alatt felfedi a nem mindig ideális munkahelyi légkör, kapcsolatok, vezetési stílus stb. okait.

A humán beállítottságú szemléletmód és a pszichológia alkalmazásának gyakorlattá tételével a tájékoztatásban, a felkészítésben és az operatív gyakorlatban, jelentős személyi és anyagi veszteségek kerülhetnek el, illetve a feladat kisebb erővel és rövidebb idő alatt végrehajtható. Ennek következtében az **emberi megbízhatósági vizsgálatoknak/emberi megbízhatóság becslésére alkalmas módszereknek (HRA - Human Reliability Assessment)** nagyobb szerepet kell kapni a komplex rendszerek kockázatelemzésénél, és HRA módszerek olyan új generációjának kifejlesztésére van szükség, amely megfelelően kezeli a kognitív és szervezeti tényezőket is [2].

A XX. század második felében történt nagyobb reaktorbalesetek, illetve katasztrófák elemzésekor egyértelműen kiderül: a kiváltó okok az esetek többségében az emberi tényezőre vezethetők vissza [3]. Ezt mutatja az 1. táblázat:

1. táblázat. Reaktorbalesetek és katasztrófák kiváltó okai

ÉV	HELYSZÍN	KÖVETKEZMÉNY	KIVÁLTÓ OK
1952.	Chalk River (Canada)	fűtőelem olvadás	Operátori hiba
1957.	Windscale-i reaktor (Anglia)	tűz	Operátori hiba
1979.	Three Mile Island-i atomerőmű (USA)	fűtőelem olvadás	Operátori hiba
1983.	Ciudad Juarez (Mexikó)	radioaktív szennyezés	Tévedésből vashulladékként értékesítettek terápiás sugárforrást
1986.	Csernobili atomerőmű (SZU)	kémiai robbanás, radioaktív szennyezés	Sorozatos emberi hibák (tervezési hiányosságok, előírások durva megsértése)
1987.	Goiania	környezetszennyezés	Emberi tájékozatlanság
1999.	Tokai Mura-i uránfeldolgozó	szabályozatlan láncreakciók	Előírások megsértése

Azok a nézetek viszont, amelyek szerint „csak az nem hibázik, aki nem dolgozik”, „az ember a leggyengébb láncszem a rendszerben”, vagy „az ember által végzett folyamatokat automatizálni kell” túlságosan leegyszerűsítik a kérdést. Az ember képes helytállni előre nem várt helyzetekben, képes olyan megoldásokra, amelyek a veszélyhelyzetek káros következményeit mérséklék. Az emberi beavatkozás nélkül több veszélyhelyzet váltana ki valós balesetet [4].

A biztonságra törekvő viselkedés nem a hibák és tévedések kizárását jelenti, hanem legfőképpen a megelőzés irányába történő elkötelezettséget. Éppen ezért az „emberi hiba” fogalmát pontosan kell definiálni, és a lehető legnagyobb elővigyázatossággal kell kezelni.

1. 2. Definíciók

Az *emberi hiba* általános fogalom, amely magában foglal minden olyan helyzetet, amelyben a mentális vagy fizikai cselekvések megtervezett sorozata nem éri el előre eltervezett szándékozott célját és ez a kudarc nem tulajdonítható valamilyen rendkívüli véletlenszerű körülménynek [5]. Az emberi hiba belső emberi hibamechanizmusok következményeként létrejövő emberi beavatkozási hiba. Az emberi hiba fogalmával szabadon leírható bármely nem optimális emberi beavatkozás. Az emberi hibák két nagy csoportja: a *hibás emberi beavatkozás* és a *szükséges emberi beavatkozás elmulasztása*. Az emberi hiba mint az elvárt és a megvalósult tevékenység vagy viselkedés eltérésének következménye, három csoportba sorolható: *elvéetés*, *kihagyás* és *tévedés*. A hibák egy külön kategóriája a (szándékos) *veszélyeztetés*, amelynél nem engedélyezett, tiltott, nem helyénvaló tevékenységet végeznek. A szándékos veszélyeztetés kategóriájába a Reason-féle felosztásban nem tartoznak bele azok a tevékenységek, ahol a szándékosság a károkozásra irányul. Számottevő szerepet kaphatnak még a *rejtett hibák*, amelyek azonban időben és térben gyakran távol vannak a bekövetkezett eseménytől, és ezért nehezen azonosíthatók [6].

Az *emberi hibajelenség* meghatározott emberi beavatkozás hibája a HRA modellben. Az emberi hibához képest ilyenkor több különböző ok vezethet a hibaeseményhez. A hibajelenség érinthet berendezéseket, ekkor *meghibásodásról* beszélünk, és folyamatokat, amikor is *zavarállapot* következik be. Az olyan hibajelenség, amely elfogadhatatlan következményekhez vezet, a *kritikus hiba*.

Az emberi hibák egy másik elképzelhető csoportosítása, amelyet általában a PSA (Probabilistic Safety Assessment - valószínűségi biztonsági elemzés) modellekben használnak, az emberi beavatkozási hiba és a kialakult veszély időrendi sorrendjétől függ. Ezek alapján az úgynevezett A-típusú emberi beavatkozás hibája: olyan hiba, amelyet a kezdeti esemény előtt végrehajtott emberi beavatkozás során követnek el, elsősorban a berendezések és rendszerek rendelkezésre állásával kapcsolatban (például a karbantartási tevékenységgel kapcsolatban). A B-típusú emberi beavatkozás hibája olyan hiba, amely közvetlenül kezdeti eseményt okoz. A C-típusú emberi beavatkozás hibája pedig olyan hiba, amelyet az üzemzavar vagy baleset elhárításánál végrehajtott emberi beavatkozások során követnek el. A C-típusú hibák gyakorolják a legnagyobb hatást a PSA eredményeire. Az alábbi típusok különböztethetők meg ebben az esetben: a szükséges beavatkozás elmulasztása, téves beavatkozás, illetve az elmulasztott beavatkozás pótlására irányuló beavatkozás hibája [7].

A 89/2005. (V. 5.) Korm. Rendelet (a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről) 4.§ (1) bekezdés alapján a nukleáris biztonsági szabályzatok 3. kötete (atomerőművek tervezésének követelményei) 3. 5. 4 fejezetében rögzített előírás szerint pedig így rendelkezik:

„3. 078. Az emberi hibák valószínűségi adatainak figyelembe kell venniük az egyes feladatok összetettségét, a pszichikai hatásokat (pl. stressz, fizikai állapot, az ellenőrzés szintje, munkamódszerek), a fizikai környezetet, a különálló tevékenységek közötti potenciális

függőségeket (a személyzet akár hasonló, akár különböző tevékenységeket végző tagjai között).”

1. 3. Eszközök, módszerek, lehetőségek

A kockázatértékelés során végzett bármely elemzésnek kiemelten fontos része az emberi hozzájárulás. A kockázat-alapú megközelítés első nagyívű fejlődése az elektronikus rendszerek elemzéséhez kapcsolódóan történt, az űrtechnika, atomerőművek és vegyi üzemek területén. Ennek során a fizikai és kémiai folyamatok, valamint az ellenőrzési stratégiák és eljárások különbözőségéből adódóan minden egyes terület sajátos problémáira más és más speciális technikát fejlesztettek ki. Példaként tekinthető a Veszélyhelyzet és üzemeltethetőség vizsgálat (HAZOP-Hazard and Operability Studies) [8], amelyet a kémiai iparágakban mutattak be, de szükségesnek tartják minden olyan komplex rendszer előzetes értékelésénél, amely több különböző, soros vagy párhuzamos felépítésű, részrendszereiben veszélyes kémiai vagy termodinamikai reakciókat is magában foglaló folyamatot mutat be.

A nukleáris tárgykörben más módszerek foglalkoznak mélyrehatóan a biztonsági elemzésekkel. Itt a valószínűségi biztonsági elemzések (PSA) különböző szintjeit állították fel, aszerint, hogy a vizsgálandó kockázatot a zóna belsejébe (PSA-1. szint), a reaktorépületbe (PSA-2. szint), vagy a légkörbe (PSA-3. szint) történő radioaktivitás-kibocsátás jelenti-e.

Az alkalmazott módszerektől függetlenül az emberi teljesítmény alapvető hatást gyakorol a komplex műszaki rendszerek megbízhatósági és biztonsági szintjére. A megbízhatósági- illetve kockázatelemzésekben az emberi kölcsönhatások megfelelő kezelése kulcsfontosságú a balesetsorozatok és a teljes kockázatbeli relatív fontosságuk megértéséhez. Az emberi megbízhatósági vizsgálattal foglalkozó módszerek többsége nagymértékben figyelembe veszi az adat-hozzáférhetőség és a szélesebb körű rendszerbe történő bekapcsolhatóság kérdését is [9]. Az emberi megbízhatóság becslésére alkalmas módszerek gyakorlata az 1960-as évekre nyúlik vissza, bár a módszerek jelentős részét az 1980-as évek közepén fejlesztették ki - legfőképpen az 1979-es Three Mile Island-i reaktorbalesetet követő aggodalmaknak köszönhetően.

Az emberi megbízhatósági vizsgálatok céljai a következők:

1. Annak a biztosítása, hogy a kulcsfontosságú emberi kölcsönhatásokat módszeresen azonosítsák, elemezzék és nyomonkövethetően beépítsék a biztonsági elemzésekbe.
2. A sikerek és kudarcok valószínűségének számszerűsítése.
3. Olyan kitekintést nyújtani, amely fejlesztheti az emberi teljesítményt. A példák többek között magukban foglalják az ember-gép kapcsolat, a folyamatok és az oktatás fejlesztését, a munkakövetelmények és az emberi képességek jobb egymáshoz illesztését, a sikeres helyreállításra vonatkozó kutatások bővítését és az emberi hibák közti összefüggések hatásainak minimalizálását.

Az emberi teljesítményelemzések rendezett és módszeres szemléletének alkalmazásával lehetővé válik nagyobb bizonyosságot adni arra vonatkozóan, hogy a komplex műszaki rendszerek biztonságát és üzemképességét nem veszélyeztetik indokolatlanul az emberi teljesítménnyel kapcsolatos hibák [2].

1. 4. Az emberi megbízhatóság becslésével kapcsolatos tapasztalatok, elemzések

A **Nukleáris Energia Ügynökség** (NEA - Nuclear Energy Agency) nukleáris létesítmények biztonságával foglalkozó bizottsága (CSNI- Committee on the Safety of Nuclear Installations) kezdetektől fogva nagy hangsúlyt fektet az emberi tényező megismerésére és modellezési lehetőségeire. Kutatásaik néhány jelentős állomását az alábbiakban ismertetem:

A CSNI „Üzemi tapasztalatok és emberi tényezők” munkacsoportja 12 országra (Belgium, Kanada, Finnország, Franciaország, NSZK, Olaszország, Japán, Hollandia, Spanyolország, Svájc, Egyesült Királyság és USA) kiterjedő kérdőíves felmérést végzett az emberi tényezőnek az atomerőművek veszélyhelyzeteinek kialakulásában játszott szerepével kapcsolatban 1986-87-ben. A felmérés eredményeként megállapították, hogy négy ország (Kanada, Finnország, Franciaország és az USA) esetében már felállítottak speciális rendszereket az emberi tényezővel kapcsolatban levő események elemzéséhez, hét ország (Belgium, Spanyolország, Olaszország, Japán, az NSZK, az Egyesült Királyság és Svájc) azonban az ilyen típusú eseményeket a tisztán technikai hibákat magukban foglaló eseményekkel azonosan kezelte. Hollandiában pedig speciális eljárás kidolgozását tartották szükségesnek az általános okok feltárására [10].

Az **1995**-ös kutatás célja az emberi tényezővel kapcsolatba hozható közös okú meghibásodások (Common Cause Failures - CCF) gyökereinek azonosítása volt [11]. Külön hangsúlyt fektettek annak az eldöntésére, hogy vannak-e tipikus területei az ilyen hibáknak, és hozhatók-e megelőzésre vonatkozó intézkedések. A céloknak megfelelően a feladatot két részfeladatra bontották: eseményanalízisre és prognosztizáló módszerek keresésére. Az első részfeladatot 10 ország tekintette át: Belgium, Kanada, Németország, Olaszország, Japán, Korea, Oroszország, Szlovénia, Ukrajna és az USA. A második részfeladatot négy ország tárgyalta: Finnország, Franciaország, Spanyolország és az Egyesült Királyság. Mindkét részkutatás feldolgozta az erőmű üzemeltetés és fenntartás több különböző aspektusát. A legfőbb közös eredmény annak a megállapítása, hogy az emberi tényezővel kapcsolatba hozható közös okú meghibásodások bármely biztonsági rendszerben megjelenhetnek. Az emberi tényezővel kapcsolatba hozható közös okú meghibásodások speciális felhalmozódása azonban egyetlen rendszerben sem volt kimutatható. Mindemellett a hibák okainak széles skáláját is feltárták. Az alap-ok vizsgálat nem mutatott semmilyen specifikus hozzájáruló tényezőt. Ebből következően nem találtak a megelőzésre vonatkozó intézkedéseket sem.

Az „eseményanalízis” részfeladatban szereplő néhány eseménynek jelentős hatása volt az erőmű biztonságára. Ez a tény kiemeli az emberi tényezővel kapcsolatba hozható közös okú meghibásodások fontos szerepének lehetőségét. A mélyreható elemzés két idetartozó területet fedett fel: a rejtett hibák, illetve a „kisebb” zavarok (elvételek) területét. Rejtett hibák akkor jelennek meg, amikor a karbantartást követő működési tesztek vagy az újraminősítés nem reprezentatív a valós igényekre vonatkozó terhelés tekintetében. A „kisebb” zavaroknak nincs biztonsági jelentősége, így kevesebb előkészítést, felügyeletet és minőségbiztosítást igényelnek. Az eseményanalízis olyan példákat is bemutatott, ahol biztonsággal összefüggésbe hozható zavarokat hibásan „kisebb” zavarnak minősítettek, és így ezekben a „kisebb” zavarokban bekövetkező hibákat nem észlelték időben, komoly problémákat okozva ezzel a biztonsági rendszerben.

A „prognosztizáló módszerek” részfeladatban bemutatott különböző metodikák a lehetséges emberi hibák biztonsági jelentőségét vizsgálták. Azonosították a tárgyhoz tartozó cselekvéseket, és elemezték a cselekvések sorozatát. Néhány metodika figyelembe vett külső járulékos tényezőket is, mint például a környezet hatását a cselekvő személyre. A metodikák valószínűségi biztonsági elemzéseken alapulnak, illetve azon a részletes felmérésen, amely a személyzet feladataiban jelentkező, számításba vehető hibákat és e hibák biztonságra való hatását elemzi. A második részkutatás kimutatta, hogy vannak rendelkezésre álló eszközök a kritikus cselekvések prognosztizálására, azonban ezek különleges erőfeszítéseket igényelnek [11].

Az 1997-es kutatás összefoglalta a CSNI emberi teljesítményt (Human Performance - HP) figyelembe vevő rövid- és hosszútávú javaslatait, és a Tagországok (Finnország, Franciaország, Magyarország, Norvégia, Németország, Cseh Köztársaság, Japán, Kanada, Spanyolország, Svájc, Svédország, Egyesült Királyság és USA) tapasztalataira alapozva előtérbe helyezte a nemzetközi együttműködést az emberi teljesítmény területén [12].

A fő célok az alábbiak voltak:

- információcsere a Tagországok már meglévő terveiről és stratégiáiról
- a tárgyhoz tartozó kérdések, valamint a megoldások közép/hosszútávú céljainak és elvárásainak megfogalmazása
- általános értelemben vett lehetséges kutatási programok megfogalmazása, sorrend felállítása és a siker valószínűségének meghatározása.

Rámutattak, hogy mivel az emberi tényezőt érintő kérdéseknek közös alapja van, ezért a más iparágakkal történő közös tervek kidolgozása, a lehetőségek megosztása és a közös szakértői munka elsődleges szerepet kaphat. A Tagországok kifejezésre juttatták, hogy továbbra is törekszenek az emberi viselkedés egyre jobb megértésére, nem csak egyes személyek, hanem csoportok, csoportok együttműködése és a döntéshozó folyamatok esetében is. A következő megállapításokat tették: „Az emberi viselkedés alapvető jellegzetességei többé-kevésbé közösek. Ez a viselkedés nagymértékben függ a helyzettől, és a cselekvések által meghatározott környezettől. A teljesítőképességet befolyásoló tényezők megismerése alapvető fontosságú. Különleges érdeklődésre tarthat számot az információgyűjtésnél, az elemzési folyamatokban, a kockázatos helyzetekben, a stresszhelyzeti feltételek mellett és az erőmű zavarállapotában megmutatkozó emberi viselkedés. Ennek a megértése nagy segítséget nyújthat az ilyen helyzetekben fellépő hibagépezet jobb kezeléséhez, és a PSA elemzések kognitív modelljeinek fejlesztéséhez. Az ilyen területek adatgyűjtése eseményelemzésen, speciális munkafolyamatok megfigyelésén és operátorokkal készült célzott beszélgetéseken alapszik, amelyet később meghatározandó metodika követhet.”

A 2. táblázat összefoglalva bemutatja az egyes tagországok céljait.

2. táblázat. A NEA tagországok 1997-es célkitűzései

Kanada	– az operátori észlelés modelljének fejlesztése
Cseh Köztársaság	emberi megbízhatósági vizsgálat a PSA keretén belül: – az emberi hibák valószínűségének számszerűsítése, tanulmányok a teljesítőképességet befolyásoló tényezőkről – az emberi tényező hozzájárulása a kockázatokhoz elemzés
Finnország	– balesetsorozatok integrált elemzési eljárása
Franciaország	– megelőző kezdeti feltétel tanulmányok – Igénytanulmányok – az emberi tényező szerepe tűz esetén
Németország	– az emberi viselkedés általános jellemzői – az emberi cselekvés különböző területein jelentkező, a teljesítőképességet befolyásoló tényezők jobb megértése – az individuum, a csoport és a csoportközi együttműködés kognitív szempontjainak jobb megértése – a kommunikáció hatása az emberi hibára – gyakorlati elemzések és minősítési követelmények
Magyarország	– a HRA modellek fejlesztése különböző forrásokból szerzett adatok használatával, az emberi viselkedés és emberi tényező fogalmak mennyiségi HRA-ba történő integrálásával és a jelentett események és a HRA közti kapcsolat megerősítésével – a HRA modellek kognitív hibáinak bemutatása, a kognitívan kapcsolódó cselekvések összefüggésének modellezése – ergonómiai tanulmányok és a HRA visszacsatolásának használata az erőműbeli módosításoknál
Japán	– a kognitív viselkedés jellemzőinek vizsgálata és modell kifejlesztése, a hibamodellézést is beleértve
Spanyolország	– emberi hiba osztályozás kidolgozása a kockázatelemzéshez
Svájc	– a jelenlegi HRA modellek fejlesztése. – a döntésalapú hibák kezelési eljárásainak együttműködésben megvalósuló fejlesztése, beleértve a véghezviteli hibákat – az operátor-erőmű modellezés központú dinamikus biztonsági elemzési megközelítések fejlesztése
Egyesült Királyság	– biztonságos viselkedés felmérés, stressz és teljesítőképesség felmérés, hibakereső szakember-képzés és segítségnyújtás új, kihívásokkal teli eseményekhez, látens hiba feltárás, a hibák természete
USA	– működtetési eseményelemzés levezetése és adatbázis frissítés az emberi teljesítménnyel kapcsolatos számítások és emberi megbízhatósági vizsgálat támogatására, az emberi teljesítmény és az emberi megbízhatóság integrált modelljének fejlesztése és korszerűsítése

A NEA **2003**-as jelentésében, amely az emberi tényezőnek a nukleáris létesítmények biztonságában betöltött szerepét helyezi előtérbe, hasonló eredmények szerepelnek [13]. Megállapítják, hogy az atomerőmű mint olyan komplex rendszer, amely technológiai és emberi tényezőkre épül, a biztonság szempontjából is ezt a kettősséget mutatja. A technikai problémákat a kezdetektől fogva a legnagyobb profizmussal kezelték, az emberi és szervezeti tényezőket azonban hosszú ideig csak technikai szempontból értékelték. Így a technikai hibák többségét már sikerült kiküszöbölni, az emberi és szervezeti természetű hibák nagy része azonban megoldatlan maradt. Ez nem azt jelenti, hogy az emberi tényezővel kapcsolatos hibák száma emelkedést mutat, sem azt, hogy az emberi tényező szerepe növekvő vagy akár csökkenő tendenciát mutatna a fontosság szempontjából. Az elmúlt 20 évben a technikai hibák kiküszöbölése nyomán az emberi tényezővel összefüggésbe hozható hibák aránya 45 %-ról 55 %-ra nőtt. Ilyen módon az elmúlt 10-20 évben az emberi tényezővel összefüggésbe hozható hibák lényegi szerepének felismerése történt meg. Az eredmények rámutatnak, hogy az emberi tevékenységek a komplex rendszer egészére kihatással vannak. Az események szisztematikus kiértékelése és az adatbázisok használata növelheti az emberi tényezővel kapcsolatos mennyiségi információk számát, azonban legalább ennyire fontos az emberi teljesítményt és a befolyásoló tényezőket érintő minőségi információk kezelése. A fejlesztés egy lehetséges iránya ezért az emberi döntéshozás modellezése, amely területen az elérhető HRA módszerek és adatbázisok szegényesek [13].

A **2004**-es dolgozat a NEA tagországok kockázatelemzéssel foglalkozó szakértőinek egyetértésében mutatta be az atomerőművek PSA elemzéseinél használt emberi megbízhatósági vizsgálatok aktuális helyzetét [14]. Megállapítást nyert, hogy az emberi teljesítmény alapvető hatást gyakorolhat a komplex műszaki rendszerek megbízhatósági és biztonsági szintjére. Ezért szükséges, hogy a HRA a PSA elemzések jelentős részét képezze. A PSA elemzésekben pedig az emberi kölcsönhatások megfelelő kezelése a legfontosabb ahhoz, hogy megértsük a balesetsorozatokat. Az új PSA felhasználások szükségesek voltak, és a jelenlegi alkalmazások korlátainak ismerete maga után vonja a HRA fejlődését. A következő fejlesztési irányokat fogalmazták meg:

- A legmegfelelőbbnek bizonyult alkalmazások következetes használata.
- A korlátok felismerésével és figyelembevételével valószínűségi becslések alkalmazása, nyilvánvalóan nem tisztán statisztikai adatokra támaszkodva, minthogy a megismételhető rendszerbeli működésekkel ellentétben az emberi viselkedés sok, előre nem látható változatra hajlamos, amelyeket különösen nehéz modellezni.

A HRA módszerek fejlesztésének jelenlegi és a közeljövőre vonatkozó legfontosabb iránya a döntés-alapú hibák kezelésére fektetett hangsúly. Ezeknek négy alapvető megközelítése (amelyeknek kombinációi is alkalmazhatók):

- A működtetési tapasztalatokon alapuló módszerek használata
- Szimulátor-alapú módszerek használata (beleértve a döntésfa módszert)
- Kognitív elméleteken alapuló módszerek használata (a cél nem kizárólag annak a meghatározása, hogy milyen hibák történnek, hanem annak is, hogy miért történnek a hibák)
- Az üzembe helyezési hibák és a cselekvések közti összefüggések szisztematikus kezelése.

A fejlesztés egy lehetséges útja a szervezési és vezetési szempontok nyomatékos figyelembevétele [14].

1. 5. A kockázatértékelés szerepe, a vele szemben támasztott elvárások

A kockázatértékelésre vonatkozó igény folyamatosan növekszik az elmúlt évtizedekben, és ez a növekedés várhatóan folytatódik, amint az az EU 2003-as, „A kockázatértékelés összehangolásáról szóló második jelentés”-ében is olvasható [15]. Bár a kockázatértékelés folyamatának egésze nem sokat változott ezen idő alatt, az értékelés különböző területein szignifikáns különbségek fejlődtek ki a folyamatok sajátosságaiból eredően.

A kockázatértékelés egy esemény bekövetkezésének valószínűségét meghatározni hivatott, bizonyos adatok által vezérelt folyamat. Egy szűkebb definíciója a következő: tudományosan vezetett folyamat, amely arra irányul, hogy az emberi egészséget és a környezetet érintő kedvezőtlen hatások valószínűségét meghatározza abból a szempontból, hogy milyen kockázati forrásoknak vannak kitéve. A kockázati források lehetnek speciális biológiai, fizikai vagy kémiai okozók, amelyeket gyakran neveznek stresszornak, de a kockázati források lehetnek ipari vagy egyéb folyamatok is.

A kockázatértékeléseknek objektívnek kell lenniük, de elkerülhetetlen, hogy magukban foglaljanak mind tudományos-, mind értékítéletet.

Ezért elengedhetetlen, hogy:

1. A kockázatértékelés folyamata alapos és érthető legyen, és az összes felhasznált információforrás pontosan behatárolt legyen.
2. Tapasztalt szakemberek végezzék az értékelést minden szükséges tudományterületről, a folyamatért felelősséget vállalva.
3. Minden egyes kockázatértékelés legyen független a kockázatkezelők által biztosított, érték alapú kérdéseket követő kockázatkezeléstől. (Ennek érdekében gyakran független tudományos tanácsadókat alkalmaznak.)

Több szempontból is érdemes áttekinteni és felülvizsgálni a kockázatértékelési folyamatot, mivel:

1. A kockázatkezelési folyamat számára döntő információforrás a kockázatértékelés, amely napjainkban kiemelt fontosságú.
2. Valószínűsíthető, hogy a jövőben újabb területeken is elvárják majd a kockázatértékelést.
3. Növekvő igény van az egyre alaposabb, és részletekbe menő kockázatértékelésre.
4. Az új, releváns technológiák fejlődésének köszönhetően adott a lehetőség a tudományos alapok megerősítésére.
5. Szükséges újabb és újabb tényezők vizsgálata a kockázatértékelés folyamatában.

Sok esetben változnak bizonyos stresszorokból eredő kockázatok, akár a változó kitettségi szintek, akár a veszélynek kitétt populációban bekövetkező változások miatt. Példaként említhetjük, hogy a kockázatértékelések nem tudják megfelelően figyelembe venni azt a tényt, hogy az emberek napjainkban tovább élnek, mint azt évtizedekkel ezelőtt várták, és ezért bizonyos kockázatoknak való kitettségi szintjük (esetleg folyamatosan) változik az eredeti kockázatértékelésekben figyelembe vett értékekhez képest. Ezért is szükséges a kockázatértékelések folyamatos felülvizsgálása és bővítése.

Új kockázati tényezőkkel is számolni kell, valamint szükséges az EU és a tagállamok által kifejlesztett stratégiák beépítése a tudományos igényesség követelményeinek megfelelően. A jelenlegi módszerek mélyreható elemzése szükséges ahhoz, hogy az új kihívásoknak megfelelő kockázatértékelési eljárások kidolgozása válhasson lehetővé.

A kockázatértékelésben nagy szükség van az összehangolt megközelítésre, az alábbi okokból:

1. A kockázatkezelőket segíteni kell a helyzetek megértésében.
2. A különböző tudományos csoportok munkáját segíteni kell azáltal, hogy bizonyos feladatok szükségtelen többszöri elvégzése kiküszöbölhető legyen az összehangolt munkának köszönhetően.
3. Lehetőséget kell keresni arra, hogy különböző folyamatok kockázatai összehasonlíthatók legyenek.
4. Biztosítani kell, hogy a különböző kockázati tényezőkből eredő, de azonos stresszoroktól származó összkockázat pontosan meghatározható legyen.
5. Hangsúlyt kell fektetni a folyamatos oktatásra és továbbképzésre.

Mindezen elvárásokra az IAEA-TECDOC-994 szerint az integrált kockázatértékelés adhat választ [16].

1. 6. Az integrált kockázatértékelés fogalma

A döntéshozók gyakran szembesülnek olyan komplex problémákkal, amelyek érintik a gazdasági és szociális fejlődés kérdését, az ipar és a kapcsolódó infrastruktúra szükségleteit, vagy a népesség és a föld felhasználásának tervezését. E problémákra választ kell adni, mindemellett biztosítani kell, hogy a közegészségügyet ne fenyegetse folyamatos, vagy véletlenszerű káros kibocsátás, hogy a fontos ökoszisztémák ne bomoljanak fel, és hogy a föld, a víz és a levegő ne szenvedjen visszafordíthatatlan károkat a jövő nemzedékek számára. Csak az ilyen körültekintéssel meghozott döntések támogatják egy adott terület fenntartható fejlődését.

Olyan esetekben, amikor egy adott területen lévő környezet és lakosság súlyos kockázatoknak van kitéve, döntéseket kell hozni a rendelkezésre álló források következetes felhasználásával arról, hogy a kockázatok csökkentése az elsődleges szempont. Egy másik fontos cél jól dokumentált döntéshozatali folyamatok létrehozása, amelyek lehetőséget adnak egy adott közösség számára, hogy betekinthesse azon kockázatok értékelésébe, amelyeknek a közösség ki van téve, valamint arra is, hogy a közösség az értékelési folyamat alapjait is megismerhesse. Ha a közösség betekintést nyerhet azokba a módszerekbe, amelyekkel a kockázatokat azonosították, meghatározták és értékelték, akkor növekszik a racionális párbeszéd esélye, valamint a közösség könnyebben fogadja el a felajánlott kockázatkezelési stratégiát. Másfelől viszont az ad hoc döntések, amelyek csak bizonyos kockázatokra vesznek figyelembe, másokat viszont figyelmen kívül hagynak, könnyen ellenállásba ütközhetnek. A döntést hozó folyamat szintén rossz úton jár, amennyiben bizonyos kockázatokra szándékosan nem vesznek figyelembe. Sok baleset és környezeti katasztrófa nagy valószínűséggel

elkerülhető lett volna alaposabb és szélesebb látókörű kockázatértékelés és kockázatkezelés esetén.

Egy valóban integrált kockázatértékelésnek ki kellene terjedni az adott terület kockázatainak minden fajtájára. Mindazonáltal, egy ilyen széleskörű tanulmány túlságosan összetett lenne, és általában nehézségekbe ütközne a kivitelezése. Ezért bizonyos korlátozásokra van szükség. A korlátozások az adott terület jellegétől függenek. A módszerek alkalmazhatók a különböző típusú kockázatokra, bár nyilván a különböző esetekben különböző adatokra van szükség.

Az integrált kockázatkezelés megköveteli a hatékony együttműködést a kockázatkezelésben részt vevő különböző felek között, a kormányzat, az adott iparág és a közösség részéről. Szintén kiemelt fontosságú a kockázatkezelésben részt vevő különböző kormányzati szervek munkájának összehangolása. A kapcsolat és az együttműködés megalapozása a kockázatértékelési folyamat elején ajánlott, a folytatásban pedig a kockázatkezelési stratégia és a végrehajtás szerves része kell hogy legyen. A kockázatkommunikáció kérdése rendkívül fontos, és alapvető elvárás, hogy a kockázat és értékelésének fogalmát kevésbé ismerők tájékoztatása is megfelelő legyen.

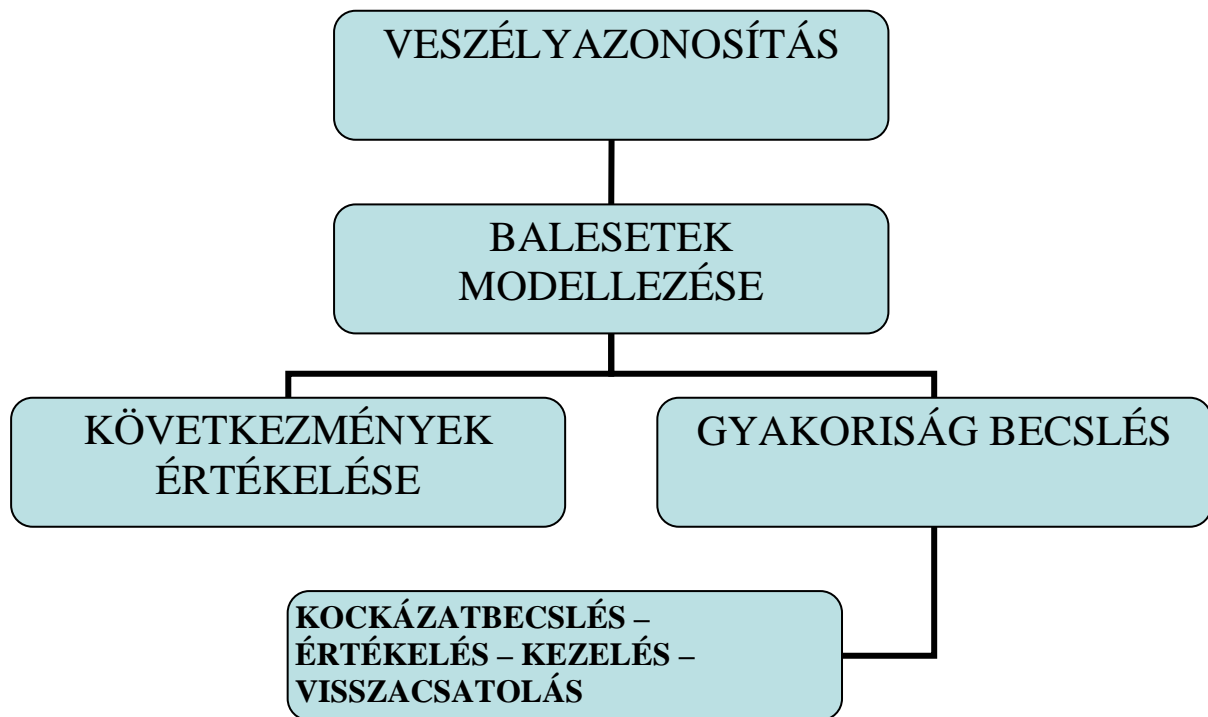
A kormányzat, az adott iparágak és az érintett közösségek felismerik annak a szükségességét, hogy az emberekre és a környezetre potenciális veszélyt jelentő tényezők kockázatait azonosítsák, értékeljék és ellenőrizzék. A minden részletre kiterjedő kockázatértékelés és kockázatkezelés ezért alapvető fontosságú a fejlődés fenntartása és ugyanakkor az emberek és a környezet biztonsága érdekében.

A jól bevált ipari biztonsági alkalmazások, a mérnöki biztonsági kódok és szabványok, a tervezési és működtetési eljárások a kockázatkezelés alapját képezik. A veszélyek egyre növekvő tudatosítása a kockázatértékelési eljárások szisztematikus megközelítésének, módszereinek és eszközeinek fejlődését és használatát vonta maga után. Ezeket gyakran nevezik veszélyelemzésnek, illetve mennyiségi kockázatelemzésnek.

A kockázatértékelési folyamatban valósul meg a kockázati eseményeknek az emberekre, az anyagi tulajdonra és a környezetre gyakorolt hatásainak és következményeinek becslése. A kockázatértékelési folyamat része annak a valószínűségnek a kiszámítása, hogy ezek a kockázati események a gyakorlatban be is következnek, valamint lehetséges hatásaik valószínűségének a meghatározása is.

A mennyiségi kockázatelemzés folyamata természetét tekintve valószínűségekre épül. Elismeri, hogy a balesetek ritkák, és hogy a lehetséges események és kockázatok nem kerülhetnek ki teljesen. Mivel súlyos balesetek egy adott folyamat vagy berendezés élettartama alatt vagy bekövetkeznek, vagy nem, ezért nem megfelelő az értékelési folyamatot izolált balesetek következményeire alapozni. Azonban az ilyen valóban megtörtént balesetek valószínűségét is számításba kell venni. E valószínűségek és a belőlük származó kockázati szintek hatással kell hogy legyenek mind a tervezési szintre, mind a működtetési és szervezési ellenőrzésekre és felülvizsgálatokra.

A kockázatértékelési folyamat átfogó terve az 1. ábrán látható.



1. ábra. A kockázatértékelési folyamat átfogó terve

1. 7. A kockázatértékelési folyamat részletes terve

1. Veszélyazonosítás

A veszélyazonosítás magában foglalja a rendszer leírását, a kezdeti események és lehetséges válaszlépések meghatározását, valamint a kezdeti események csoportosítását és szűrését.

2. Baleseti forgatókönyvek modellezése

A modellezés eseményfa elemzésen alapul, és célja a balesetsorozatok elhelyezése a veszteségállapotok között.

3. Következmenyelemzés

A következményelemzés fontos részét képezi a topográfiai és népességi elemzés, a következmények értékelése, és a mérséklő hatások elemzése.

4. Balesetek gyakoriságának becslése

A balesetek gyakoriságának becslése az egyik legösszetettebb feladat. A balesetsorozatok gyakoriságbecslése és a rendszerelemzés mellett az emberi tényező vizsgálata is ekkor történik.

5. Kockázatértékelés

A kockázatértékelésben a következmények és a gyakoriságok segítségével történik a kockázatok megállapítása, ezután pedig a kockázatkezelési javaslatok megtétele.

1. 8. Az emberi tényező helye a kockázatértékelési folyamatban

A kockázatértékelési folyamat részletes tervében látható, hogy az emberi tényező vizsgálata a gyakoriságbecslés részfeladataként értelmezhető.

Az eseményfák bizonyos eseményei emberi tevékenységekkel függenek össze. Annak a valószínűségét, hogy egyes események a résztvevő emberi tényező miatt következnek be, megfelelő emberi hiba-elemző módszerrel kell meghatározni.

Az emberi hiba-elemzés kiterjed azoknak a tényezőknek a módszeres meghatározására, amelyek hatással vannak az emberi teljesítményre, és azokat a hibázást-valószínűsítő helyzeteket is feltárja, amelyek balesethez vezethetnek. Az elemzés magában foglalhatja azoknak az interfészeknek az azonosítását, amelyekre a hibák hatással vannak. Az előfordulás gyakorisága, illetve a következmények súlyossága alapján a hibák relatív rangsora állítható fel. Az eredmények lehetnek kvalitatív vagy kvantitatív jellegűek, és a normál vagy veszélyhelyzeti működés esetén valószínűsíthetően fellépő hibák módszeres felsorolását is magukban foglalják.

Néhány emberi hibatípus impliciten benne foglaltatik az alkatrészekre vonatkozó megbízhatósági adatokban. Valójában nagyon bonyolult lenne sok, különféle típusú hiba szétválasztása, amelyek a tervezés, a beüzemelés, vagy a fenntartás során következnek be. Ezeknek a látens hibáknak az elemzése mindazonáltal külön figyelmet érdemel, és bizonyos helyzetekben nem hagyható figyelmen kívül.

Más típusú hibák természetesen nem képezik az alkatrészekre vonatkozó megbízhatósági adatok részét, a baleseti adatok között azonban szerepelnek. Ezek a hibák lehetnek operátori hibák, amelyek a „hibás emberi beavatkozás” vagy a „szükséges emberi beavatkozás elmulasztása” kategóriák valamelyikébe tartoznak. Azokban a helyzetekben, ahol ezeket a típusú hibákat szignifikánsnak minősítik, rendszeres adatbevitelre van szükség. A hibázási arány sok tényezőtől függ, a stressztől kezdve a tapasztalaton át a feladat összetettségéig, vagy a megfelelő képzettségig, a helyzetspecifikus sajátosságokat is beleértve.

Az emberi hibázásra vonatkozó releváns adatok gyűjtése sokszor ütközik nehézségekbe, mindazonáltal folyamatosan tesznek erre különböző kísérleteket, mint ahogy az emberi tényező kutatása is mára a saját jogán vált nélkülözhetetlenné.

1. 9. Részkövetkeztetések

A történeti áttekintés és a tudományos megközelítés világosan rámutat, hogy az emberi tényező kitüntetett szerepének felismerése megtörtént, és hogy az emberi tényezővel kapcsolatos kutatások évtizedek óta jelen vannak a világban.

Az emberi hibázást kategóriákba sorolták, az emberi megbízhatósági vizsgálatok széles körű alkalmazását és fejlesztését szorgalmazzák.

A Nukleáris Energia Ügynökség külön hangsúlyt fektet az emberi tényezővel kapcsolatos kutatásokra. Kezdetben felfedezték, hogy speciális rendszereket kell kifejleszteni az emberi tényezővel kapcsolatban levő események elemzéséhez, később kimutatták, hogy az emberi tényezővel kapcsolatba hozható közös okú meghibásodások bármely biztonsági rendszerben megjelenhetnek. A közös okú meghibásodások mélyreható elemzése két fontos területet fedett fel: a rejtett hibák, illetve a „kisebb” zavarok (elvétések) területét. Ezek a kategóriák is szerepelnek a Reason-féle felosztásban, mégis, csak a részletes kutatásokat követően fogalmazódott meg kitüntetett szerepük.

Hasonlóan, az emberi hibák egy másik kategóriája, a szándékos veszélyeztetés még ma is kisebb figyelmet kap a megérdemelnél. Reason eleve kizárja ebből a kategóriából azokat a tevékenységeket, amelyek szándéka a károkozásra irányul, illetve definíciója alapján ezeket nem is tekinti hibának. Amennyiben azonban az emberi hibát mint az elvárt és a megvalósult tevékenység vagy viselkedés eltéréseinek következményét tekintjük, a szándékos károkozás is lehet hiba, hiszen eltér az elvárt emberi viselkedéstől. A valóságban pedig az ilyen típusú, szándékos cselekvések nagyon súlyos következményekkel járnak, valamint számukat tekintve sem lehet ma már „kis valószínűségű”, elszigetelt eseményeknek tekinteni őket. Ezért javaslom bizonyos esetekben (például egyéni szándékos károkozás esetén) a szándékos károkozás fogalmát is hibaként kezelni, és más esetekben is mérlegelni, hogy az adott szándékos károkozás tekinthető-e hibának. A mérlegelésre szükség van, hiszen például a szabotázs, amennyiben azt fegyveres erők parancsra hajtják végre, nem lehet hibának tekinteni. Ilyenkor az a hiba, ha a szabotázs sikertelen. A szándékos károkozásnak a megfelelő esetekben hibaként történő kezelése viszont maga után vonja a Reason-féle kategóriák átgondolását is.

A megfelelő esetekben a szándékos károkozás emberi hibaként való kezelése azért fontos, mert lehetővé teszi, hogy az emberi tényezővel kapcsolatos kutatásokban helyet kapjon, ami a megelőzés sarkalatos pontja.

Emellett azonban a hagyományos értelemben vett szándékos veszélyeztetés is súlyos probléma. A szándékos veszélyeztetést motiválhatja az egyszerűbb, illetve gyorsabb megoldások keresése (a dolgozó átlépi a futószalagot, mert egyszerűbb, mint megkerülni), valamint a veszélyt kereső viselkedés (a dolgozó átlépi a futószalagot, mert így akarja bemutatni bátorságát). A szándékos veszélyeztetést elkövető gyakran nincs tudatában a kockázatnak, ezáltal a szándékos veszélyeztetés szokássá válhat. Skriver szerint [17] ezekben az esetekben egy idő után már nem nyilvánvalóak az előírt folyamatok. A szándékos veszélyeztetés fő okait pedig szervezeti feltételekben látja: nem állnak rendelkezésre megfelelő eszközök és munkakörnyezet, nincs megfelelő felügyelet, illetve nincs következménye a veszélyeztetésnek. Véleményét részben osztva, a megelőzésre helyezném a hangsúlyt. Egy nagyon egyszerű matematikai modell felállítását javaslom, arra alapozva, hogy a szándékos veszélyeztetés a betartandó szabályok mennyiségével van összefüggésben. A betartandó szabályokat a betartási nehézséggel súlyozva kapott K értéket kell az adott munkakörnyezetben vizsgálni. Létezik egy (az adott munkakörnyezettől és feladattól függő) olyan K_0 érték, amelyre $K < K_0$ esetén nem történik (vagy csak elegendően kicsi valószínűséggel történik) szándékos veszélyeztetés, míg $K > K_0$ esetén történik (vagy nagy valószínűséggel történik) szándékos veszélyeztetés. Cél az adott feladatnak megfelelő és elégséges szabályok olyan rendszerének felállítása, amelyben $K < K_0$.

A NEA további tapasztalataira alapozva előtérbe helyezte a nemzetközi együttműködést, valamint a más iparágakkal történő közös tervek kidolgozását is. Megállapították, hogy az emberi tevékenységek az atomerőmű, mint olyan komplex rendszer, amely technológiai és emberi tényezőkre épül, egészére kihatással vannak. Szintén megállapítást nyert, hogy az emberi teljesítmény alapvető hatást gyakorolhat a komplex műszaki rendszerek megbízhatósági és biztonsági szintjére. Ezért szükségesnek találták, hogy a HRA a PSA elemzések jelentős részét képezze. Kiemelték a kognitív elméleteken alapuló módszerek használatát, vagyis a cél ne kizárólag annak a meghatározása legyen, hogy milyen hibák történnek, hanem annak is, hogy miért történnek a hibák.

A kockázatértékeléssel szemben napjainkban támasztott követelményeknek leginkább az integrált kockázatértékelés felel meg. A kockázatértékelési folyamat átfogó tervében az emberi tényező vizsgálatát a gyakoriságbecslés részfeladataként értelmezik, s így az emberi tényező érzelmi része nem kap szerepet a folyamat előző, illetve párhuzamos lépéseiben: a veszélyazonosításnál, a baleseti forgatókönyvek modellezésénél és a következményelemzésnél. Ahogy azonban már a fejezet első mondatainál utaltam rá: nagyon fontos már a folyamatok elején tudatában lenni az emberi tényező hatásainak, minthogy ilyenkor még könnyen és kis költséggel módosíthatók a tervek megfelelő részletei. Ezért javaslom az integrált kockázatértékelésben az emberi tényező érzelmi részének is a figyelembevételét már az első lépéstől kezdve.

2. AZ EMBERI TÉNYEZŐ MODELLEZÉSE AZ IRODALOMBAN

Az előző fejezetben láthattuk, hogy az emberi teljesítmény alapvető hatást gyakorolhat a komplex műszaki rendszerek megbízhatósági és biztonsági szintjére. A kockázatelemzésekben az emberi kölcsönhatások megfelelő kezelése kulcsfontosságú a balesetsorozatok és a teljes kockázatbeli szerepük megértéséhez.

Az emberi tényező vizsgálatával elsősorban az emberi megbízhatósági vizsgálatok, illetve emberi megbízhatóság becslésére alkalmas módszerek foglalkoznak, de több olyan más módszer is létezik, amely az emberi tényező egy-egy aspektusának modellezését tűzte ki célul.

Az emberi megbízhatósági vizsgálatokkal foglalkozó módszerek többsége nagymértékben figyelembe veszi az adat-hozzáférhetőség és a szélesebb körű rendszerbe történő bekapcsolhatóság kérdését.

Az emberi megbízhatósági vizsgálatoknak az 1. fejezetben is említett céljai a következők:

1. A kulcsfontosságú emberi kölcsönhatások azonosítása, elemzése és beépítése a biztonsági elemzésekbe.
2. A sikerek és kudarcok valószínűségének számszerűsítése.
3. Olyan kitekintést nyújtani, amely fejlesztheti az emberi teljesítményt.

2. 1. Az emberi megbízhatósági elemzés alapjai

Az emberi megbízhatósági elemzések kritikus elemei a következők:

1. Feladatelemzés (Task analysis TA)

A feladatelemzés az emberi tevékenységet igénylő rendszerek és folyamatok világos jellemzését és a kívánt cél eléréséhez szükséges helyes tevékenység meghatározását jelenti.

2. Az emberi hiba meghatározása

Az emberi hibák kialakulásának folyamata négy fő osztályba osztható:

- a) külső hibamechanizmus (External Error Mechanism, EEM)

Az EEM a látható vagy érzékelhető következményekkel járó hibákra utal (pl. „a szelep nyitva maradt”)

- b) belső hibamechanizmus (Internal Error Mechanism, IEM)

Az IEM a hiba személyen belüli megnyilvánulását foglalja magában, pl. késői észlelés, rossz észlelés, elhallás stb.

- c) Pszichológiai hibamechanizmus (Psychological Error Mechanism, PEM)

A PEM azon pszichés okokat foglalja magában, amelyek a hiba kialakulásához vezetnek.

d) Teljesítményt befolyásoló tényezők (Performance Shaping Factors, PSF)
A PSF egyéb olyan tényezők széles skálája, amelyek befolyásolják a teljesítményt. [18]

3. Az emberi hiba megjelenítése, szemléltetése

Leggyakrabban hibafákat (FTA) vagy eseményfákat (ETA) használnak. A hibafa-elemzés a NUREG/CR-4835 [19] definíciója értelmében egy olyan elemző technika, amely a rendszer hibáját okozó összes lehetséges helyzet feltárására szolgál. A hibafa elemzés grafikusan ábrázolja az összes párhuzamos és soros kombinációját azoknak a hibáknak, amelyek a nemkívánt eseményt okozzák. A logikai kapuk a hibafa-logika alapvető elemei. Az OR (VAGY) kapu olyan helyzetre utal, amikor a kimeneti esemény megtörténik valamennyi olyan esetben, amikor a bemeneti események bármelyike fennáll. Az AND (ÉS) kapu arra a logikai műveletre utal, amikor az összes bemenő eseménynek be kell következnie ahhoz, hogy a kimeneti esemény bekövetkezzen. A HRA eseményfa bemutatja azokat a beavatkozásokat, amelyeket az operátorok a kezdeti esemény válaszlépéseként tesznek, illetve azokat a sikeres és sikertelen cselekvéseket, amelyek a művelet normál lefolyásánál szerepelnek. A HRA eseményfa információt közöl az operátorok által véghezvitt helyreállító beavatkozásokról is, és figyelembe veszi a hibás emberi beavatkozásból és a szükséges emberi beavatkozás elmulasztásából eredő hibákat is. Az emberi hibák szemléltetésére alkalmas hibafa elemzést teljes részletességgel a NUREG/CR-4835, az eseményfát a NUREG/CR 1278 [20] ismerteti.

4. Az emberi megbízhatóság számszerűsítése

Az emberi megbízhatóság számszerűsítésére vonatkozó technikák mindegyike magában foglalja az emberi hibavalószínűség (HEP) kiszámítását. A HEP definíciója a következő:

$$\text{HEP} = \frac{\text{hányszor következett be a hiba (hibák száma)}}{\text{hányszor következhetett volna be a hiba (hibalehetőségek száma)}}$$

Az emberi hibavalószínűségi adatok típusainak széles skálája létezik: valós üzemi tapasztalatok, szimulátor adatok, kísérleti adatok, szakértői vélemény, illetve mesterséges adatok. Ezek az adattípusok különböző adatforrásokból eredhetnek, mint például: esemény és baleseti jelentésekből, karbantartási jelentésekből, PSA jelentésekből, üzemi feljegyzésekből, szimulátorok által, a személyzet interjúiból, az erőmű működési naplójából, szakértőktől. Taylor-Adams és Kirwan [21] megállapítása szerint a HEP sok esetben nehezen határozható meg. A hozzáférhető ilyen típusú adatok hiánya négy okra vezethető vissza:

- a valóságban komplex feladatok hibalehetőségei számának meghatározási nehézségei (az úgynevezett nevező-probléma [22])
- a bizalmasság
- a gyenge teljesítmény adatait nem akarják publikálni
- az adatgyűjtésre fordítható pénzügyi keretek hiánya.

Megállapításom szerint mindemellett a felelősség kérdése hátráltatja leginkább az ilyen irányú kutatást. Amikor emberi hiba történik, mindig van felelős is. A felelősség kérdése nem mindig dönthető el, a felelősség vállalása pedig nehezen elfogadható. Ezért a naprakész információkat az esetek egy részében nem teszik hozzáférhetővé, esetleg elhallgatják, vagy legrosszabb esetben megmásítják. Sok esetben nem nevezik meg az igazi felelőst, hanem bűnbakot keresnek.

Jó példa erre az 1984-es Bhopal-i katasztrófa. 1984. december 2-án éjjel, az Indiában található Bhopal városában lévő, a Union Carbide nevű multinacionális cég rovar- és gyomirtó szereket és egyéb vegyi anyagokat előállító vegyi üzeméből mérgező gáz szabadult ki. Mind az okok, mind a következmények tekintetében a cég hivatalos álláspontja erősen eltér az érintett túlélőktől. Az azonban biztosan megállapítható, hogy akár szándékos károkozásról volt szó (ami a cég véleménye [23]), akár a biztonsági előírások durva megsértéséről (ami az „Igazságot Bhopalnak Nemzetközi Kampány” álláspontja [24]), a katasztrófát az emberi tényező okozta.

Ez a katasztrófa több, mint 26 évvel ezelőtt történt. Az okokat illetően pedig a mai napig nincs egyetértés, ahogyan a 2010. júniusi ítélettel kapcsolatban sem, amelyben a cég hét egykori indiai alkalmazottját ítélték el halált okozó gondatlanság miatt, fejenként két év szabadságvesztésre.

2. 2. Fontos HRA módszerek

Az alábbiakban ismertetek néhány fontosabb HRA módszert. A módszereket olyan részletességgel ismertetem, ami a következő fejezetbeli matematikai modellezések megértéséhez szükséges.

3. táblázat. Jelentős HRA módszerek

RÖVIDÍTÉS	MÓDSZER	SZERZŐ/REFERENCIA
ATHEANA	A Technique for Human Error Analysis	NUREG/CR-6350
CREAM	Cognitive Reliability and Error Analysis Method	Hollnagel
HCR	Human Cognitive Reliability model	EPRI RP-2170-3 ; NUS-4531
HEART	Human Error rate Assessment and Reduction Technique	Williams
HERMES	Human Error Risk Management for Engineering Systems	Cacciabue
THEA	Technique for Human Error Assessment	Fields
THERP	Technique for Human Error Rate Prediction	NUREG/CR-1278

2. 2. 1. Az ATHEANA módszer [25]

A Technique for Human Error Analysis - Emberi Hiba Elemzési Technika

Az ATHEANA módszer a valószínűségi kockázatelemzések (PRA-Probabilistic Risk Assessment) tökéletesítését szolgálja az alábbi szempontok alapján:

- azonosítja és jellemzi a fontos ember-rendszer kölcsönhatásokat és lehetséges következményeiket baleseti feltételek mellett
- bemutatja a legfontosabb baleset sorozatokat, amelyek megtörténhetnek
- az emberi hibák okainak jellemzése alapján ajánlásokat közöl az emberi tevékenységek hatékonyságának javítására.

Általánosságban az ATHEANA módszer ugyanazokat az alapvető feladatokat hajtja végre, amelyek meghatározzák az egyéb emberi megbízhatósági vizsgálatokat is. Ha a folyamat

gyakorlati elemeit tekintjük, általában – és így az ATHEANA módszer alkalmazásánál is – a következő feladatsorozatot kell végrehajtani:

1. (az erőművi) környezet megismerése és információgyűjtés
2. az emberi hibaesemények (HFE-Human Failure Event) azonosítása és definiálása
3. az emberi hibaesemények beillesztése a logikai modellbe
4. szűrőmódszer alkalmazása
5. részletes, számszerűsített HRA meghatározás, amely bizonytalansági elemzést is tartalmaz
6. a folyamat és az eredmények dokumentálása.

Az ATHEANA módszer figyelembe veszi mind az emberközpontú tényezőket, mind a tárgyi feltételeket, amelyek egymástól nem függetlenek. A teljesítményt befolyásoló tényezők és a tárgyi feltételek (erőművi környezet) egyesített hatásai olyan helyzetet teremtenek, amelyben valószínűsíthetően történik emberi hiba. Az ilyen helyzeteket nevezik „hiba-kikényszerítő helyzet”-nek (EFC-Error Forcing Context).

Az ATHEANA módszer alkalmazása a következő lépésekből áll:

1. az emberi hibaesemény azonosítása
2. az emberi hibaeseménnyel kapcsolatos veszélyes cselekvés azonosítása
3. a veszélyes cselekvéssel kapcsolatos hiba-kikényszerítő helyzet azonosítása
4. valószínűségek becslése a hiba-kikényszerítő helyzetekre
5. az emberi hibaesemény számszerűsítése a becsült valószínűségek alapján.

2. 2. 2. Az CREAM módszer [26]

Cognitive Reliability and Error Analysis Method – Kognitív megbízhatósági és hibaelemzési módszer

A Hollnagel által tervezett módszer elsősorban az emberi hibák okainak meghatározásán és elemzésén alapul. A módszer elméleti háttérét a hibalehetőségek emberi, technológiai és szervezeti felosztása adja.

A CREAM a következő folyamatokon keresztül megy végbe:

1. Egy célfeladatot kiválasztunk.
2. A feladatot hierarchikus feladat elemzésnek vetjük alá meghatározva a feladat egyes elemeit és azok kapcsolatrendszerét.
3. Meghatározzuk a teljesítményt befolyásoló általános feltételeket (Common Performance Conditions CPCs).

4. Meghatározzuk a kognitív összefüggéseket, amelyek azon alapulnak, hogy az egyes elemeknek mekkora a kognitív igénye (a kognitív igény azt jelenti, hogy mennyire kell észlelni, felismerni, gondolkodni).
5. A lehetséges szabályozási/beavatkozási módokat meghatározzuk.
6. Meghatározzuk a lehetséges kognitív hibázási lehetőségeket.
7. Ezek alapján az egyes elemekre, majd az egész feladatra meghatározzuk a kognitív hibázás valószínűségét.

A CREAM kiválóan alkalmas az emberi hatékonyság növelésére, az emberi hibatényező gyakoriságok csökkentésére és az emberi hibák utáni korrekció valószínűségének növelésére.

A CREAM módszer a számszerűsítést két úton közelíti meg. Az egyik az alapszűrési módszer, a másik pedig a kibővített módszer. Az alapszűrési módszer az emberi interakciók kezdeti szűrésén alapul. A szűrés vonatkozhat a feladat egészére is, vagy akár csak egy részfeladatra. A kibővített módszer az alapszűrési módszer eredményeit felhasználva pontosítja, illetve részletezi a cselekvéseket, vagy a feladat egyes részfeladatait, ahol ez szükséges.

Az alapszűrési módszer a következő lépéseket követi:

1. Az elemzésre váró feladat vagy részfeladat leírása

Bármely emberi megbízhatósági elemzés első lépése a feladatelemzés, illetve szisztematikus feladateleírás. Ha a feladatot nem ismerjük, akkor az egyéni cselekvések következményeit sem tudjuk megbecsülni.

2. A teljesítményt befolyásoló általános feltételek (CPC-k) meghatározása

A CPC-eket a módszer a feladat egészének leírására használja; a leírás kifejezési módja az úgynevezett összetett CPC pontszám.

3. A lehetséges szabályozási, illetve beavatkozási mód meghatározása

A lehetséges szabályozási, illetve beavatkozási mód a Kontextus-hangsúlyú Szabályozási Modell (Contextual Control Model-COCOM) központi gondolata. A lehetséges szabályozási, illetve beavatkozási módot az összetett CPC pontszám határozza meg.

A CREAM-alapszűrési módszer és más szűrési technikák között két alapvető különbség van. Az első az, hogy a helyzetnek azon jellemzői, amelyek a teljesítményt befolyásolhatják, a megbízhatósági elemzés kezdőpontjánál vannak, a feladatelemzéssel együtt. Az egyéni cselekvések megbízhatóságát, illetve hibaválószerűségét csak az után veszi figyelembe, hogy a teljes rendszer megfelelő felmérése megtörtént. Másodszor, a szűrés maga egy explicit, bár egyszerű kognitív modellre hivatkozik. Ez a modell adja az egyszerű magyarázatot az eredményekre.

Az alábbiakban röviden ismertetem a CREAM alapszám alkalmazásának lépéseit.

1. Az eseménysorozat felépítése

A módszer alkalmazásának első lépése az, hogy megnevezzük azokat az eseményeket, amelyekre a megbízhatósági elemzést el akarjuk végezni. Ez általában azoknak a potenciális rendszerhibáknak a felsorolását jelenti, amelyek elég súlyosak ahhoz, hogy érdemes legyen további tanulmányozásuk. Egy ilyen lista várható hibákat tartalmaz, és általában a teljes PSA, vagy más kockázatelemzés részeként tekintik. A listából egyszerre egy eseményt vagy eseménysorozatot kell kiválasztani az elemzés szempontjából. Miután az eseménysorozat kiválasztása megtörtént, a CREAM alapszám első lépése a feladatelemzés, amelynek célja a feladat részletes leírása. A feladatelemzésnél mérlegelni kell az alábbi szempontot: az emberi megbízhatósági vizsgálat céljainak általában az a legmegfelelőbb, ha a külső forrásból kapott feladatrepresentációt nem ültetjük át egy az egyben. Az eseménysorozat ugyanis eredhet például PSA elemzésből, rendszertervezési tesztekben vagy speciális biztonsági elemzésekből. A feladat leírása pedig mindig az adott célnak megfelelően történik. A PSA esetében például a feladat leírása a PSA céljainak megfelelően történik. A feladatnak általában csak néhány fő lépését írják le, az „emberi beavatkozás” utalással. Ez azt jelenti, hogy a részletezettség szintje erősen behatárolt. A HRA céljainak azonban az felel meg legjobban, ha valóságos módon írjuk le a feladat követelményeit. Ennek egyik előfeltétele a megfelelő feladateleírás.

Az eseménysorozat leírása szükséges a teljesítményt befolyásoló feltételek hatásának előrejelzéséhez. (Ilyen például az idő-stressz hatása az emberi teljesítmény minőségére.) Hasonlóan szükség van az emberi teljesítménnyel kapcsolatos elvárások részletezésére ahhoz, hogy meghatározzuk a feladat minden egyes részéhez az odatartozó, túlnyomó többségben levő kognitív igényeket. Ennek az elemzésnek az eredménye egy olyan részletes eseménysorozat, amely még további részletekbe menően is elemezhető, s ezáltal azonosíthatók azok a cselekvések, amelyek követelményeket támasztanak az operátori munkával szemben. Így megismerhető a teljesítmény jellemző korlátainak hatása, különösen azoké, amelyek kognitív tartalommal bírnak. Az így kapott eseménysorozat a szokásos módon, például az eseményfa módszerrel szemléltethető.

2. A teljesítményt befolyásoló általános feltételek (CPC-k) meghatározása

A teljesítményt befolyásoló általános feltételeknek kiválasztható egy olyan, viszonylag kis elemszámú részhalmaza, amely tartalmazza a teljesítményt meghatározó összes lényeges feltételt. A hagyományos PSF-ek (teljesítményt befolyásoló tényezők) és a CPC-k között sok átfedés van. A kilenc CPC közül ötöt rendszeresen használnak PSF-ként. Ezek a következők: a rendelkezésre álló idő, az ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel, az egyidejűleg végzendő feladatok száma, a képzettségi és tapasztalati feltétel valamint a folyamatok és tervek hozzáférhetősége. A másik négy CPC kevésbé általános. A munkakörülmények feltétel részben megtalálható a PSF-ek között, a szervezeti feltétel azonban szinte soha nem jelenik meg, pedig nyilvánvalóan ez az egyike azon feltételeknek, amelyek a legnagyobb hatást gyakorolják a teljesítményre. A napszak és cirkadián ritmus feltételt általában elhanyagolják, azonban ez a CPC sem hagyható figyelmen kívül. A napszaktól függő teljesítményingadozás a pszichológia egyik legmarkánsabb jelensége, és mégis csak igen ritkán szerepel explicit módon a HRA modellekben és módszerekben. A személyzeti együttműködési feltétel szintén elengedhetetlen az emberi erőforrások hatékony felhasználásához.

A CREAM által használt CPC-k tehát a következők:

1. Szervezeti feltétel

A szervezeti feltétel címszó alatt legfőképpen az alábbi feltételek minőségét értjük: a csoport tagjainak feladata és felelőssége, a külső támogatás, a kommunikációs rendszerek, a biztonságirányítási rendszer, a kívülről irányított cselekvésekre vonatkozó irányelvek és utasítások, valamint a külső hatóságok szerepe.

A szervezeti feltétel a következő kategóriák valamelyikébe sorolandó: nagyon hatékony/hatékony/nem elég hatékony/nem megfelelő.

2. Munkakörülmények

Munkakörülmények alatt a munka fizikai körülményeinek természetét értjük. Ilyen fizikai körülmény többek között a háttérvilágítás, a képernyősugárzás, a riasztóberendezések hangja, és a munka megszakítása. A munkakörülmények minőségi leírása a következő lehet: előnyös/megfelelő/összeegyeztethetetlen.

3. Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel

Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltételen az általános ember-gép kapcsolatot értjük. Ez magában foglalja a vezérlőpult által nyújtott információkat és a (számító)gépesített munkaállomásokat, valamint a speciálisan tervezett döntéstámogatás által nyújtott üzemeltetési támogatást.

Az ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel minősítése a következő lehet: támogató/megfelelő/elfogadható/alkalmatlan.

4. Folyamatok és tervek hozzáférhetősége

A folyamatok és tervek hozzáférhetősége a működtetési folyamatok, veszélyhelyzeti intézkedések, megszokott sémák szerinti válaszlépések, szokásos munkamenet stb. értékelését jelenti az alábbi kategóriák szerint: alkalmas/elfogadható/alkalmatlan.

5. Egyidejűleg végzendő feladatok száma

Ez a szám az egy személy által egyidejűleg végzendő feladatok száma. Értékelési kategóriái a következők: teherbírásnál kevesebb/teherbírásnak megfelelő/teherbírásnál több.

6. Rendelkezésre álló idő

Egy feladat elvégzéséhez rendelkezésre álló idő összhangban van azzal, hogy a feladat kivitelezése mennyire jól illeszkedik a folyamat dinamikájához. A rendelkezésre álló időt az alábbiak szerint értékeljük: megfelelő/időnként nem megfelelő/folyamatosan nem megfelelő.

7. Napszak és cirkadián ritmus

A napszak leírja, hogy a feladat végrehajtására a nap 24 óráján belül mikor kerül sor, illetve, hogy a személy mennyire képes alkalmazkodni az adott időszakhoz. Ennek tipikus példája a több műszakos munkavégzés. Tény, hogy a napszak hatással van az elvégzett munka minőségére, és hogy a teljesítmény kevésbé hatékony a cirkadián ritmus felborulása esetén.

Kategóriái: nappal (alkalmazkodóképes)/éjszaka (rosszul alkalmazkodó).

8. Képzettségi és tapasztalati feltétel

Ez a feltétel az operátorok képzésének minőségét és képzettségi szintjét hivatott értékelni, beleértve az új technológiák megismertetését, valamint a régi ismeretek felfrissítését és az operátori tapasztalatot is. Az értékelés az alábbi kategóriák valamelyikébe való besorolás által történik meg: megfelelő-tapasztalt/megfelelő-kevésbé tapasztalt/nem megfelelő.

9. Személyzeti együttműködési feltétel

A személyzet tagjai közötti együttműködés minősége, beleértve mind a hivatalos struktúrát, mind a magánszférát, a bizalom szintje, és a tagok közötti szociális légkör minősége értékelhető az alábbi kategóriák szerint: nagyon hatékony/hatékony/nem elég hatékony/nem megfelelő.

3. A lehetséges szabályozási, illetve beavatkozási mód meghatározása

A lehetséges szabályozási módot az összesített CPC pontszám alapján határozzuk meg. A szabályozás a tevékenységek szervezésének nélkülözhetetlen velejárója. A hatékony szabályozás gyakorlatilag a jövőbeni tevékenységek megtervezésének képességével egyenértékű. A szabályozás szintjét befolyásolja az ember által érzékelt háttérösszefüggés/kontextus, a cselekvések közötti összefüggések ismerete, valamint azok az elvárások, amelyeket a helyzet minőségének javításával kapcsolatban támasztanak. A Kontextus-hangsúlyú Szabályozási Modell (COCOM) négy lehetséges szabályozási módot foglal magában:

1. Vegyes/kevert /összetett szabályozás
2. Alkalomszerű szabályozás
3. Taktikai szabályozás
4. Stratégiai szabályozás

2. 2. 3. A HCR módszer [27]

Human Cognitive Reliability - Emberi Kognitív Megbízhatóság

1984-ben Hannamann közzétette HCR (Human Cognitive Reliability- Emberi Kognitív Megbízhatóság) módszerét, amelyben az emberi megbízhatóság fő meghatározója a teljesítendő feladatok időigénye.

A HCR módszer eseményfák használatán alapul. A kezdeti eseményből kiindulva a lehetséges döntéseket veszi sorra. Az operátori beavatkozásokat a Rasmussen-féle [28] három kategóriába sorolja:

1. rutin alapú (skill-based) beavatkozás,
2. szabály alapú (rule-based) beavatkozás, valamint
3. tudás/ismeret alapú (knowledge-based) beavatkozás.

A végbemenő kognitív folyamatok és a beavatkozási lehetőségek függvényében többféleképpen is végződhetnek az események. A módszer az észlelés vagy az

információfeldolgozás lassúsága vagy elmaradása miatt kihagyott vagy későn végrehajtott beavatkozás valószínűségének kiszámítására alkalmas.

2. 2. 4. A HEART módszer [29]

Human Error Assessment and Reduction Technique, - Emberi Hibatényező Meghatározó és Csökkentő Módszer

A HEART módszert Williams fejlesztette ki, és ma ez a legismertebb és legelterjedtebb módszer az Egyesült Királyságban, amelynek alkalmazhatóságát validációs gyakorlatokkal sikerült igazolni [30]. A módszer algoritmusai hasonlóak a THERP-hez (2.2.7.), de annál rugalmasabb és gyorsabb, viszont a THERP- módszerrel kapott eredmények a tapasztalatok szerint megbízhatóbbak. Elsősorban a THERP-módszert ellenőrző „screening technikának” tartják. A HEART módszert először 1985-ben, egy konferencia-kiadványban vázolta fel Williams. A módszer részletesebb leírása további kiadványokban található meg [31]. A HEART gyors és egyszerű módszer az emberi hiba kockázatának számszerűsítésére. Általános módszer, amely bármely olyan területen alkalmazható, ahol az emberi megbízhatóság szerepet kap.

A módszer néhány elfogadott előfeltételen alapszik, amelyek szerint:

1. Az emberi megbízhatóság alapvetően az elvégzendő feladat általános természetétől függ.
2. Ideális feltételek mellett ez a megbízhatósági szint konzisztensen leírható valószínűségi határokon belüli névleges valószínűségi értékkel.
3. Mivel ideális feltételek nem minden körülmények között léteznek, a becsült emberi megbízhatóság annak a függvényében csökken, hogy milyen mértékben jelentkeznek az úgynevezett hibát okozó feltételek (Error Producing Conditions-EPCs).

A HEART a következő folyamatokon keresztül megy végbe:

1. a feladatok általános kategóriákba sorolása (a HEART módszer 9 általános kategóriát használ, ezek mindegyikéhez meghatározott névleges emberi hibavalószínűség, azaz HEP tartozik)
2. hibát okozó feltételek ellenőrzése, amelyek hatással vannak a hiba valószínűségére (a módszer 38-féle ilyen feltételt használ, mindegyikhez adott egy maximum érték, amellyel a névleges HEP megszorozható)
3. a hatásarányok meghatározása a hibát okozó feltételekre (minden egyes EPC-t súlyozni kell egy 0 és 1 közötti, úgynevezett hatásarányal, azaz APOA-val, amelyet az elemzést végző személy határoz meg)
4. a feladat emberi hibavalószínűségének meghatározása.

2. 2. 5. A HERMES módszer [32]

Human Error Risk Management for Engineering Systems – mérnöki rendszerek humán kockázatkezelési módszere

A HERMES-t Cacciabue ajánlotta már 1996-ban [33], kettős célból: egyfelől iránymutatás legyen az egyes specifikus problémákkal kapcsolatos lényeges emberi tényezők kiválasztására, másrészt a lehetséges módszereket és modelleket, illetve ezek ötvözetét alkalmazza az emberi kockázat kezelésére.

A HERMES módszer szerint az emberi tényezőnek a tervezési- és biztonsági elemzésekben betöltött kritikus szerepét az automatizálás egyre szélesebb körben elterjedt használata határozza meg, valamint az, hogy az automatizálás ilyen módon komoly hatást gyakorol az emberi hibára. Az automatizálás javítja a rutinműveletek teljesítésének minőségét, célja a munkaterhek csökkentése, és a legtöbb emberi hibát szerencsésen redukálja a viselkedés szintjére. Mindazonáltal, az automatizálás olyan kognitív hibák sokaságát hozta magával, amelyek kölcsönösen hatással vannak egymásra bizonyos szociotechnikai feltételekkel. Ilyen feltételek többek között az oktatás és a gyakorlat, a fizikai környezet vagy a csapatmunka feltételei. A tervezési és biztonsági elemzésekkel kapcsolatos, az emberi tényezővel összefüggő másik releváns tényező annak a felismerése, hogy teljesen „emberi-hiba mentes” rendszer (erőmű) nem létezik. Bármely technológiai rendszer természetéből adódóan magában hordja az emberi hiba lehetőségét. Ezért egy rendszer biztonsági szintjének növelése csak akkor lehetséges, ha a legteljesebb mértékben kiaknázzuk mind az emberi képességekben, mind az automatizálásban rejlő lehetőségeket. Ez a folyamat az Emberi Hiba Kezelés (Human Error Management-HEM), amely az emberi hibák megelőzésére, a hibák javítására, és azon hibák következményeinek mérséklésére szolgál, amelyek megtörténnek és javításuk nem lehetséges.

A HERMES módszer, más módszerekkel összehasonlítva, nagyobb hangsúlyt fektet az okok feltérképezésére. Más módszerek jobban koncentrálnak a számszerűsítés lehetőségeire, és kevesebb figyelmet fordítanak a megfigyelhető emberi viselkedés mélyebb okaira és következményeire. A HERMES módszer viszont célzottan figyeli az emberi tevékenység mögött húzódó kognitív folyamatokat. A HERMES metodológiája négy forrásból ered.

Az első Hollnagel és Reason kontextuális kontroll elméletére és az emberi hibázással kapcsolatos tételekre épülő kognitív modell felállítása. A második a hibás viselkedés osztályozása. A harmadik forrás a terv gyakorlati reakcióinak modellje. A negyedik forrás a kognitív modellek és az események dinamikus fejlődését ellenőrző egységek közti interakció létrehozásának módszere.

A HERMES módszer főbb lépései:

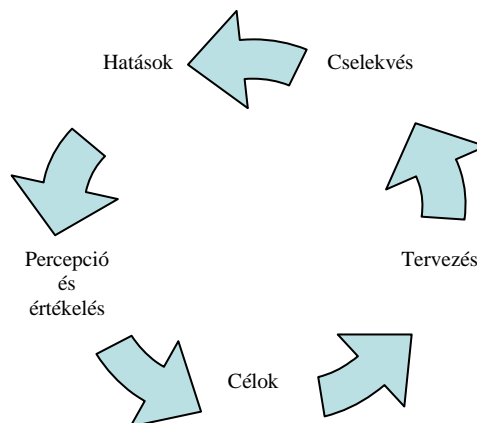
1. Szociális-technikai/szociotechnikai összefüggések és elméleti háttér elemzése
2. Ok-okozati összefüggések elemzése, baleset/üzemzavar vizsgálat
3. A feladat kezdeti- és peremfeltételeinek meghatározása
4. Nem kívánt következmény- és veszélyelemzés
5. Az eredményességet befolyásoló tényezők: kognitív összefüggések és a lehetséges hiba mechanizmusok részletes elemzése
6. Emberi hibatényező-valószínűség meghatározása

A HERMES keretrendszert szolgáltat az emberi hibatényezőt elemző módszerek és modellek integrált alkalmazására, így kiválóan alkalmas komplex rendszerek átfogó vizsgálatára. Útmutatást nyújt az adott problémához legmegfelelőbb „emberi tényező”-megközelítés kiválasztására és alkalmazására, beleértve az adatok meghatározását és azonosítását is. Ezen kívül a lehetséges módszerek, modellek és technikák egyedi összeállítását is lehetővé teszi, ami a szerző szerint a modern HRA központi gondolata. A HERMES módszer széleskörben alkalmazást nyert közlekedési rendszerek vizsgálatánál [34].

2. 2. 6. A THEA módszer

Technique for Human Error Assessment - Emberi Hiba Értékelési Technika

A THEA módszert 1997-ben fejlesztette ki Fields, Harrison és Wright [35]. Célja, hogy segítséget nyújtson az interaktív rendszerek tervezőinek az interakció hibáinak, illetve azon emberi hibáknak az előrejelzésében, amelyek problémát okozhatnak, amikor a tervek bevezetésre kerülnek. A módszert arra tervezték, hogy a fejlesztési életciklus korai szakaszában használják, felismerve azt a tényt, hogy a biztonsággal, használhatósággal és működéssel kapcsolatos kivitelezési koncepciók és elvárások egyre inkább előtérbe kerülnek. Az emberi megbízhatóság hibáit a THEA módszer úgy tekinti, mint kognitív folyamatok hibáit, és így Norman emberi információ-feldolgozás végrehajtás-értékelési modelljét [36] alkalmazza. A THEA módszer Norman ciklikus modelljének öt komponensét (2. ábra) használja alapként, hogy meghatározza azokat a módokat, ahogyan az emberi információ-átadásban hiba történhet.



2. ábra. Norman ciklikus modelljének öt komponense

A THEA a rendszer működésével kapcsolatba hozható kognitív komponensek mindegyikének véghezviteléről szóló kérdőívet tartalmaz. Célja, hogy előre jelezze, hol történhetnek olyan kognitív hibák, amelyek viselkedési hibákat okozhatnak. A THEA az alkotók szándéka szerint a fejlesztési folyamat korai szakaszában használható, előzetes tudást nem igénylő módszer. Ez a két szempont Baines szerint is elsődleges a rendszertervezés folyamatában [37].

A THEA módszer fő célja nem a hibavalószínűségek kvantitatív becslési folyamatában nyújtott támogatás, hanem a tervezők segítése a hibák korai figyelembevétele mellett szóló érvelésükben, valamint, hogy ezen érvelések számításba vehetők legyenek akkor, amikor a tervezés még alakítható annyira, hogy a módosítás túl nagy idő-, illetve költségráfordítást ne igényeljen.

A THEA folyamat főbb lépései a következők:

1. Rendszerleírás
2. Forgatókönyv-leírás és feladatleírás
3. Hibaelemzés és emberi kogníciómodellezés
4. Hatáselemzés és tervezési iteráció

Az első lépés magában foglalja a tervezés alatt álló egység megismerését, és az új rendszer funkcionalitásának és interfészének meghatározott szempontok szerinti részletes leírását. A rendszerleírás foglalkozik azzal a kérdéssel is, hogy az adott egység és az alkalmazási tartomány többi rendszere hogyan hat egymásra.

A második lépés annak a feladatnak a megismerése, amelyre az adott rendszer alkalmazható. Szükséges egy reprezentatív mintavétel a rendszer alkalmazásaiból, amely az új tervekkel kapcsolatos elvárásokat alapozza meg, különös tekintettel az emberi hibából származó gyengeségekkel kapcsolatba hozható elvárásokra. Ezután történik a célok, a tervek és a tevékenységek által kifejezett operátori munka leírása.

A harmadik lépés azon hibás emberi cselekvések meghatározása és értelmezése, amelyek a rendszer működése alatt előfordulhatnak, akár a rendszer tervezésének eredményeként. A hibaelemzés kérdéseket tesz fel a forgatókönyvvel kapcsolatban, hogy felfedje azokat a tervezési területeket, ahol kognitív hibák fordulhatnak elő, valamint azt, hogy az ellenőrzés alatt álló feladatra vagy rendszerre milyen hatással lehetnek ezek a hibák. Több modell, elmélet és empirikus adatgyűjtés létezik az emberi tevékenységgel és az emberi hibával kapcsolatban, amelyek azért hasznosak, hogy könnyebben eldönthető legyen, hogy mely forgatókönyveket érdemes megvizsgálni, illetve, hogy egy adott forgatókönyv esetén hogyan cselekednek a résztvevők. A THEA módszer ebben a lépésben az emberi információfeldolgozás végrehajtási-értékelési modelljét alkalmazza. Ez segíthet megérteni a hibához vezető oki tényezőket.

A negyedik lépésben történik az emberi hibázás valószínűségének értékelése és a tervezésre vonatkozó következtetések megállapítása.

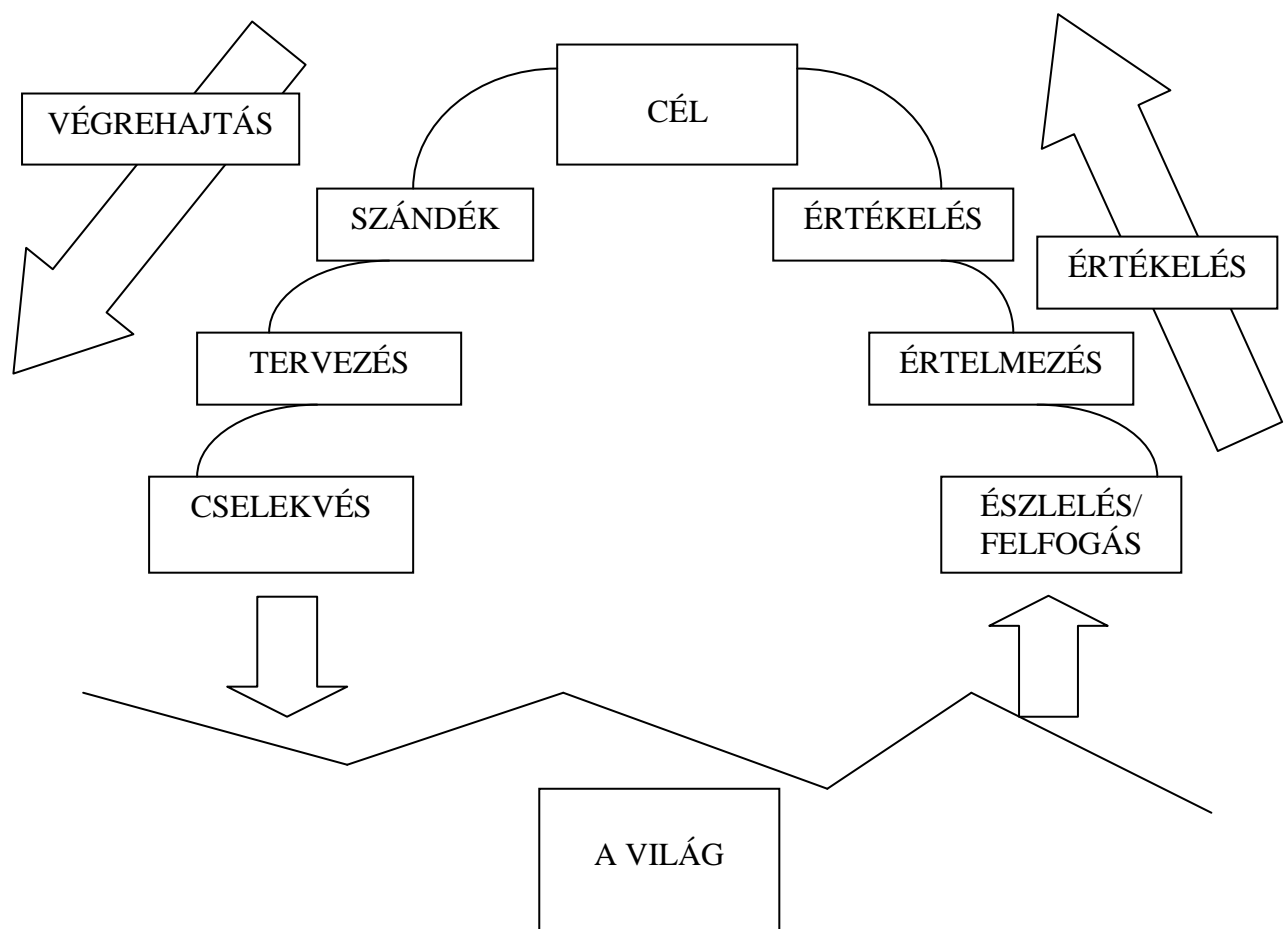
Az alábbiakban kiemelem a THEA módszer néhány lényeges, a módszert más módszerektől megkülönböztető szempontját.

A hibás operátori tevékenységek megértése

A hibaazonosítási folyamat az emberi viselkedés leírására szolgáló két elméleten alapszik. Egyfelől feltehető, hogy a cselekvések egy kognitív rendszerből származó viselkedés formájában merülnek fel, beleértve a belső kognitív folyamatokat, a munka céljait, interaktív rendszereket és egyéb emberi tényezőket. Másfelől viszont az emberi viselkedés leírható egyszerű fizikai (és feltehetően kognitív) cselekvések formájában, amelyeket megfigyelnek, vagy amelyek feltételezhetően végbemennek különösebb tekintet nélkül arra, hogy mely folyamatok, illetve mechanizmusok generálták őket. Mindkét elméletnek helye van a hibaelemzésben, és az emberi hiba természetét illetően különböző nézetekhez vezetnek. A két elmélet ötvözetét alkalmazza a THEA módszer.

A részletes Norman-modell (3. ábra)

A hibák tekinthetők a kognitív feldolgozás hibajelenségeiként. A Norman-féle modellben az emberi cselekvésnek két aspektusa van: a végrehajtás és az értékelés. A végrehajtás lépései a céltól indulnak, vagyis attól az állapottól, amelyet el kell érni. A cél lefordítható bizonyos cselekvések végrehajtására irányuló szándékká. A szándék belső parancsokká alakul, tervezéssé és olyan cselekvési folyamattá, amelyet véghez kell vinni ahhoz, hogy a szándéknak eleget tegyünk. Mindazonáltal semmi sem történik addig, amíg végre nem hajtjuk a folyamatot a „világ”-ban. Az értékelés a „világ” felfogásával kezdődik, amelyet elvárásaink szerint kell értelmezni, majd mind szándékainkra, mind céljainkra való tekintettel kell értékelni. A modell ciklikus, és kezdődhet a „világ” valamely feltételének észlelésével is. Ezt a modellt alkalmazva kognitív hibákat azonosíthatunk, vagy olyan lehetőségeket, amikor az emberi információfeldolgozásban olyan hiba történik, amely hibás viselkedéshez vezethet.



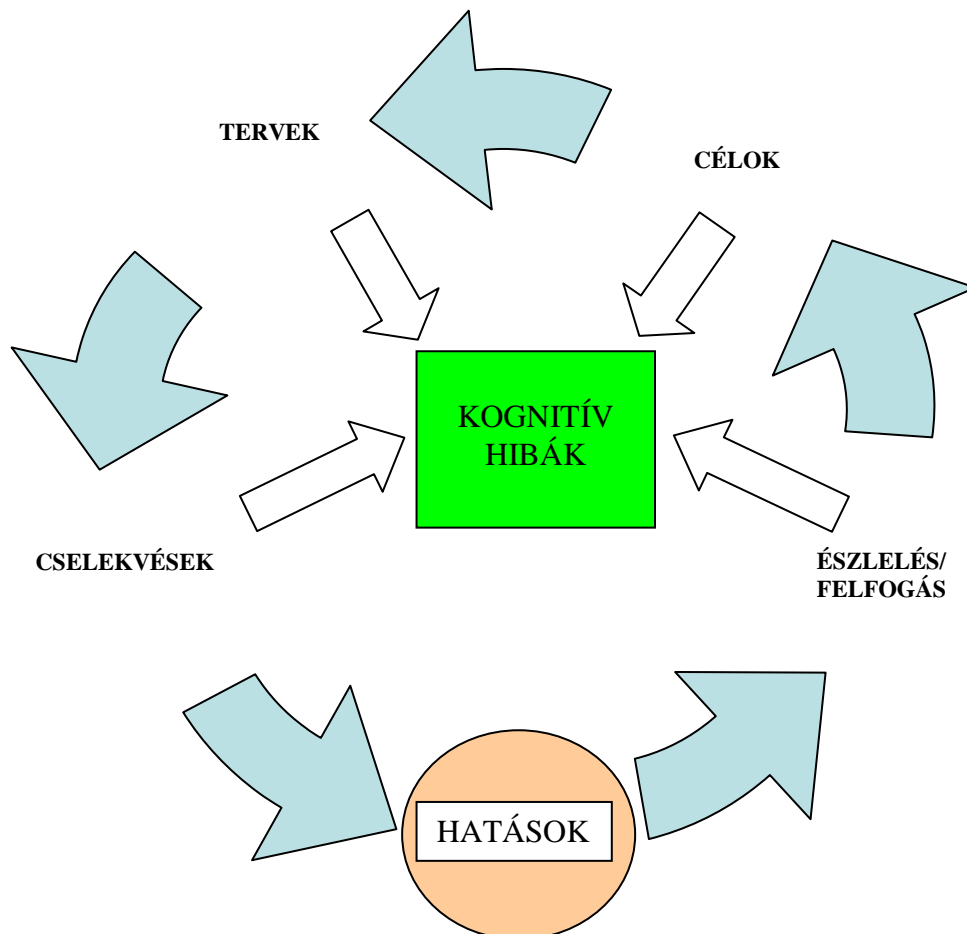
3. ábra. A részletes Norman-modell

A kognitív hibázás forrásai

Az emberi információfeldolgozás néhány lehetséges hibája az alábbiakban foglalható össze:

- A **cél** elindításának és aktiválásának problémái: nem megfelelő időben indított célok, rossz cél aktiválása, elvesztett célok.
- A **célok** önmagukban vett hibái: adott körülmények között nem elérhető célok, vagy egymásnak ellentmondó célok.
- Hibás **tervek**: olyan tervek, amelyek által nem érhető el a cél, vagy amelyek kivihetetlenek.
- Nem pontosan végrehajtott **cselekvések**: például kihagyások és elvételések, amikor a cselekvés kimarad, vagy végrehajtása helytelen.
- **Észlelési** hibák: egy cselekvés hatásának előrelátásában bekövetkező hiba, vagy valamely külső körülmény vagy esemény hatásának észlelésében bekövetkezett hiba.
- Az **észlelés** értelmezésének és értékelésének hibái: a megszerzett adatok helytelen értelmezése, a cél véghezvitele realizálásának hiánya.

Az észlelés, a célok, a tervek és a cselekvések a hatásokkal szintén ciklikus modellben képzelhetők el (4. ábra).



4. ábra. Az észlelés, a célok, a tervek, a cselekvések és a hatások ciklikus modellje

Az elvárt viselkedéstől való eltérés

A hibázás kognitív megközelítésének kulcsszavai a **hibás, helytelen, lehetetlen, nem pontos**, és hasonló kifejezések. A viselkedés szempontjából történő megközelítés esetén azonban a hibák megfogalmazása az előírt, illetve normál cselekvéssorozatokról történő eltérések által definiálható. Olyan kulcsszavak írják le a normál viselkedéstől történő eltérést, amelyeket legnagyobb részben az atomenergia iparban használnak, és amelyeket jól ismert módszerekben, mint például a HAZOP módszerben, alkalmaznak. Ilyen kulcsszavak:

-a **kihagyás** (amikor egy bizonyos cselekvést, vagy egy részfeladat cselekvéssorozatát nem sikerül végrehajtani),

-a **véghezvétel**, ami lehet **helytelen** (azaz megfelelő cselekvés vagy részfeladat helytelen véghezvitele), lehet **helyettesített** (azaz egy helyes cselekvés vagy adat helytelennel való felcserélése), és lehet **beillesztett** (azaz a tevékenységek folyamatába egy oda nem illő tevékenység beillesztése),

-a **sorozat** (azaz szükségtelen, bár helyes tevékenységek véghezvitele), valamint

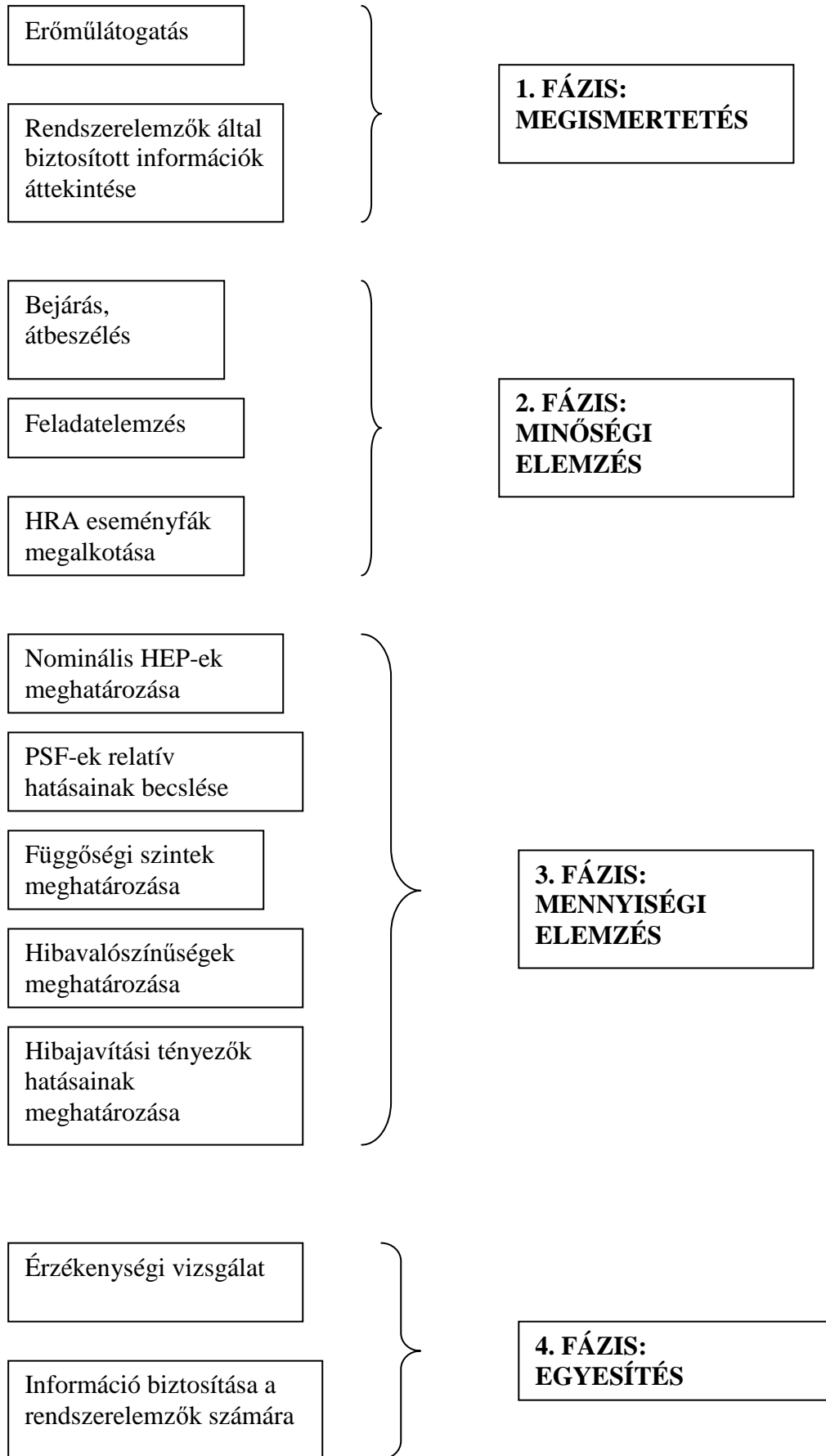
-a **mennyiségi hiba** (azaz helyes cselekvés kivitelezése valamely mennyiségi hibával: túl sok/túl kevés/ túl hosszú/túl rövid, és így tovább).

A felsorolt kifejezések halmaza azonban nyilvánvalóan nem teljes. Sőt, mi több, annak ellenére, hogy a definíciók egyértelműnek tűnnek, valójában nem mindig ez az eset áll fenn. Hollnagel példája alapján egy meghatározott időtartam alatt végrehajtandó tevékenység többféle módon is kimaradhat: teljesen kimaradhat, késhet, előbb megtörténhet, vagy más, helytelen tevékenységgel helyettesíthetik. Ez példa arra is, hogy egy véghezviteli hiba (helyettesítés) ténylegesen kizárhatja az elvárt esemény meghatározott időben történő végrehajtását. Ebben az esetben tehát egy véghezviteli hiba logikailag maga után von egy kihagyást, minthogy nem történhet véghezviteli hiba úgy, hogy egyidejűleg kihagyás ne történjen. Ezt a gondolatmenetet követve, eljuthatunk ahhoz a megállapításhoz, hogy magának a helyettesítésnek is számtalan lehetősége állhat fenn. Például egy konkrét adat bevitele hibásan helyettesíthető egy adatbeviteltől különböző tevékenységgel, egy nem megfelelő helyre történő adatbevitellel, vagy egy másik adat bevitelével. A THEA módszer, amely az emberi információfeldolgozás modelljén alapuló kérdések halmazára épül, ezeket a tényeket is figyelembe veszi. A célokkal, tervekkel és cselekvésekkel kapcsolatosan négy-négy kérdést, az észleléssel kapcsolatban pedig nyolc kérdést tartalmaz a THEA módszer kérdőíve.

2. 2. 7. A THERP módszer

Technique for Human Error Rate Prediction - Emberi Hibatényező Meghatározási Technika

Swain és Guttman 1983-ra dolgozta ki a THERP módszerét, amely emberi megbízhatóság becslésére alkalmas módszerek eseményfáinak használatán alapul [38]. Az emberi megbízhatóság becslésére alkalmas módszereknek a THERP szerinti négy fázisa az 5. ábrán látható:



5. ábra. A THERP módszer négy fázisa

A módszer mennyiségi elemzési folyamata a következőképpen foglalható össze:

1. A vizsgált feladatot/folyamatot elemi összetevőkre bontjuk.
2. Minden egyes feladatelemhez névleges emberi hibavalószínűséget rendelünk.
3. Meghatározzuk a teljesítményt befolyásoló tényezők (PSFs) hatásait.
4. Meghatározzuk a függőségi szinteket.
5. Kiszámítjuk a teljes feladatra vonatkozó emberi hibavalószínűséget. Meghatározzuk a hibajavítási tényezők hatásait.

A THERP módszer alkalmazásánál az emberi teljesítmény alapvető mutatója az **emberi hibavalószínűség** (HEP). A HEP az a valószínűség, hogy egy adott feladat végrehajtása során hiba következik be. A THERP tehát mennyiségi HRA módszernek tekinthető, de nem veszi figyelembe a kognitív eredetű hibákat, mint például az operátor szándékától függő hibákat stb. [39].

A THERP módszer egyik központi gondolata a **teljesítményt befolyásoló tényezők** (PSF-ek) részletes feltárása. A teljesítményt befolyásoló tényezők három csoportra bonthatók: külső tényezők, belső tényezők és stresszorok (bár a stressz természetesen belső tényező, de jelentősége miatt a többi belső tényezőtől elkülönítve szerepel). A PSF-ek összefoglalását a 4. táblázat szemlélteti (a teljesség igénye nélkül):

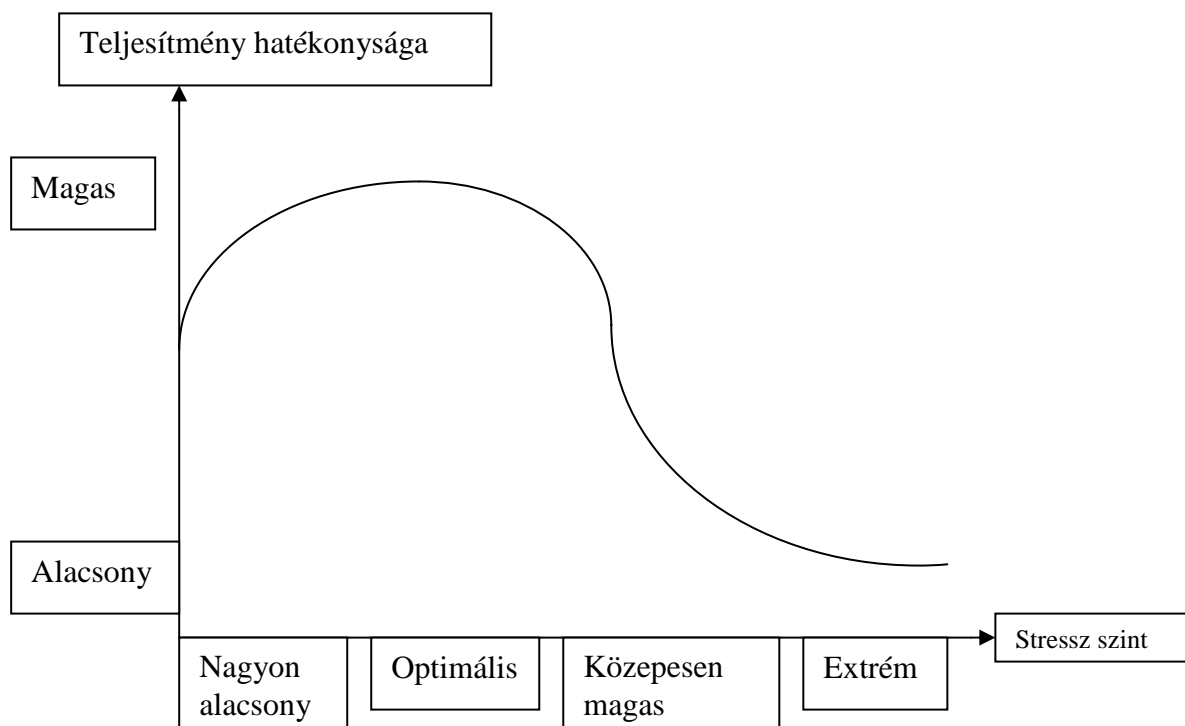
4. táblázat. A THERP módszer által alkalmazott teljesítményt befolyásoló tényezők

Külső PSF-ek			Stresszorok		Belső PSF-ek
<i>Helyzeti jellemzők (általános PSF-ek)</i>	<i>Munka és feladat utasítások (legfontosabb általános eszköz)</i>	<i>Feladat és eszközök jellemzői (feladatspecifikus)</i>	<i>Pszichológiai stresszorok, amelyek mentális stresszt okoznak</i>	<i>Pszichológiai stresszorok, amelyek fizikális stresszt okoznak</i>	<i>Organizmusos tényezők (külső és belső hatások következményeként kialakuló jellemzők)</i>
Szerkezeti jellegzetességek	Ügyrendi szabályok	Perceptuális (felfogási) elvárások	Hirtelen kezdés	Fáradtság	Előzetes tanulmányok/gyakorlat
Munkakörnyezet minősége (hőmérséklet, páratartalom, levegő minőség, sugárzás, fényviszonyok, zaj, rezgés, tisztaság)	Írott, vagy szóbeli kommunikáció	Motoros elvárások (sebesség, erő, precizitás)	Stressz időtartama	Stressz időtartama	Jelenlegi képességek és gyakorlat állapota
Munkaidő	Figyelmeztetés	Központi kijelző kapcsolatok	Feladatsebesség	Fájdalom vagy kényelmetlenség	Személyiség és intelligencia változók
Műszakváltás	Munkamódszerek	Előzetes elvárások	Feladatterhelés	Éhség vagy szomjúság	Motiváció és hozzáállás
Speciális felszerelések hozzáférhetősége	Erőmű politika	Értelmezés	Veszélyes kockázat	Hőmérsékleti szélsőségek	Érzelmi állapot
Munkaerő paraméterek		Döntéshozatal	Fenyegetettség (hibázás, állás elvesztése)	Sugárzás	Stressz (mentális vagy testi feszültség)
Szervezeti felépítés (hatáskör, felelősség, kommunikációs csatornák)		Komplexitás (információterhelés)	Monoton, degradáló vagy céltalan munka	Nehézségi erő szélsőségei	Az elvárt tevékenységi színvonal ismerete
Ellenőrzések		A feladat korlátozottsága	Hosszú, eseménytelen éberségi szakaszok	Légnyomási szélsőségek	Nemi különbségek
Elismerés, jutalmazás		Gyakoriság és ismétlődés	A munkateljesítménnyel kapcsolatos motivációs konfliktusok	Oxigénhiány	Fizikai erőnlét
		Kritikus jelenségek	Megerősítés hiánya	Vibrálás	Családi és egyéb külső személyek által okozott hatások
		Hosszú- és rövidtávú memória	Érzékeléskiesés	Beszűkült mozgástér	Csoportazonosítás
		Számolási elvárások	Figyelemelterelés (zaj, erős fény, mozgás, vibrálás, színek)	Fizikai tevékenység/testmozgás hiánya	
		Visszacsatolás (eredmények ismerete)	Ellentmondásos asszociációk	Cirkadián ritmus megszakitása	
		Dinamikus vagy lépésenkénti cselekvések			
		Csoportfelépítés és kommunikáció			
		Ember-gép kapcsolati tényezők			

Az alábbiakban részletesen ismertetek néhány, a matematikai modellezés szempontjából érdeklődésre számot tartó, a THERP módszerben is kiemelt PSF-et.

A PSF-ek közül az egyik legnagyobb hatású tényező a **stressz**. A THERP módszer a stresszt mint bizonyos stresszorokra irányuló emberi válaszlépést tekinti, és ezek alapján az emberi teljesítmény és a stressz összefüggése görbe vonalú függvényvel írható le, mégpedig úgy, hogy a túl kevés és a túl sok stressz egyaránt az optimálisnál gyengébb teljesítményhez vezethet. A stressz egy bizonyos közbülső szintje szükséges ahhoz, hogy megfelelő agyi aktivitási szint biztosítsa a jó teljesítményt. A stresszorok két csoportja a pszichológiai és a fiziológiai stresszorok. A megkülönböztetés sok esetben önkényes. A pszichológiai stresszorok közé sorolják a feladat sebességigényét, a monoton munkavégzést, vagy a veszélyhelyzeteket, míg a fiziológiai stresszorok között van a fáradtság, a kényelmetlenség vagy a túl magas hőmérséklet.

Katonai tanulmányok foglalkoznak a stressz és a fáradtság együttes hatásával is [40, 41]. Mivel a stressz és a fáradtság együttes hatása sok esetben emberi hiba forrása, ezért kiemelten kell foglalkozni a többműszakos munka hatásaival, különös tekintettel a cirkadián ritmusra. Nyilvánvaló összefüggés áll fenn az operátor egyéni cirkadián ritmusa és teljesítménye között. Részletesebben kifejtve összefüggés van az emberi hatékonyság, a napi ritmus és az alváshiány között. A többműszakos munkavégzés esetén általában sokkal alacsonyabb a teljesítmény szintje az éjszakai műszakban dolgozók esetén, azonban még ennél is alacsonyabb hatásfokú a váltott műszakban dolgozók teljesítménye [40]. A pszichés stressz és a teljesítmény hatékonysága közti összefüggés a THERP módszer szerint az alábbi hipotézis alapján vázolható fel, és a 6. ábrán látható:



6. ábra. A stressz és a teljesítmény hatékonysága közti összefüggés a THERP módszerben

Az emberi teljesítmény modellezése céljából a stressz-változó négy különböző értéket vehet fel: nagyon alacsony (nem megfelelő az agyi aktivitási szint), optimális, közepesen magas vagy szélsőségesen magas. Az első három kategória az adott feladatból eredő stressz szint lehet, míg a legmagasabb szint fenyegető/félelmi stresszt jelent, amely érzelmi reakciókat is kiválthat.

Egy másik lényeges PSF az úgynevezett **populációs sztereotípiák**. Ez a tényező arra vonatkozik, hogy a különböző kultúrákban a mindennapi élet folyamatában szinte automatikusan végzett tevékenységek különbözők lehetnek. Példaként említhető a kapcsolók állása és a bekapcsolt-kikapcsolt állapot, ami nem egységes az egész világon, vagy az olvasási irány, amely szintén eltérő lehet. Vészhelyzet esetén a tanult, jól elsajátított, de a populációs sztereotípiával ellenkező cselekvés helyett várhatóan a sztereotípiának megfelelő cselekvés lép életbe.

Az **összefüggés** (dependence) szintén fontos PSF. Két feladat összefüggő, ha az egyik feladatnál bekövetkező hiba valószínűségét befolyásolja az, hogy a másik feladatban történt-e hiba vagy nem. Teljes összefüggés áll fenn, amennyiben az egyik feladatnál fellépő hiba biztosan maga után vonja a másik feladatnál fellépő hibát, az egyik feladat sikeres végrehajtása pedig a másik feladat sikeres végrehajtását. Zéró-összefüggés/függetlenség áll fenn két feladat között, ha az egyik feladat sikerének, illetve hibájának valószínűsége változatlan, függetlenül attól, hogy a másik feladat végrehajtása sikeres vagy hibás. A teljes összefüggés és a függetlenség között kontinuum számosságú lehetséges összefüggési szint képzelhető el. A THERP módszer ezeket a szinteket öt kategóriába sorolja: függetlenség, mérsékelt összefüggés, közepes összefüggés, erős összefüggés és teljes összefüggés.

2. 3. Az emberi tényező egy-egy aspektusának modellezése

Az alábbiakban ismertetek néhány olyan, az emberi tényezővel kapcsolatos állítást, amelyek nem teljes HRA módszerek, azonban a HRA módszerekbe beépíthető, általában pszichológiai alapokra épülő, matematikailag modellezhető összefüggések.

2. 3. 1. Kockázatperspektíva-hatás

Az emberek magasabb valószínűséget tulajdonítanak azoknak az eseményeknek, amelyek könnyebben felidézhetők vagy elképzelhetők. Az időben közelebbi események könnyebben felidézhetők, mint a távoliak, ezért ezeknek nagyobb valószínűséget szoktak tulajdonítani. Tehát az emberek úgy viselkednek, mintha perspektívában észlelnék a kockázatot: az időben közeli nagyobbak, a távoli kisebbnek látszik. Ez az úgynevezett kockázatperspektíva-hatás [42].

2. 3. 2. A kockázat egyenletes eloszlásának preferenciája

Az egyenletesség a kockázat egyfajta naív „optimalizálását” jelenti. Az összkockázat nagyságának spontán megítélése során a valós szorzások helyett az ember inkább valamely, az összeadáshoz közelálló operációt alkalmaz a független részesemények valószínűségeinek összegzése érdekében [42].

2. 3. 3. A kockázat tartóssága és sűrűsége növeli a kockázat érzékelt nagyságát.

A kockázat emberi érzékelésében két ellentétes hatás érvényesül: mind a kockázat sűrűsége, mind a kockázat tartóssága növeli az összkockázat nagyságát. A sűrűség azt jelenti, hogy az összkockázat egyetlen, vagy nagyon kevés számú pontba van összesűrítve. A tartósság a kockázat fennállásának hosszabb tartamára vonatkozik [42].

2. 3. 4. SÖN-formula (Súlyozott Összeadás a Nevezőben)

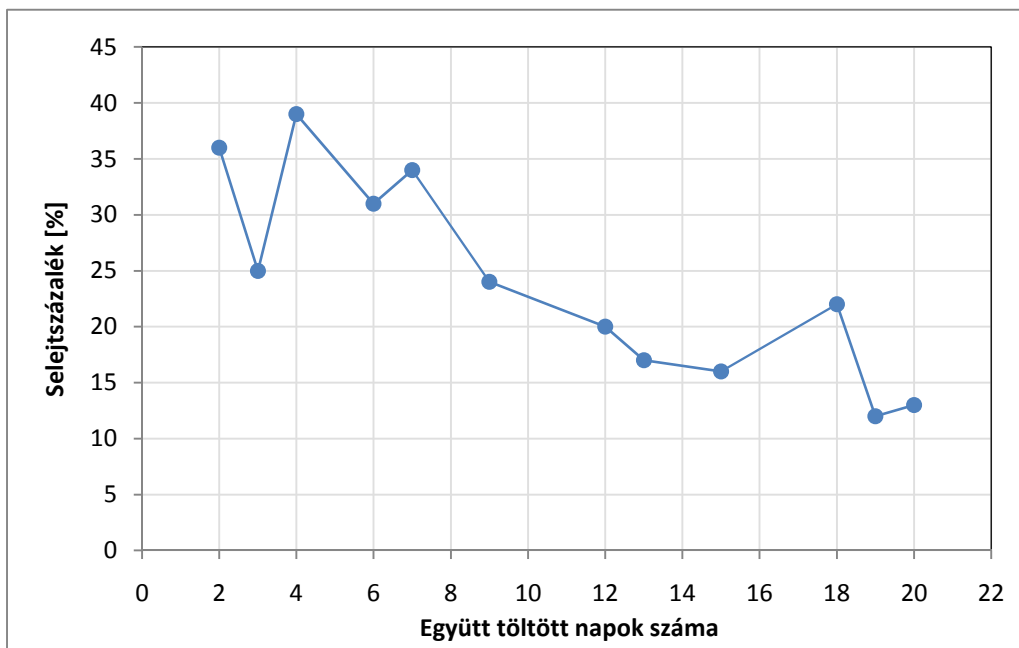
A SÖN-formula matematikai modell a kockázatos események szubjektív – vagyis ember által érzékelt– valószínűségére [42].

2. 3. 5. A kockázat emberi érzékelése a kockázatos eseményig eltelő időtartam érzékelésén alapul.

A kockázat emberi érzékelése akkor is a kockázatos eseményig eltelő időtartamnak logaritmikusan torzított időskálán való érzékelésén alapul, ha ezen esemény időegységre vonatkozó bekövetkezési valószínűsége az ember számára ismertnek tekinthető [43].

2. 3. 6. Csoportban dolgozó emberek selejtszázaléka az együtt töltött idő növekedésével csökkenő tendenciát mutat.

Egymáshoz érzelmileg pozitívan viszonyuló röntgenasszisztensnőkből új munkacsoportot hoztak létre. A csoport teljesítményét 20 napon keresztül vizsgálták, többféle szempont alapján [44]. 12 alkalommal feljegyezték a napi selejtszázalékot, és azt, hogy hány napja dolgozik együtt a csoport. Nyilvánvaló, hogy a selejtszázalék és az együtt töltött napok száma közül csak az utóbbi hat az előbbire, és nem az előbbi az utóbbira. Két változó közül általában az X -szel jelölt, x -tengelyen skálázott változó az elsődlegesebb, amelyik a hatást inkább okozza, mint az Y -nal jelölt, y -tengelyen skálázott változó. Így az X -szel jelölt változó ebben az esetben az együtt töltött napok száma, az Y változó pedig a selejtszázalék. Egy (X, Y) változópár negatív kapcsolatán azt értjük, hogy az X változó kis értékei nagy Y értékekkel, a nagy X értékek pedig kis Y értékekkel fordulnak elő. A diagramon a selejtszázalék az együtt töltött idő növekedésével viszonylag erős csökkenő tendenciát mutat, tehát az ábráról a két változó negatív kapcsolata olvasható le [45]. Ezt mutatja a 7. ábra.



7. ábra. Selejtszázalék az együtt töltött idő függvényében

2. 4. Részkövetkeztetések

A 2. fejezetben ismertettem az emberi megbízhatósági elemzés alapjait, és olyan módszereket mutattam be, amelyek az emberi tényező vizsgálatával foglalkoznak. Az emberi megbízhatósági elemzés alapjainak dolgozatomban szempontjából leglényegesebb pontja az emberi megbízhatóság számszerűsítése, amely magában foglalja az emberi hibaválósínűség (HEP) kiszámítását. A HEP meghatározásának a szakirodalomban felsorolt problémáit kiegészítettem a felelősség kérdésével.

Az emberi tényező vizsgálatával foglalkozó, a dolgozatban szereplő módszerek egy része teljes HRA módszer, amelyek mindegyikét olyan részletességgel mutattam be, ami a következő fejezetben tárgyalt matematikai modelljük megértését lehetővé teszi. A számos HRA módszer [46] közül olyanokat választottam ki, amelyek a matematikai modellezés szempontjából fontosak, illetve egymástól eltérőek. Ezek a módszerek: az ATHEANA, a CREAM, a HCR, a HEART, a HERMES, a THEA és a THERP. A módszerek egy részének az alkotók szándéka szerinti, nem titkolt célja, hogy a fejlesztési folyamat korai szakaszában is használható legyen. Ennek fontosságát az 1. fejezetben is kiemelttem. Véleményemet alátámasztja Baines és szerzőtársai megállapítása, amely szerint a rendszertervező mérnökök számára a megoldás kulcsa az, hogy egyre jobban megismerjék az emberi tényezőnek a mérnöki tervek kivitelezésére gyakorolt hatásait, már a tervezési folyamat elején [37].

A felsorolt HRA módszerek mindegyike valamilyen módon foglalkozik PSF típusú tényezőkkel (az ATHEANA módszernél EFC-Error Forcing Context „hiba-kikényszerítő helyzet”, a CREAM módszernél CPCs-Common Performace Conditions „a teljesítményt befolyásoló általános feltételek”, a HEART módszernél EPCs-Error Producing Conditions „hibát okozó feltételek”).

A PSF típusú tényezők elemzése a HRA módszerek fontos része, de az emberi tényező egy-egy aspektusának leírása önállóan is tekinthető matematikai modellnek, amely később beépíthető a HRA módszerbe.

A PSF típusú tényezők közül fontosnak tartom kiemelni a stressztényezőt. A THERP módszerre és az általam tanulmányozott, ezzel kapcsolatos katonai szakirodalomra hivatkozva az alábbi következtetésre jutottam: A stressz és a fáradtság együttes hatása bizonyos körülmények között nagyobb, mint az egyes hatások összege, míg más körülményeknél a két hatás kiegyenlítődése figyelhető meg. Nevezetesen:

1. Extrém nagy stressz szintnél a fáradtság (F) és a stressz szint (S) egyesített hatása ($(F+S)_h$) lényegesen nagyobb az egyes hatások összegénél. $(F+S)_h \gg F_h + S_h$
2. Nagyon alacsony és optimális stressz szintnél a fáradtság hatása egyenes arányban csökkenti a teljesítmény (T) hatékonysági szintjét. $T|_{F_h} = \frac{T}{F_h}$, ha $S_0 \leq S_h \leq S_{opt,max}$.
3. Mérsékelt magas stressz szint esetén azonban a stressznek és a fáradtságnak a teljesítményre gyakorolt hatása kiegyenlíti egymást. $T|(F+S)_h = T$.

A PSF típusú tényezők közül ugyancsak fontosnak tartottam kiemelni a populációs sztereotípiákat. A populációs sztereotípiákból adódó problémák ma még Magyarországon nem tartoznak a legsürgetőbben megoldandó feladatok közé. A munkaerőpiaci vándorlással azonban idővel e problémával is szembe kell majd nézni. Mivel veszélyhelyzet esetén a tanult viselkedés helyett a populációs sztereotípiák szerinti viselkedés következik be, ezért előrelátóan fel kell mérni, és tudatosítani kell azokat a szituációkat, munkaköröket, amelyekben az ilyen típusú hiba súlyos következményekkel járhat. Az ilyen munkakörök betöltésére csak a megfelelő populációs sztereotípiákkal rendelkező alany felvétele javasolt.

A HRA módszerekben nem, vagy csak egyes részleteiben, utalásszerűen tárgyalt, pszichológiai alapokon nyugvó, az emberi tényezővel kapcsolatos állítások közül kiemelendő, hogy egymáshoz érzelmileg pozitívan viszonyuló, csoportban dolgozó emberek selejtszázaléka az együtt töltött idő növekedésével csökkenő tendenciát mutat. Az emberi tényező modellezésénél tehát érdemes figyelembe venni érzelmi tényezőket is. A fentiek alapján javaslom annak vizsgálatát, hogy az operátori magánszféra és a tagok közötti szociális légkör minősége hogyan hat a teljesítményre. E problémával eddig egyetlen tanulmány sem foglalkozott teljes részletességgel.

3. A MEGLÉVŐ ÉS ÚJ MATEMATIKAI MODELLEK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA

Az emberi tényező modellezésével foglalkozó, az előző fejezetben ismertetett módszerek matematikai modelljeit mutatom be az alábbiakban. A matematikai modellek sok esetben csak az említés szintjén kerültek be a módszerek leírásába, ezekben az esetekben a részletes matematikai modellt is kidolgoztam.

A matematikai modellezés, mint olyan eszköz, amely segítséget nyújt a döntéshozatal folyamatában, a súlyos kockázatok számszerűsítésénél fontos helyet foglal el, amiről Seveso direktívák is rendelkeznek [47, 48]. A matematikai modellek általában három kategóriába sorolhatók: empirikus (elvi, tapasztalati) modellek, analitikus (egzakt) modellek és numerikus (közelítő) modellek. Ezek mindegyikére, illetve kevert kategóriákra látunk majd példákat az alábbiakban. A modellek alkalmazhatóságát elsősorban a technikai minőség és a felhasználhatóság jellemzi. A matematikai modellekkel kapcsolatban felmerülhet az a probléma, hogy a módszerek felhasználói nincsenek teljesen tisztában a modellek korlátaival, de sok esetben még a használatukkal sem. Képletesen szólva, sok esetben szakadék tátong a fejlesztés és a kutatás szíve, azaz a tudományos közösség és az ipar világa, azaz a felhasználók között. Ezért fontos olyan matematikai modellek alkalmazása, amelyek széles körben, – legalább lényegüket tekintve –, megérthetők. Szintén fontos szempont a felhasználóktól kapott visszajelzések értékelése, amelyek segítségével a modellek a jobb felhasználhatóság irányában fejleszthetők. Harmadrészt pedig, a lehetőségek szerint, referenciaként biztosítani kell a felhasználók részére a matematikai modell dokumentációját. A matematikai modellek kidolgozását a fenti három elv figyelembevételével tettem meg.

Az előző fejezetben ismertetett módszerek matematikai modelljei nagyon eltérőek. Ennek ellenére mindegyik módszer alkalmazhatósága gyakorlati bizonyítást nyert. Ezért választ keresek az alábbi kérdésekre: Van-e EGY olyan matematikai modell, amely jobb az összes többinél, és átfogóan alkalmazható az emberi tényező modellezésében? Ha nincs ilyen modell, mi annak az oka?

3. 1. Az ATHEANA módszer matematikai modellje

Az emberi hibaesemény számszerűsítése céljából az ATHEANA módszer alkalmazásakor a következő kérdésekre kell választ adni: [25]

1. Milyen veszélyes tevékenységek vezethetnek olyan emberi hibaeseményre, amelyek a valószínűsége kiszámítható?

A cselekvést befolyásoló tényezők (PSF-ek) és a tárgyi feltételek (erőművi környezet) egyesített hatásai olyan helyzetet teremtenek, amelyben valószínűsíthetően történik emberi hiba. Az ilyen helyzeteket nevezik „hiba-kikényszerítő helyzet”-nek (EFC). Az elnevezést illetően azonban a NUREG-1624, Revision 1 10. fejezete [49] azt állítja, hogy adott esetben egy-egy EFC annyira nem számottevő, hogy semmivel sem növeli a veszélyes cselekvés valószínűségét a rutin körülményekhez képest. Ezért tiszta és akkurátus terminológia alkalmazását javasolják, főként azokban az esetekben, amikor viselkedéstudományi fogalmak

használatát kell bevezetni a mérnöki gyakorlatba. Az EFC helyett is egy alternatív terminológia bevezetését javasolják.

2. Milyen hiba-kikényszerítő helyzet vezethet olyan veszélyes tevékenységhez, amely tartalmaz emberi hibaeseményt?

Minden egyes emberi hibaesemény több, különböző veszélyes tevékenységből származhat. A veszélyes tevékenységek viszont különböző okokból erednek, amelyeket hiba-kikényszerítő helyzetekben lehet jól megfigyelni. Ezek különböző hibamechanizmusokat képviselnek. A fentiek alapján az emberi hibaesemény valószínűségének meghatározására a következő képlet alkalmazható:

$$P(E|S) = \sum_{\substack{i \text{ veszélyes} \\ \text{tevékenység}}} \sum_{\substack{j \text{ hiba-kikényszerítő} \\ \text{helyzet}}} P_{ij}(S) \quad [3.1]$$

ahol $P(E/S)$ az emberi hibaesemény valószínűsége az S eseménysorozatnál, $P_{ij}(S)$ a j -dik hiba-kikényszerítő helyzetből eredő i -dik veszélyes tevékenység valószínűsége az S eseménysorozatnál. A releváns hiba-kikényszerítő helyzeteket úgy kell megválasztani, hogy azok egyaránt vezessenek a kezdeti hibához és helyreállításának hibájához is.

Az arra vonatkozó útmutatás, hogy hogyan lehet megbecsülni az emberi hibaesemény valószínűségeket, a fenti képlet háttérében álló gondolatmenetet követi. A becslés minden egyes veszélyes tevékenységhez tartozó hiba-kikényszerítő helyzet gyakoriságának meghatározására összpontosul. Ezután az összes hiba-kikényszerítő helyzet és veszélyes tevékenység gyakoriságát kell megszorozni a hiba-kikényszerítő helyzetekhez tartozó emberi hibavalószínűségekkel, és végül ezeket összeadni. A gyakoriság becslések biztosításmatematikai adatokon alapulnak, de emellett szinte biztosan szükség van szakértői véleményekre is. A potenciális aktuális adatforrások többek között a következők lehetnek:

- erőmű-specifikus és általános komponenshiba statisztikák (pl. NUREG/CR-3905 [50])
- erőmű-specifikus és általános működtetési szokások
- mérnöki számítások eredményei
- általános emberi teljesítmény adatok (pl. NUREG/CR-6208 [51]).

Szakértői véleményekre akkor van szükség, ha az aktuális adatok nem elérhetőek.

Az ATHEANA módszer kipróbálására a virginiai Surry Unit 1 erőmű SLOCA típusú (hűtőközegvesztéssel járó) balesetét választották [25]. Az 5. táblázat összefoglalja a hiba-kikényszerítő helyzeteknek a próbára vonatkozó emberi hibaeseményekkel kapcsolatos számadatait. A táblázat bemutatja a kezdeti eseményt, és az összes fent említett emberi hibaeseményre vonatkozó hiba-kikényszerítő helyzetet. A SLOCA gyakoriságát általános becsléssel határozták meg, a nyomástartó edény/térfogatkompenzátor megbízhatatlansági szintjének valószínűségét a nyitva maradt biztonsági szelep következtében létrejött SLOCA valószínűsége szerint becsülték meg (ez azt jelenti, hogy a SLOCA típusú események felét nyitva maradt biztonsági szelep okozza).

5. táblázat

	Kezdeti esemény	Hiba-kikényszerítő helyzet		
Esemény	SLOCA	Nyomástartó edény megbízhatatlansági szint	2/4 nyomásmérők magas nyomáson maradnak	Az operátorok nem javítják a hibát
Gyakoriság/ valószínűség	2×10^{-2} /év	0,5	0,01	0,15
Alap	Becslés	Becslés	Közelítő számítás	P (2.00-6.00) szellemi teljesítőképesség hiánya becslésére

Annak a valószínűségét, hogy a 2/4-es nyomásmérők magas nyomáson maradnak, a közös okú meghibásodások béta-faktor modellje [52] alapján számolták. A béta-faktor modell feltételez n egyforma alkatrészt λ_1 meghibásodási rátával, párhuzamos szerkezettel és a redundanciát áthidaló λ_2 meghibásodási rátájú azonos típusú meghibásodással. A rendszer megbízhatósági függvénye:

$$R_s = \left(1 - \left(1 - e^{-\lambda_1 t}\right)^n\right) \cdot e^{-\lambda_2 t} . \quad [3. 2]$$

A β faktor definíciója a következő:

$$\beta = \lambda_2 / (\lambda_1 + \lambda_2); 0 \leq \beta \leq 1, \text{ ahol } \lambda_1 + \lambda_2 = \lambda \text{ meghibásodási ráta. } [3. 3]$$

A $\beta=0$ esetben nincs azonos típusú meghibásodás, a $\beta=1$ esetben kizárólag azonos típusú meghibásodás fordul elő. Ez azt jelenti, hogy a β faktor annak a feltételes valószínűségét mutatja meg, hogy amennyiben egy alkatrész meghibásodik, a meghibásodás azonos típusú meghibásodás.

A hibavalószínűsége (P) vonatkozó képlet a következő:

$$P = \beta (1/2 \lambda t), \quad [3. 4]$$

az alábbi feltevésekkel: $\beta=0,1$; $\lambda = 10^{-5}$ hiba/h = 10^4 FIT; $t = 18$ hónap. Szűrési célból a $\beta=0,1$ érték általánosan használható. A meghibásodási ráta a Rosemount nyomás távadókkal [53] összefüggésbe hozható viszonylagosan magas értékre utal.

Végül, a szellemi teljesítőképesség hiányának valószínűsége megegyezik azzal a valószínűséggel, hogy az esemény hajnali 2 és 6 óra között történik.

Mivel a hiba-kikényszerítő helyzeteket reprezentáló összes elem együttesen meghatározza az emberi hibaeseményt, ezért az emberi hibaesemény valószínűsége megegyezik az 5. táblázat hiba-kikényszerítő helyzeteinek szorzatával, azaz:

$$P (\text{emberi hibaesemény}) = 0,5 \cdot 0,01 \cdot 0,15 = 7,5 \cdot 10^{-4} . \quad [3. 5]$$

Az emberi hibaesemények a SLOCA kezdeti eseménnyel együtt tartalmazzak egy PRA vágathalmazt. Más szóval, ha a SLOCA-ra és az új emberi hibaeseményekre vonatkozó vágathalmazt a PRA mennyiségi kódokkal generálták, akkor lesz egy vágathalmaz, amely

csak két alapeseményből áll: a SLOCA kezdeti eseményből és az emberi hibaeseményből. A zónaolvadás gyakorisága az új eseménysorozatnál, amely tartalmazza a SLOCA-t és az újonnan meghatározott emberi hibaeseményt, kiszámítható mint a 3. táblázatban szereplő összes érték szorzata, azaz:

$$\begin{aligned} \varphi(\text{zónaolvadás a SLOCA és az operátori hiba következtében}) &= \\ &= 1,5 \cdot 10^{-5}. \quad [3. 6] \end{aligned}$$

Ez a fenti becslés a módszer illusztrálását hivatott bemutatni. A gyakorlatban az események pontosabb modellezésére és az adatforrások átfogó elemzésére van szükség [54].

Mindazonáltal, már ez a számítás is azt a fontos ténytet látszik bizonyítani, hogy azok az emberi hibaesemények, amelyeknek nincs, vagy csak elenyésző szerepe van normál körülmények között, szignifikánssá válhatnak az erőmű kockázata szempontjából, ha megfelelő hiba-kikényszerítő helyzetbe helyezük őket.

3. 2. A CREAM módszer matematikai modellje

A CREAM módszer a számszerűsítést két úton közelíti meg. Az egyik az alpmódszer, a másik pedig a kibővített módszer. Az alpmódszer az emberi interakciók kezdeti szűrésén alapul. A szűrés vonatkozhat a feladat egészére is, vagy akár csak egy részfeladatra. A kibővített módszer az alpmódszer eredményeit felhasználva pontosítja, illetve részletezi a cselekvéseket, vagy a feladat egyes részfeladatait, ahol ez szükséges. A CREAM kibővített módszer matematikai alapjai a CREAM alpmódszerével megegyeznek (a kibővített módszer hasonlóképpen elemi eszközökre épül), ezért a kibővített módszer részletes tárgyalása jelen dolgozatnak nem célja. A CREAM alpmódszer elemi matematikai alapokra épül, és így a módszer leírásában a matematikai modell csak utalásszerűen jelenik meg. Fontosnak tartottam ezért a modell részletes matematikai kidolgozását, utalva a bevezetőben említett célokra.

3. 2. 1. CREAM-az alpmódszer [26]

Az alpmódszer a következő lépéseket követi:

1. Az elemzésre váró feladat vagy részfeladat leírása

Bármely emberi megbízhatósági elemzés első lépése a feladatelemzés, illetve szisztematikus feladateleírás. Ha a feladatot nem ismerjük, akkor az egyéni cselekvések következményeit sem tudjuk megbecsülni.

2. A teljesítményt befolyásoló általános feltételek (CPC-k) meghatározása

A CPC-eket a feladat egészének leírására használják, a leírás kifejezési módja az úgynevezett összetett CPC pontszám.

3. A lehetséges szabályozási, illetve beavatkozási mód meghatározása

A lehetséges szabályozási, illetve beavatkozási mód a Kontextus-hangsúlyú Szabályozási Modell (COCOM) központi gondolata. A lehetséges szabályozási, illetve beavatkozási módot az összetett CPC pontszám határozza meg.

3. 2. 2. Az eseménysorozat felépítése [26]

A módszer alkalmazásának első lépése az, hogy megnevezzük azokat az eseményeket, amelyekre a megbízhatósági elemzést el akarjuk végezni. Ez általában azoknak a potenciális rendszerhibáknak a felsorolását jelenti, amelyek elég súlyosak ahhoz, hogy érdemes legyen további tanulmányozásuk. Egy ilyen lista várható hibákat tartalmaz, és általában a teljes PSA, vagy más kockázatelemzés részének tekintik. A listából egyszerre egy eseményt vagy eseménysorozatot kell kiválasztani az elemzés szempontjából. Miután az eseménysorozat kiválasztása megtörtént, a CREAM alapmódszer első lépése a feladatelemzés.

Az eseménysorozat leírása szükséges a teljesítményt befolyásoló feltételek hatásának előrejelzéséhez. Hasonlóan szükség van az emberi teljesítménnyel kapcsolatos elvárások részletezésére is. Az így kapott eseménysorozat a szokásos módon, például az eseményfa módszerrel szemléltethető.

3. 2. 3. A teljesítményt befolyásoló általános feltételek (CPC-k) meghatározása és értékelése [26]

A hagyományos PSF-ek és a CPC-k között nyilvánvalóan szignifikáns átfedés van. Az átfedés oka az, hogy azon lényegesnek tartott feltételek száma, amelyek a teljesítményt befolyásolhatják, erősen behatárolt. A CPC-k és a PSF-ek közti lényeges különbség tehát nem is annyira a kategóriák elnevezésében és jelentéstartalmában van, hanem abban, hogy milyen módon használják őket. A legnagyobb különbség az, hogy a CPC-eket már az elemzés korai szakaszában is használják, ily módon a feladat egészét összefüggéseiben lehet jellemezni, és nem csak az egyes eseményeknek lehet egy-egy valószínűségértéket tulajdonítani.

A feltételek értékelése a 6. táblázatban látható.

A teljesítményt befolyásoló általános feltételek 6. táblázatbeli értékeit a teljesítmény megbízhatóságára gyakorolt potenciális hatásának kell megfeleltetni. Ez legegyszerűbben azon általános érvényű elv használatával valósítható meg, amely szerint az előnyös teljesítményi feltételek növelik, az előnytelen feltételek pedig vélhetően csökkentik a megbízhatóságot. A hozzárendelés bimodális eloszlást követ, ahol a szélsőértékek a következők lehetnek: „növeli a megbízhatóságot”, illetve „csökkenti a megbízhatóságot”. A közbülső részeknek a „nincs lényeges hatása a megbízhatóságra” érték felel meg, ami azt jelenti, hogy ezekben az esetekben nem mondható meg, hogy a hatás pozitív, vagy negatív lesz-e, ezenkívül a hatás maga is általában igen csekély.

A hozzárendeléseket a 7. táblázat mutatja be.

6. táblázat.

A teljesítményt befolyásoló általános feltételek	Minőségi szintek
Szervezeti feltétel	nagyon hatékony hatékony nem elég hatékony nem megfelelő
Munkakörülmények	előnyös megfelelő összeegyeztethetetlen
Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel	támogató megfelelő elfogadható alkalmatlan
Folyamatok és tervek hozzáférhetősége	alkalmas elfogadható alkalmatlan
Egyidejűleg végzendő feladatok száma	teherbírásnál kevesebb teherbírásnak megfelelő teherbírásnál több
Rendelkezésre álló idő	megfelelő időnként nem megfelelő folyamatosan nem megfelelő
Napszak és cirkadián ritmus	nappal (alkalmazkodóképes) éjszaka (rosszul alkalmazkodó)
Képzettségi és tapasztalati feltétel	megfelelő-tapasztalt megfelelő-kevésbé tapasztalt nem megfelelő
Személyzeti együttműködési feltétel	nagyon hatékony hatékony nem elég hatékony nem megfelelő

7. táblázat

A teljesítményt befolyásoló általános feltételek	Minőségi szintek	A teljesítmény megbízhatóságára gyakorolt hatás
Szervezeti feltétel	nagyon hatékony hatékony nem elég hatékony nem megfelelő	növeli nincs hatás csökkenti csökkenti
Munkakörülmények	előnyös megfelelő összeegyeztethetetlen	növeli nincs hatás csökkenti
Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel	támogató megfelelő elfogadható alkalmatlan	növeli nincs hatás nincs hatás csökkenti
Folyamatok és tervek hozzáférhetősége	alkalmas elfogadható alkalmatlan	növeli nincs hatás csökkenti
Egyidejűleg végzendő feladatok száma	teherbírásnál kevesebb teherbírásnak megfelelő teherbírásnál több	nincs hatás nincs hatás csökkenti
Rendelkezésre álló idő	megfelelő időnként nem megfelelő folyamatosan nem megfelelő	növeli nincs hatás csökkenti
Napszak és cirkadián ritmus	nappal (alkalmazkodóképes) éjszaka (rosszul alkalmazkodó)	nincs hatás csökkenti
Képzettségi és tapasztalati feltétel	megfelelő-tapasztalt megfelelő-kevésbé tapasztalt nem megfelelő	növeli nincs hatás csökkenti
Személyzeti együttműködési feltétel	nagyon hatékony hatékony nem elég hatékony nem megfelelő	növeli nincs hatás nincs hatás csökkenti

A továbbiakban azt kell megvizsgálni, hogy az egyes CPC-k hogyan függnek egymástól. Nyilvánvaló, hogy egyik CPC sem függ önmagától. Két különböző CPC függőségi viszonya háromféle lehet: direkt, neutrális, vagy inverz. Direkt a függőség, ha növekedés-növekedés, illetve csökkenés-csökkenés tapasztalható. Neutrális, ha nincs függőség, és inverz, ha növekedés-csökkenés, illetve csökkenés-növekedés tapasztalható.

A 8. táblázat a CPC-k közti függőségi viszonyokat mutatja be. A táblázat jelölései:

Direkt függőség: +

Inverz függőség: -

Neutrális függőség: nincs jelölés.

8. táblázat.

A teljesítményt befolyásoló általános feltételek (hány CPC-től függ)	Melyik CPC-től milyen módon függ?								
	Szervezeti feltétel	Munkakörülmények	Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel	Folyamatok és tervek hozzáférhetősége	Egyidejűleg végzendő feladatok száma	Rendelkezésre álló idő	Napszak és cirkadián ritmus	Képzettségi és tapasztalati feltétel	Személyzeti együttműködési feltétel
Szervezeti feltétel (0)									
Munkakörülmények (5)	+		+			+	+	+	
Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel (1)	+								
Folyamatok és tervek hozzáférhetősége (1)	+								
Egyidejűleg végzendő feladatok száma (3)		-	-	-					
Rendelkezésre álló idő (5 v. 6)		+	+	+	-		+		(+) a szerző maga sem tudja
Napszak és cirkadián ritmus (0)									
Képzettségi és tapasztalati feltétel (1)	+								
Személyzeti együttműködési feltétel (2)	+							+	

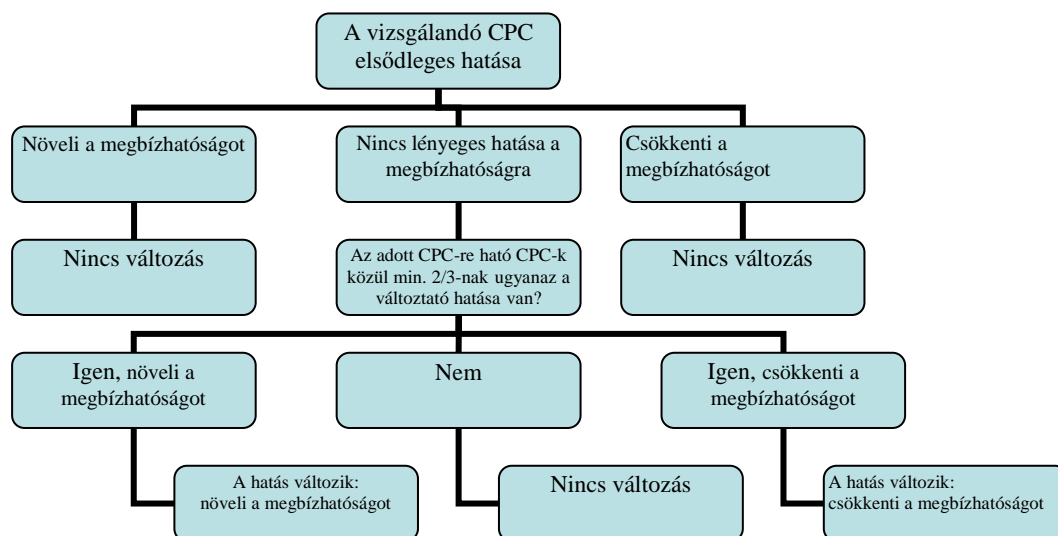
A fenti táblázatból is látható, hogy a CPC-k között csak négy olyan található, amely egynél több másik CPC-től függ, nevezetesen a munkakörülmények, az egyidejűleg végzendő feladatok száma, a rendelkezésre álló idő és a személyzeti együttműködési feltétel. A függőségek megállapításánál csak ezt a négy CPC-t kell figyelembe venni, abból az alapelvből kiindulva, hogy egyetlen CPC indirekt hatása nem változtathatja meg egy másik direkt hatását. Feltételezhető továbbá, hogy indirekt hatás csak akkor okozhat változást, ha az eredeti direkt hatás a „nincs lényeges hatása a megbízhatóságra” értéket kapta.

A 9. táblázat a függőség szempontjából vizsgálandó CPC-eket mutatja be.

9. táblázat.

CPC	Mely CPC-től függ				
Munkakörülmények	Szervezeti feltétel	Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel	Rendelkezésre álló idő	Napszak és cirkadián ritmus	Képzettségi és tapasztalati feltétel
Egyidejűleg végzendő feladatok száma	Munkakörülmények	Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel	Folyamatok és tervek hozzáférhetősége		
Rendelkezésre álló idő	Munkakörülmények	Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel	Folyamatok és tervek hozzáférhetősége	Egyidejűleg végzendő feladatok száma	Napszak és cirkadián ritmus
Személyzeti együttműködési feltétel	Szervezeti feltétel	Képzettségi és tapasztalati feltétel			

A teljesítmény megbízhatóságára gyakorolt hatásváltozását a függőségek alapján az alábbi egyszerű folyamattal lehet meghatározni:



8. ábra. A teljesítmény megbízhatóságára gyakorolt hatás változása

A következő lépés az úgynevezett összesített CPC érték megállapítása. Ez egyszerű számolással történik: össze kell számolni, hogy hány esetben fordult elő, hogy egy CPC (1) csökkenti a megbízhatóságot, (2) nincs lényeges hatása a megbízhatóságra, (3) növeli a megbízhatóságot. Ez a három érték számhármast alkot:

$$\left[\sum_{\text{csökkenti}}, \sum_{\text{nem lényeges}}, \sum_{\text{növeli}} \right].$$

A CREAM alapmódszer utolsó lépése az összesített CPC érték alapján a hibavalószínűségek és a lehetséges szabályozási, illetve beavatkozási módok meghatározása.

3. 2. 4. A lehetséges szabályozási, illetve beavatkozási mód meghatározása

A CREAM alapmódszer leírásában nem szerepel, de az összesített CPC érték kiszámításánál az elvileg lehetséges összes számhármast száma éppen az

$$x + y + z = n ; x, y, z, n \in \mathbb{N} \quad (x, y \text{ és } z \text{ sorrendje számít}) \quad [3. 7]$$

egyenlet $n = 9$ -re vonatkozó speciális esetének megoldásszáma.

A megoldások M számára vonatkozó általános képlet az

$$M = \sum_{i=1}^{n+1} i = \frac{(n+1)(n+2)}{2} \quad [3. 8]$$

formulával írható le.

Ez azt jelenti, hogy esetünkben elvileg 55-féle összesített CPC érték fordulhatna elő. A 7. számú táblázatban azonban láttuk, hogy az egyidejűleg végzendő feladatok száma, valamint a napszak és cirkadián ritmus nem veheti fel a „növeli a megbízhatóságot” hatást. Ezért az összesített CPC értékek tényleges száma 52 lehet. Ebből az 52-ből nyilvánvalóan a $[9, 0, 0]$ számhármast képviseli a legkevésbé kívánt értéket, míg a $[0, 2, 7]$ számhármast az ideális esetet reprezentálja. (Ez természetesen abban az esetben érvényes, ha az összes CPC-t azonos fontosságúnak tartjuk a teljesítmény megbízhatósága szempontjából.)

A lehetséges szabályozási módot az összesített CPC pontszám alapján határozzuk meg [26].

A szabályozás a tevékenységek szervezésének nélkülözhetetlen velejárója. A hatékony szabályozás gyakorlatilag a jövőbeni tevékenységek megtervezésének képességével egyenértékű. A szabályozás szintjét befolyásolja az ember által érzékelt háttérösszefüggés/kontextus, a cselekvések közötti összefüggések ismerete, valamint azok az elvárások, amelyeket a helyzet minőségének javításával kapcsolatban támasztanak. A Kontextus-hangsúlyú Szabályozási Modell négy lehetséges szabályozási módot foglal magában:

1. Vegyes/kevert /összetett szabályozás

Vegyes szabályozás esetén a soron következő tevékenység gyakorlatilag megjósolhatatlan, esetleges. A vegyes szabályozás olyan szituációt ír le, amelyben a gondolkodás nem, vagy csak alig játszik szerepet a teendők meghatározásánál. Tipikusan ez történik abban az esetben, amikor a feladat magas követelményeket támaszt, a helyzet maga ismeretlen, és kiszámíthatatlan változásokat mutat, amikor a gondolkodás megbénul és így a

helyzettudatosság teljes elvesztése áll fenn. A vegyes szabályozás extrém esete a pillanatnyi pánik.

2. Alkalomszerű szabályozás

Alkalomszerű szabályozás esetén a soron következő tevékenységet az aktuális kontextus kiugró eseményei határozzák meg, sokkal inkább, mint a tartós szándék, vagy célok. A személy tervezési illetve megelőző tevékenységet szinte alig végez, mivel valószínűsíthető, hogy a kontextus nem érhető tisztán, vagy a rendelkezésre álló idő korlátozott. Az ilyen helyzetekben a személy cselekvéseit vagy az interfész érzékelhető domináns tulajdonságai irányítják, vagy a gyakorlat és szokás alapján leggyakrabban használt lépéseket hajtja végre. Az eredmény sok esetben funkcionális rögzülés, azaz az elemeket csak a megszokott funkciókra tudja könnyen alkalmazni.

3. Taktikai szabályozás

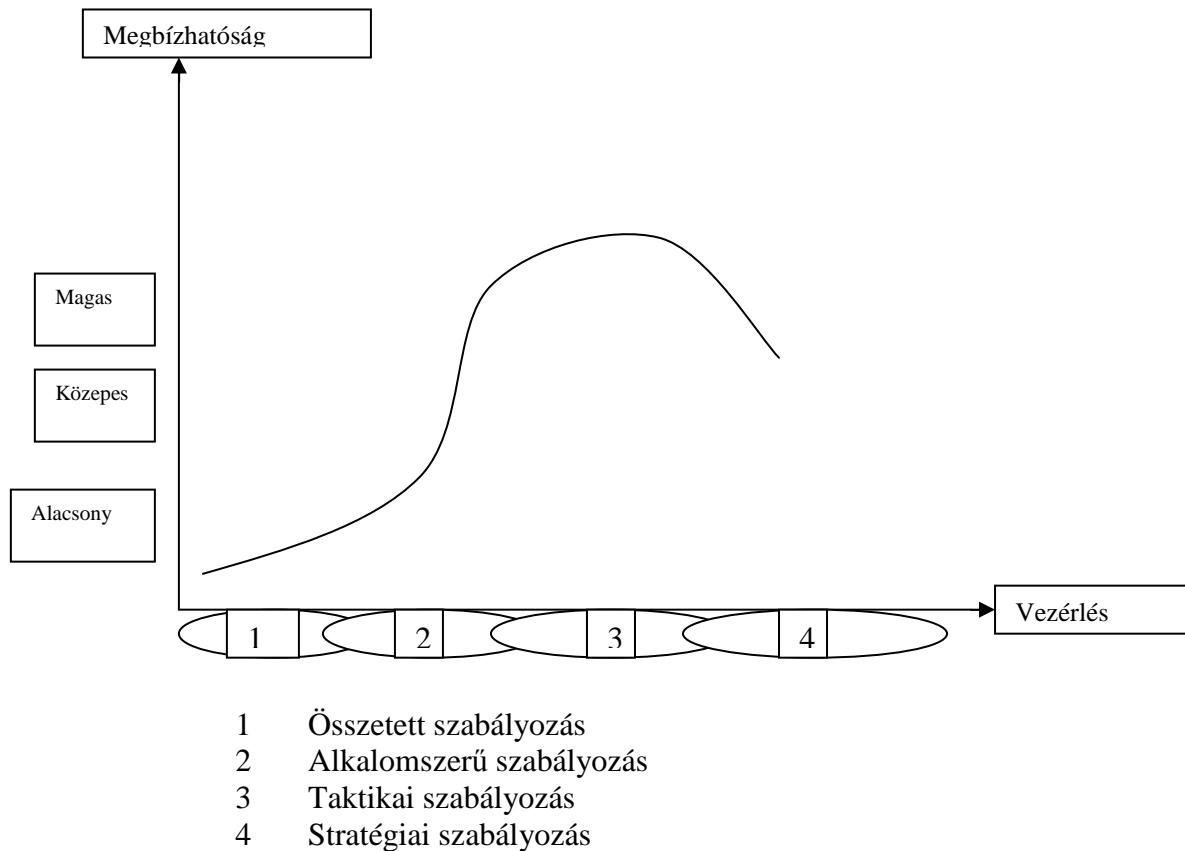
Taktikai szabályozás esetén a tevékenység tervezésen alapul, és ezért többé-kevésbé ismert folyamatokat vagy szabályokat követ. A tervezés mindazonáltal korlátozott hatáskörű, és a szükségletek, amelyeket figyelembe kell venni, ad hoc módon is felvetődhetnek. Ha az adott tervet gyakran használják, akkor a taktikai szabályozásnak megfelelő tevékenység olyan, mintha eljárási prototípuson alapulna. A gyakoriságot azonban a kontextus, vagy a tevékenység feltételeinek hasonlósága okozza, sokkal inkább, mint a tevékenység valamely természetes velejárója.

4. Stratégiai szabályozás

Stratégiai szabályozás esetén a személy átlátja a teljes kontextust, így szélesebb idősíkot képes áttekinteni és magasabb szintű feladatokra tud koncentrálni. A stratégiai mód hatékonyabb és erőteljesebb tevékenységet tesz lehetővé, és ezért ez tűnik olyan ideális lehetőségnek, amelyre érdemes törekedni. A stratégiai szabályozás elérése nyilvánvalóan függ a személy tudásától és képességeitől, vagyis kompetencia-szintjétől. A stratégiai szabályozási módban a feladat lépései közötti összefüggések (előfeltételek) fontosságát feltételezik, és a tervezés során ezeket számításba veszik.

A vezérlés modellezésének két fő aspektusát különbözteti meg a COCOM. Az egyik azoknak a feltételeknek a meghatározása, amelyek miatt a személy az egyik vezérlési módról a másikra vált. Szem előtt kell azonban tartani, hogy a négy vezérlési mód csupán négy pont egy kontinuum számosságú halmazban. A másik lényeges szempont egy adott vezérlési mód jellegzetes tevékenységével kapcsolatos: mi határozza meg, hogy hogyan választják és vizik véghez a cselekvéseket? Az első szempont azért fontos, hogy eldönthető legyen: az operátor megtartja, vagy elveszti-e a kontrollt. A második szempont annak a megítélésében fontos, hogy az operátor hogyan fog cselekedni, illetve az esetleges kontroll-vesztés után hogyan tudja visszaszerezni az uralmat a rendszer felett. Mindkét szempont pedig lényeges azért, mert ezek alapján következtethetünk a tevékenység megbízhatóságára, és annak a valószínűségére, hogy hiba történik-e.

A vezérlési mód és a megbízhatóság közötti összefüggés szemléltethető az alábbi ábrán:



9. ábra. A vezérlési mód és a megbízhatóság közötti összefüggés

Az ábráról leolvasható, hogy a tevékenység megbízhatósága hogyan változik a személy vezérlési szintjének megfelelően. Azokban az esetekben, amikor a vezérlés alacsony szinten van, mint az összetett, illetve az alkalomszerű módoknál, akkor a tevékenység megbízhatósági szintje is alacsony, mivel a hibázás valószínűsége nagy. Ebben az esetben hibázás alatt a cselekvési hibákat, valamint az inkább kognitív jellegű hibákat is értjük, mint például a helytelen megfigyelés vagy megállapítás. Amikor a vezérlés magasabb szintet ér el, a taktikai és stratégiai módoknál, a tevékenység megbízhatóságának szintje is ezzel párhuzamosan növekszik. Ennek az oka, hogy a megbízhatósági szint a stratégiai módban folyamatosan csökken, azon alapul, hogy ekkor már túl sok gondolkodás előzheti meg a cselekvést, és így az optimálisnál kisebb arányban jelenik meg a sima, rutin munkavégzés. Ily módon a vezérlési módoknak létezik egy irányadó aspektusa, abban az értelemben, hogy a taktikai mód az optimális.

Végül tekintsük át, hogy az összesített CPC pontszám hogyan határozza meg a vezérlési módokat, és milyen hibavalószínűségi értékek rendelhetők az egyes módokhoz. A CREAM alapszám leírásában csak a vegyes és a stratégiai szabályozásra vonatkozó hozzárendelések szerepelnek részletesen, a matematikai pontosság miatt ezért kidolgoztam a taktikai és az alkalomszerű szabályozásra vonatkozó hozzárendeléseket is, amelyekről a CREAM alapszám csak egy ábrát közöl.

Az összesített CPC pontszám a $[\sum_{csökkeneti}, \sum_{nem\ lényeges}, \sum_{növeli}]$ számhármasonak a végpontok közötti $([9, 0, 0] - legrosszabb, [0, 2, 7] - legjobb)$ összes lehetséges értékét felveszi. Hollnagel feltevése szerint a számhármason belül a $\sum_{nem\ lényeges}$ összetevő elhanyagolható. Így csak a $\sum_{csökkeneti}$ és a $\sum_{növeli}$ összetevőkkel kell foglalkozni. Ez nem csökkenti a lehetőségek számát (továbbra is 52), az összetevők számát viszont igen. Emiatt a CPC pontszámok fennmaradó lehetséges értékei síkbeli Descartes koordinátarendszerben ábrázolhatók. Ekkor a vezérlési módok ebben a rendszerben úgy definiálhatók mint területek, illetve szektorok.

A hozzárendelés a következő:

- Ha $\sum_{növeli} = 0$ és $\sum_{csökkeneti} > 5$, akkor a szabályozási mód: vegyes szabályozás.
- Ha $\sum_{csökkeneti} = 0$ és $\sum_{növeli} > 3$, akkor a szabályozási mód: stratégiai szabályozás.
- Ha $\sum_{csökkeneti} = 1$ és $\sum_{növeli} > 4$, akkor a szabályozási mód: stratégiai szabályozás.
- Ha $\sum_{csökkeneti} = 2$ és $\sum_{növeli} > 5$, akkor a szabályozási mód: stratégiai szabályozás.
- Ha $\sum_{csökkeneti} = 0$ és $\sum_{növeli} \leq 3$, akkor a szabályozási mód: taktikai szabályozás.
- Ha $\sum_{csökkeneti} = 1$ és $\sum_{növeli} \leq 4$, akkor a szabályozási mód: taktikai szabályozás.
- Ha $\sum_{csökkeneti} = 2$ és $\sum_{növeli} \leq 5$, akkor a szabályozási mód: taktikai szabályozás.
- Ha $\sum_{csökkeneti} = 3$ és $\sum_{növeli} > 1$, akkor a szabályozási mód: taktikai szabályozás.
- Ha $\sum_{csökkeneti} = 4$ és $\sum_{növeli} > 2$, akkor a szabályozási mód: taktikai szabályozás.
- Ha $\sum_{csökkeneti} = 5$ és $\sum_{növeli} > 3$, akkor a szabályozási mód: taktikai szabályozás.
- Ha $\sum_{növeli} = 0$ és $2 < \sum_{csökkeneti} < 6$, akkor a szabályozási mód: alkalomszerű szabályozás.
- Ha $\sum_{növeli} = 1$ és $2 < \sum_{csökkeneti}$, akkor a szabályozási mód: alkalomszerű szabályozás.
- Ha $\sum_{növeli} = 2$ és $3 < \sum_{csökkeneti}$, akkor a szabályozási mód: alkalomszerű szabályozás.
- Ha $\sum_{növeli} = 3$ és $4 < \sum_{csökkeneti}$, akkor a szabályozási mód: alkalomszerű szabályozás.

A legutolsó lépés a szabályozási módokhoz tartozó hibavalószínűségek meghatározása. Mivel a szabályozási módok száma négy, ezért a lehetséges hibavalószínűségi intervallumok száma is négyre csökkenthető. Az intervallumok átfedik egymást, ezért szükség esetén az intervallum középső értéke alkalmazható pontbecslésként. A rendelkezésre álló HRA irodalom alapján meghatározott hibavalószínűségi intervallumokat a 10. táblázatban láthatjuk:

10. táblázat

Szabályozási mód	Megbízhatósági intervallum (p: hibavalószínűség)
Stratégiai szabályozás	$0,5 \cdot 10^{-5} < p < 1,0 \cdot 10^{-2}$
Taktikai szabályozás	$1,0 \cdot 10^{-3} < p < 1,0 \cdot 10^{-1}$
Alkalomszerű szabályozás	$1,0 \cdot 10^{-2} < p < 0,5$
Vegyes szabályozás	$1,0 \cdot 10^{-1} < p < 1,0$

3. 2. 5. Egy feltételezett folyamat elemzése a CREAM alapszámítógéppel

A CREAM alapszámítógéppel részletes bemutatására tekintünk példaként a 11. táblázat szerinti elsődleges hatásokkal meghatározott CPC-eket magában foglaló folyamatot:

11. táblázat.

A teljesítményt befolyásoló általános feltételek	A teljesítmény megbízhatóságára gyakorolt elsődleges hatás
Szervezeti feltétel	csökkenti a megbízhatóságot
Munkakörülmények	nincs lényeges hatása a megbízhatóságra
Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel	csökkenti a megbízhatóságot
Folyamatok és tervek hozzáférhetősége	növeli a megbízhatóságot
Egyidejűleg végzendő feladatok száma	nincs lényeges hatása a megbízhatóságra
Rendelkezésre álló idő	csökkenti a megbízhatóságot
Napszak és cirkadián ritmus	csökkenti a megbízhatóságot
Képzettségi és tapasztalati feltétel	nincs lényeges hatása a megbízhatóságra
Személyzeti együttműködési feltétel	csökkenti a megbízhatóságot

A munkakörülmények elsődleges hatása: nincs lényeges hatása a megbízhatóságra. Ezért vizsgálni kell a rá ható CPC-k elsődleges hatását:

Szervezeti feltétel: csökkenti a megbízhatóságot.

Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel: csökkenti a megbízhatóságot.

Rendelkezésre álló idő: csökkenti a megbízhatóságot.

Napszak és cirkadián ritmus: csökkenti a megbízhatóságot.

Képzettségi és tapasztalati feltétel: nincs lényeges hatása a megbízhatóságra.

Itt 4/5 csökkenti a megbízhatóságot, ezért a munkakörülmények hatása változik: csökkenti a megbízhatóságot.

Az egyidejűleg végzendő feladatok száma elsődleges hatása: nincs lényeges hatása a megbízhatóságra. Ezért vizsgálni kell a rá ható CPC-k elsődleges hatását:

Munkakörülmények: nincs lényeges hatása a megbízhatóságra.

Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel: csökkenti a megbízhatóságot.

Folyamatok és tervek hozzáférhetősége: növeli a megbízhatóságot.

Itt nincs 2/3, ami egyformán változtatná a hatást, ezért az egyidejűleg végzendő feladatok száma hatása nem változik.

A rendelkezésre álló idő elsődleges hatása: csökkenti a megbízhatóságot, ezért nem hatnak rá az indirekt hatások. Hatása változatlanul marad: csökkenti a megbízhatóságot.

Végül, a személyzeti együttműködési feltétel elsődleges hatása: csökkenti a megbízhatóságot, ezért nem hatnak rá az indirekt hatások. Hatása változatlanul marad: csökkenti a megbízhatóságot.

Így, a függőségeket is figyelembe véve a hatások a 12. táblázat adatai szerint alakulnak:

12. táblázat

A teljesítményt befolyásoló általános feltételek	A teljesítmény megbízhatóságára gyakorolt elsődleges hatás
Szervezeti feltétel	csökkenti a megbízhatóságot
Munkakörülmények	csökkenti a megbízhatóságot
Ember-gép kapcsolati és üzemeltetési támogatási feltétel	csökkenti a megbízhatóságot
Folyamatok és tervek hozzáférhetősége	növeli a megbízhatóságot
Egyidejűleg végzendő feladatok száma	nincs lényeges hatása a megbízhatóságra
Rendelkezésre álló idő	csökkenti a megbízhatóságot
Napszak és cirkadián ritmus	csökkenti a megbízhatóságot
Képzettségi és tapasztalati feltétel	nincs lényeges hatása a megbízhatóságra
Személyzeti együttműködési feltétel	csökkenti a megbízhatóságot

A következő lépés az összesített CPC érték megállapítása. Példánkban az összesített CPC érték: [6, 2, 1].

Mivel itt $\sum_{\text{növeli}} = 1$ és $2 < \sum_{\text{csökkenti}}$, ezért a szabályozási mód: alkalomszerű szabályozás, a hibavalószínűségi intervallum pedig: $1,0 \cdot 10^{-2} < p < 0,5$.

Alkalomszerű szabályozás esetén a személy tervezési illetve megelőző tevékenységet szinte alig végez, mivel valószínűsíthető, hogy a kontextus nem érthető tisztán, vagy a rendelkezésre álló idő korlátozott. Az ilyen helyzetekben a személy cselekvéseit vagy az interfész érzékelhető domináns tulajdonságai irányítják, vagy a gyakorlat és szokás alapján leggyakrabban használt lépéseket hajtja végre. Ez könnyen vezethet valós balesethez. Ha az elemzést megelőző jelleggel végzik, akkor kiderül, hogy ebben az esetben olyan hibavalószínűség szerepel, ami nem hagyható figyelmen kívül. Ezért az ilyen jellegű szituációkat további részletekbe menően elemezni kell, és lehetőség szerint a feltételek olyan mértékű javítását kell elérni, amely tolerálható hibavalószínűséget eredményez.

3. 3. A HCR módszer matematikai modellje

A HCR módszer számszerűsítése:

A kihagyott vagy későn végrehajtott beavatkozás valószínűségértékei a HCR módszer szerint három, időtől függő megbízhatósági görbéből származtathatók, amelyek a beavatkozáshoz szükséges összes idő medián értékével normált idő függvényében fejezhetők ki. E görbék matematikailag egy három paraméterrel jellemezhető Weibull-eloszlásnak felelnek meg.

A ξ valószínűségi változó háromparaméteres Weibull-eloszlású sűrűségfüggvénye a következő:

$$f(x; \beta, \alpha, \theta) = \begin{cases} \frac{\beta}{\alpha} \left(\frac{x-\theta}{\alpha} \right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{x-\theta}{\alpha} \right)^\beta}, & \text{ha } x \geq \theta \\ 0, & \text{ha } x < \theta \end{cases}, \quad [3.9]$$

ahol $\beta > 0$ az alakparaméter,
 $\alpha > 0$ a skálaparaméter és
 θ az elhelyezkedési paraméter.

A Weibull-eloszlás F eloszlásfüggvénye, amely megkapható mint $\int_{-\infty}^x f(t) dt$, az alábbi képlettel írható le:

$$F(x; \beta, \alpha, \theta) = \begin{cases} 1 - e^{-\left(\frac{x-\theta}{\alpha} \right)^\beta}, & \text{ha } x \geq \theta \\ 0, & \text{ha } x < \theta \end{cases}. \quad [3.10]$$

Jelölje most T azt az időt, amelyet a személyzet a feladat végrehajtására fordít, $T_{1/2}$ a ráfordított idő mediánját, β_j alakparaméter, $c_{\theta j}$ elhelyezkedési paraméter, és $c_{\alpha j}$ skálaparaméter pedig a j -dik gondolati feldolgozással/beavatkozással kapcsolatos együttthatót ($j=1, 2, 3$), a 13. táblázat szerint:

13. táblázat

j	Rasmussen-féle kategória
1	rutin alapú
2	szabály alapú
3	ismeret alapú

J. Rasmussen jól ismert és gyakran alkalmazott modelljében [28] a legalacsonyabb szint a rutin alapú viselkedés (skill-based behaviour), amelynél az ingerekre történő azonnali válaszadás a jellemző. A középső szint a szabály alapú viselkedés (rule-based behaviour), ami előírt utasítások sorozatának alkalmazását jelenti. A legmagasabb szint a kognitív viselkedés: az operátor, mielőtt bármit tenne, értékeli a helyzetet. A helyzet értékelése az emberi elme problémamegoldó képessége szerint történik, és azon a mély tudáson alapul, amely az emberi ellenőrzés alatt tartott rendszer hibaállapotaira, helyreállítási lehetőségeire és egyéb fontos tulajdonságaira vonatkozik. Ez az a képesség, amely miatt feltételezhető, hogy az ember az, aki helyállhat előre nem látható helyzetekben. Ez a képesség nem helyettesíthető automatizált rendszerekkel, amelyek az ember helyettesítését általában alacsonyabb döntési szinteken oldják meg. A döntéshozást segítő tervezhető szakértői rendszerek, azonban még a legkifinomultabb számítógépes rendszerek sem hagyhatók emberi felügyelet nélkül. Ez azt is jelenti, hogy az újabb fejlesztésekkel az operátor szerepe egyre inkább a tudás alapú viselkedés (knowledge based behaviour) felé tolódik el.

Az eloszlásfüggvény definíciója alapján

$$F(T) = P(\xi < T), \quad [3. 11]$$

azaz az eloszlásfüggvény helyettesítési értéke a T helyen megmutatja annak a valószínűségét, hogy a személyzet T -nél kevesebb idő alatt hajtja végre a beavatkozást. Így annak a valószínűsége, hogy T vagy T -nél több idő kell a feladat végrehajtásához (vagyis T idő alatt nem sikerül végrehajtani):

$$P(\xi \geq T) = 1 - F(T). \quad [3. 12]$$

Ezek alapján az emberi hiba valószínűsége (HEP), vagyis, hogy a személyzet nem hajtja végre a szükséges beavatkozást a rendelkezésre álló T időn belül:

$$HEP = e^{-\left(\frac{\frac{T}{T_{1/2}} - c_{\gamma j}}{c_{\mu j}}\right)^{\beta_j}}. \quad [3. 13]$$

Szimulátor-adatok alapján meghatározták a β_j , $c_{\gamma j}$, és $c_{\mu j}$ paramétereket [55].

Ezen értékek alapján az alábbi összefüggéseket állapítottam meg a paraméterekre:

Alakparaméter: $\beta_j = 0,1j^2 - 0,6j + 1,7$

Elhelyezkedési paraméter: $c_{\gamma j} = -0,1j + 0, \quad j=1, 2, 3 \quad [3. 14]$

Skálaparaméter: $c_{\mu j} = 0,19j + 0,22$

Az elhelyezkedési és a skálaparaméter tehát lineáris összefüggést mutat a mentális feldolgozás tekintetében.

A feladat végrehajtására fordított idő mediánjának értéke PSF-ekkel javítható, mivel a modell szerint a teljesítményt befolyásoló tényezők a végrehajtáshoz szükséges idő mediánjára hatnak. A módosító értékeket mutatja a 14. táblázat [56]:

14. táblázat

PSF	Jelölés	Szintek	Értékek
Operátor gyakorlottsága	K_1	Jól képzett	-0,22
		Közepesen gyakorlott	0
		Tapasztalatlan	0,44
Stressz szint	K_2	Nagyon veszélyes helyzet	0,44
		Veszélyes helyzet	0,28
		Veszélytelen, de aktív	0
		Alacsony aktivitás	0,28
HMI (Ember-gép kapcsolat) minősége	K_3	Kitűnő	-0,22
		Jó	0
		Közepes	0,44
		Gyenge	0,78
		Nagyon gyenge	0,92

A beavatkozáshoz szükséges idő névleges mediánja az alábbi képlet szerint javítható a fenti tényezőkkel:

$$T_{jav} = T_{1/2} (1+K_1)(1+K_2)(1+K_3) \quad [3. 15]$$

Így az emberi hibavalószínűsége vonatkozó javított képlet a következő:

$$HEP = e^{-\left(\frac{\frac{T}{T_{jav}} - c_{\gamma j}}{c_{\mu j}}\right)^{\beta_j}} \quad [3. 16]$$

3. 4. A HEART módszer matematikai modellje

A HEART gyors és egyszerű módszer az emberi hiba kockázatának számszerűsítésére. Általános módszer, amely bármely olyan területen alkalmazható, ahol az emberi megbízhatóság szerepet kap.

A HEART módszer feladatközpontú megközelítés, amely hibavalószínűségi adatbázisokat használ fel, és egy kiválasztott általános feladatra, valamint súlyozott hibát-eredményező-feltételekre vonatkozó egyszerű algebrai képletek használatán alapszik.

A módszer elfogadott előfeltételei közül a matematikai modellezés szempontjából a következők a legfontosabbak: Ideális feltételek mellett a megbízhatósági szint konzisztensen leírható valószínűségi határokon belüli névleges valószínűségi értékkel. Mivel ideális feltételek nem minden körülmények között léteznek, a becsült emberi megbízhatóság annak a

függvényében csökken, hogy milyen mértékben jelentkeznek az úgynevezett Hibát Okozó Feltételek (EPC-k).

A HEART a következő folyamatokon keresztül megy végbe [57]:

1. A feladatok általános kategóriákba sorolása (9 általános kategóriát használ a HEART módszer, ezek mindegyikéhez meghatározott névleges emberi hibavalószínűség, azaz HEP tartozik).
2. A hibát okozó feltételek (EPC-k) ellenőrzése, amelyek hatással vannak a hiba valószínűségére (a módszer 38-féle ilyen feltételt használ, mindegyikhez adott egy maximum érték, amellyel a névleges HEP megszorozható).
3. A hatásarányok meghatározása a hibát okozó feltételekre. Minden egyes EPC-t súlyozni kell egy 0 és 1 közötti, úgynevezett hatásarányval (APOA), amelyet az elemzést végző személy határoz meg.
4. A feladat emberi hibavalószínűségének meghatározása.

A HEART módszer hozzáférhető irodalmában a hibavalószínűsége vonatkozó általános matematikai képlet nem szerepel. A fellelhető adatok és konkrét példa [57] alapján azonban megállapítható, hogy milyen algoritmust használ a HEART módszer a hibavalószínűség kiszámítására. A bevezetőben említett célok miatt szükségesnek tartom, hogy a matematikai modell általános képlet formájában elérhető legyen. Ezért a példa alapján kidolgoztam az emberi hibavalószínűségnek a HEART módszerben alkalmazott általános matematikai képletét, amely a következő:

$$\begin{aligned} & \text{Emberi hibavalószínűség} = \\ & = \min \left\{ 1; HEP \cdot \prod_{i=1}^{38} ((\max EPC_i - 1) \cdot APOA_i + 1) \right\} \quad [3. 17] \end{aligned}$$

Az általános kategóriák és a hozzájuk tartozó névleges hibavalószínűségek, valamint a hozzájuk tartozó 5. és 95. percentilisek a 15. táblázatban láthatók. Az „Ismeretlen” feladatnál például a névleges emberi hibavalószínűség 0,55, és valószínűtlen az, hogy a tényleges emberi hibavalószínűség alacsonyabb lenne 0,35-nél az esetek több mint 5 %-ában, valamint magasabb lenne 0,97-nél az esetek több mint 5 %-ában.

15. táblázat

FELADAT	LEÍRÁS	HEP (5. és 95. percentilisek)
Ismeretlen	Teljesen szokatlan, gyorsan végrehajtandó feladat, amelynek következményei nem ismertek	0,55 (0,35-0,97)
Változtatás folyamatok nélkül	A rendszer változtatása vagy helyreállítása új vagy eredeti állapotba, egyszeri kísérlettel, ellenőrzés és folyamatok nélkül	0,26 (0,14-0,42)
Komplex	Összetett feladat, amely magas szintű hozzáértést és képességeket követel meg	0,16 (0,12-0,28)
Egyszerű	Egyszerű, gyorsan és kevés odafigyeléssel végrehajtható feladat	0,09 (0,06-0,13)
Rutin feladat, kis hozzáértéssel végrehajtható	Rutin, gyakran alkalmazott, gyors feladat, amely nem igényel különös hozzáértést	0,02 (0,007-0,045)
Folyamat szerinti változtatás	A rendszer változtatása vagy helyreállítása új vagy eredeti állapotba, folyamatokat követve, ellenőrzéssel	0,003 (0,0008-0,007)
Ismert, begyakorlott	Teljesen ismerős, jól megtervezett, gyakran alkalmazott rutin feladat, amely óránként többször is bekövetkezik, a legmagasabb standard-eknek megfelelően végzik magasan kvalifikált és jól motivált, gyakorlott személyek, akik teljes mértékben tudatában vannak a hibák következményeinek, van idő a lehetséges hiba kijavítására, bár nincs szignifikáns segítő	0,0004 (0,00008-0,009)
Helyes reagálás	A rendszerutasításokra történő helyes reagálás, abban az esetben is, ha egy kibővített vagy automata ellenőrző rendszer a rendszer állapotának pontos értelmezését biztosítja	0,00002 (0,000006-0,0009)
Egyéb	Egyéb, a fentiek egyikébe sem illeszthető feladat	0,03 (0,008-0,1)

A hibát okozó feltételek és a hozzájuk tartozó maximális érték a 16. táblázatból leolvasható:

16. táblázat

EPC _i	HIBÁT OKOZÓ FELTÉTEL	LEÍRÁS	max. EPC _i
1	Ismeretlenség	Ismeretlen helyzet, amely potenciálisan fontos lehet, de csak ritkán fordul elő/új helyzet	17
2	Időhiány	A hiba észlelésére és javítására szánt idő kevés	11
3	Alacsony jel-zaj viszony (S/N)	A jel-zaj viszony alacsony	10
4	Információ figyelmen kívül hagyása	A túl könnyen elérhető információ vagy jelleg figyelmen kívül hagyása	9
5	Kompatibilitás hiánya	Nincs lehetőség térbeli, illetve gyakorlati információk olyan formájú közvetítésére, amelyet az operátorok könnyen feldolgoznának	8
6	Nem megfelelő modell	A tervező által elképzelt és az operátor modellje közti különbség	8
7	Visszafordíthatatlanság	Nincs nyilvánvaló visszafordítási módja egy akaratlan cselekvésnek	8
8	Csatorna túlterhelés	Egy csatorna kapacitásának túlterheltsége, különösen, ha nem redundáns információk folyamatos áramlása okozza	6
9	Módszer elfelejtése	Ha egy módszer helyett ellentétes filozófiájú másik módszer alkalmazására van szükség	6
10	Tudás átvitel	Ha szükség van speciális ismereteknek egyik feladatról a másira történő veszteségmentes átvitelére	5,5
11	Teljesítmény félreértése	Az elvárt teljesítményszintek félreértése	5
12	Kockázat téves felfogása	Különbség a felfogott és a valódi kockázat között	4
13	Elégtelen visszacsatolás	Elégtelen, félreérthető vagy nem összeillő rendszer visszacsatolása	4
14	Elégtelen utasítás	Egy tervezett cselekvésnek nincs világos, egyenes és időszerű megerősítése a rendszer azon részéből, amelyre irányítást kell gyakorolni	4
15	Gyakorlatlanság	Az operátor gyakorlatlansága (pl. frissen kvalifikált, de nem szakértő)	3
16	Kimerült információ	Személy-személy interakció / folyamatok által közvetített gyengült minőségű információ	3
17	Ellenőrzés hiánya	A kimeneteknek nincs vagy elégtelen a független ellenőrzése vagy tesztelése	3
18	Célellentét	Az azonnali és a hosszú távú célok közti ellentét	2,5
19	Nincs változékonyság	Az igazoló ellenőrzésekhez nincs változékonyság információ	2,5
20	Képzettségi problémák	A személy képzettsége és a feladat elvárásainak megfelelő képzettségi szint közti eltérés	2
21	Veszélyes ösztönzés	Ösztönzés más, veszélyesebb folyamatok alkalmazására	2
22	Testmozgás hiánya	Kevés lehetőség szellemi és fizikai gyakorlatokra a munkakör közvetlen keretein kívül	1,8
23	Megbízhatatlan műszerek	Nem megbízható műszerezettség	1,6
24	Képességet meghaladó ítélet	Az operátor képességeit meghaladó abszolút ítéletek meghozatalának szükséges volta	1,6
25	Nem világos kiosztás	A rendeltetés és a felelősség kiosztása nem világos	1,6
26	Fejlődés követése	Nincs nyilvánvaló módja a fejlődés követésének egy adott tevékenység alatt	1,4
27	Fizikális képesség	Fennáll annak a veszélye, hogy a véges fizikális képességeket túllépik	1,4
28	Értelmetlen feladat	Kevés, vagy nincs valódi jelentése a feladatnak	1,4
29	Érzelmi stressz	Magas szintű érzelmi stressz	1,3
30	Egészségügyi problémák	Az alkalmazottak közti bizonyított egészségügyi problémák (különösen a láz)	1,2
31	Alacsony morál	Alacsony munkamorál	1,2
32	Következetlenség	A kijelzők és folyamatok jelentésének következetlensége	1,2
33	Rossz környezet	Rossz vagy ellenséges munkakörnyezet (75 % alatti egészséget vagy életet fenyegető veszéllyel)	1,15
34	Kis terhelés	Elhúzódó inaktivitás, vagy gyakran ismétlődő félórás alacsony mentális megterhelésű ciklusok	1,1
35	Alvás megszakítása	A normális munka-alvás ciklus megszakítása	1,1
36	Feladat ütemezése	A feladat átütemezése mások beavatkozása miatt	1,06
37	Létszám feletti	A feladat normális és kielégítő elvégzéséhez szükséges csoportlétszám feletti tagok jelenléte	1,03
38	Kor	Az észlelési feladatokat végrehajtó személyzet kora	1,02

3. 5. A HERMES módszer matematikai modellje

A HERMES módszer matematikai modellje gyakorlatilag megegyezik a későbbiekben tárgyalt THERP módszer matematikai modelljével.

3. 6. A THEA módszer matematikai modellje

A THEA módszer és a számszerűsítés

A THEA módszer elsődleges eredménye az, hogy olyan, a tervezéssel és a működéssel kapcsolatos problématerületeket tár fel, amelyek interakciós hibákat okozhatnak. Ez segítheti a tervezőket abban, hogy már a tervezési folyamat elején figyelembe vehessék a hibázási lehetőségeket, mielőtt kivihetetlené vagy megfizethetetlené válna a hosszú távú dizájnváltoztatás vagy rövidebb távon a korlátozások végrehajtása.

Más kockázatértékelési módszerektől (mint például a HAZOP) eltérően a THEA módszer nem azonosítja a kockázatokat önmagukban, hanem inkább azokat az oki tényezőket határozza meg, amelyek hozzájárulnak a kockázathoz. Ezért a THEA módszer nem tartalmaz a hibás emberi cselekvésekre vonatkozó számszerűsített valószínűségi becsléseket, ami azonban nem jelenti azt, hogy olyan esetekben is elutasítja a kiegészítő számszerűsítést, amikor az valójában hasznos vagy szükséges lehet. Több esettanulmányban szerepelt például a THEA módszer a HEART módszer mennyiségi becsléseivel kiegészítve [57].

Mivel a HEART módszer feladatközpontú megközelítés, amely hibavalószínűségi adatbázisokat használ fel, és egy kiválasztott általános feladatra, valamint súlyozott „hibát okozó feltételekre” vonatkozó egyszerű algebrai képletek használatán alapszik, ezért a HEART módszert lehet jól használni a THEA kvalitatív kiegészítéseként. Amikor egy számadat helyessége kétséges, feltehetőek az alábbi kérdések.

- Lehetséges-e, hogy nem megfelelő általános feladatot választottunk?
- Helytelenül választottuk-e a hibát okozó feltételeket?
- Aránytalanul súlyoztuk-e a hibát okozó feltételeket?

Ilyen módon a feltevések, akár kvalitatív, akár kvantitatív jellegűek, kritizálhatók, és szükség esetén korrigálhatóak is. Az HEART vagy ahhoz hasonló módszer kiegészítő használata azért előnyös, mert az összes résztvevő fél számára azonnal megérthető, és így az emberi megbízhatósági becslésekre vonatkozó párbeszéd egy módja lehet.

A THEA módszer alkotóinak meglátása szerint a számok hasznosnak bizonyulhatnak, de fontos, hogy tisztán lássuk, milyen szándékkal alkalmazzuk őket. Azt is világossá kell tenni, hogy a számok kinek a számára és mit képviselnek. Például a hagyományos mérnöki szemlélet szerint a számok valós valószínűségek értékei, amelyek aritmetikai eszközökkel kezelhetők. A THEA módszer szerzőinek tapasztalata alapján azonban a számok a kockázatok széles körét reprezentálják, és inkább jelzésértékűek lehetnek a problémák megtárgyalása során. Ez azt jelenti, hogy a számszerűsítés nem objektív igazságként, hanem sokkal inkább a párbeszéd kiinduló pontjaként kezelhető. A kvalitatív és kvantitatív becslések kimenetele látszólag különböző lehet, valójában azonban a kvalitatív és kvantitatív megközelítés úgy tekinthető, mint ugyanazon érme két oldala. Hollnagel megállapítása szerint számszerűsítés csak abban az esetben alkalmazható, ha a pontos azonosítás és leírás már megtörtént. A leírás szükségképpen kvalitatív jellegű. A kvantitás csak olyan valaminek a mennyisége lehet, amit már megelőzően leírásnak vetettek alá [26].

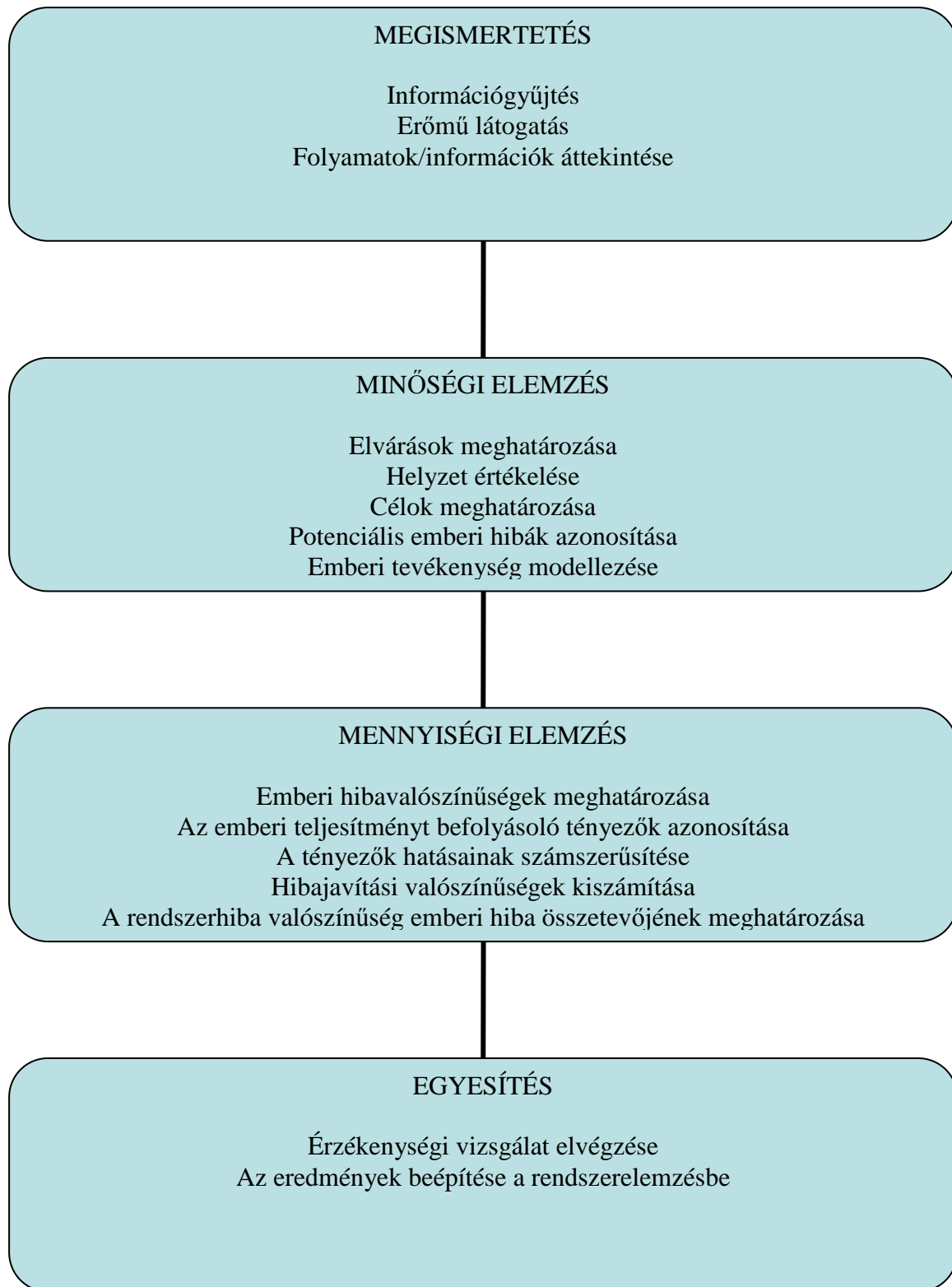
Bár vannak érvek, amelyek mellett szólnak, hogy például egy PSA elemzés feltételeinek támogatásához és kielégítéséhez szükséges a számszerűsített megközelítés, a THEA alkotói szerint bizonytalan hogy ez a megközelítés milyen mértékben – ha egyáltalán – fedí a valóságot. Minden kvantitatív módszer végső soron egy kvalitatív leírason és egy mögöttes modellen alapszik. Ebből az következik, hogy ha a leírás akár egyetlen lépése is hiányzik, akkor a számszerűsített elemzés kimenetele szükségszerűen nem lehet teljes, függetlenül attól, hogy a számszerűsítésre szolgáló folyamat esetleg szinte tökéletesen kifinomult [58].

3. 7. A THERP módszer matematikai modellje

3. 7. 1. A THERP módszer részletes mennyiségi elemzése

A THERP módszer részletes mennyiségi elemzésének négy fázisa közül jelen dolgozat szempontjából a harmadik fázis, vagyis a számszerűsítés a leglényegesebb (10. ábra).

A számszerűsítés magában foglalja a második fázisban megalkotott modell minden egyes rendszerkimenetelének valószínűségi megközelítését. Más szavakkal, a modellben felsorolt emberi hibák mindegyikére valószínűségi becslést ad az elemzés. Ezek a becslések alapulhatnak adatbázisokon, szakértői becsléseken, vagy hasonló rendszerek létező adatainak extrapolációján. Minden egyes olyan tényező hatásait, amelyek megváltoztathatják az azonosított emberi hibák valószínűségét, szintén számszerűsíteni kell, a lehetséges hibajavító tényezők valószínűségével együtt. Végül, a számszerűsített modellt kell alkalmazni a rendszerhiba definiálásához, vagyis az emberi hibaösszetevő valószínűségét kell meghatározni a rendszerhiba valószínűségében.



10. ábra. A THERP módszer részletes mennyiségi elemzése

3. 7. 2. Emberi hibavalószínűség típusok

A THERP módszer alkalmazásánál az emberi teljesítmény alapvető mutatója az emberi hibavalószínűség (HEP). A HEP terminológia alkalmazása azért érdekes a THERP módszer esetében, mert maga a módszer egy másik terminológiáról, a HER-ről (Human Error Rate) kapta a nevét. Ennek ellenére a módszerben következesen a HEP terminológia használata figyelhető meg.

A HEP annak a valószínűsége, hogy egy adott feladat végrehajtása során hiba következik be. A HEP becslésére többféle módszer létezik, amelyek között statisztikai és ítéleten alapuló módszerek egyaránt megtalálhatók. Ezek a HEP-ek névleges HEP-ek, amelyeknél a PSF-eket nem vették számításba. A névleges HEP-ek egy személyre vonatkoznak, és módosítani kell őket, ha egynél több személy részvétele feltételezhető. Ideális esetben a HEP-ek meghatározása statisztikai adatok alapján történne, és hiba relatív gyakoriságokat tartalmazna (error relative frequency-ERF), amely hasonlóan a matematikai definícióhoz, azt jelenti, hogy adott típusú hibák ismert számát kell elosztani az összes lehetőség számával, amelyben ez a hiba megtörténhet.

$$\text{ERF} = \frac{\text{hibák száma}}{\text{hibalehetőségek száma}} \cdot \quad [3. 18]$$

Ilyen adatok azonban csak nagyon kis számban állnak rendelkezésre az LER (Licensee Event Reporting) rendszerben. A számláló meghatározására található adatok, amelyek azonban csak a ténylegesen észlelt hibákon alapulnak, ezáltal erősen alábecsülve a tényleges értéket, míg a nevező meghatározására egyáltalán nem állnak rendelkezésre adatok. Ezért a legtöbb HEP egyaránt alapszik adatokon és ítéletalkotáson, és ezért származtatott HEP-nek nevezik. Egy feladat megbízhatósága (a feladat sikeres végrehajtásának valószínűsége) általában úgy fejezhető ki, hogy 1-HEP. Ezt az értéket nevezik emberi megbízhatóságnak is. Három további fontos valószínűség szerepel még a módszer végrehajtásánál: az alap emberi hibavalószínűség (BHEP - basic human error probability), a feltételes emberi hibavalószínűség (CHEP - conditional human error probability) és az egyesített emberi hibavalószínűség (JHEP - joint human error probability). A BHEP annak a valószínűsége, hogy egy feladat végrehajtása során olyan emberi hiba történik, amelyre nincs hatással egyetlen másik feladat végrehajtása sem. Nyilvánvalóan ez az eset áll fenn például egy feladatsorozat első eleménél. Ha a feladat nem az első, akkor a BHEP az a valószínűség, amely akkor lenne érvényes, ha semmilyen más feladat nem szerepelne az adott feladat mellett. A CHEP annak a valószínűsége, hogy egy feladat végrehajtása során emberi hiba történik, feltéve, hogy hiba történt egy másik feladatban/ sikeres volt egy másik feladat. Két feladat független, ha a CHEP ugyanannyi, akár sikeres, akár hibás a másik feladat végrehajtása. Minden más esetben a két feladat összefüggő. A JHEP az a valószínűség, hogy az összes olyan feladatban emberi hiba történik, amelyek helyes végrehajtása szükséges volna egy adott végeredmény eléréséhez.

Az emberi teljesítménnyel kapcsolatos adatok túlnyomó többségénél felmerülő bizonytalanság miatt, amely a valószínűségekben jut kifejezésre, sok esetben érdemes érzékenységi vizsgálatot végezni. Az érzékenységi vizsgálatban a becsült HEP-ek, a függőségi szintek, stressz szintek, és egyéb, az emberi tevékenységgel kapcsolatos mutatószámok szisztematikusan változtathatók annak érdekében, hogy a változások hatásait a rendszerkimeneteleknél értékelni lehessen. Az érzékenységi vizsgálatok két fajtáját használják leggyakrabban. Egyikük a „legrosszabb eset”-elemzés, amelyben erősen pesszimista

becslésekkel meghatározott HEP-ek szerepelnek az emberi hibák rendszerre vonatkozó hatásának értékelése céljából. A következetesen magas HEP-eket használva megállapítható, hogy a rendszer képes-e ezeket tolerálni. Ha megfelelő tartalékolás és helyreállítási tényezők jellemzik a rendszert, amelyek esetén a legrosszabb eset is tolerálható, akkor nincs szükség részletesebb elemzésre. Az ellenkező eset a „legjobb-eset”-elemzés, amelyben viszont erősen optimista becslésekkel meghatározott HEP-ek szerepelnek az emberi hibák rendszerre vonatkozó hatásának értékelése céljából. A „legjobb eset”-elemzés segíthet fejlesztések bevezetésének támogatásában (például, ha a legoptimistább emberi hiba-becslésekkel is rosszabb eredményt kapunk, mint egy új fejlesztés bevezetésével), valamint anyagi szempontok mérlegelésére is alkalmas.

Az emberi hibavalószínűségeket ezután eseményfákon végigvezetve kapható meg a teljes hibavalószínűség, amelyet a rendszerelemzésbe illesztenek.

3. 7. 3. Az emberi hibavalószínűségek eloszlása

A valószínűségi elemzések kétféle terminológiát használnak, attól függően, hogy (az atomerőmű) baleset során milyen típusú nem kívánt kimenetel elemzése a cél. A korai halálozás, sebesülés vagy a látens rákos megbetegedési halálozás esetén a PRA (Probabilistic Risk Analysis) terminológiát használják. Másfelől viszont core damage esetén, amikor az emberek, illetve a környezet nincs közvetlen veszélynek kitéve, a PSA terminológia használatos. A PRA terminológiát elsősorban az USA-ban alkalmazzák, a többi országban inkább a PSA terminológia alkalmazása terjedt el. Mindazonáltal, manapság már mindkét terminológiát egymással felcserélhető szerepben is alkalmazzák [59]. A THERP módszer a PRA terminológiát használja. A legtöbb PRA/PSA esetben célszerű a hibabecslésekre az egyszerű pontbecslések helyett eloszlásokat alkalmazni.

Minden egyes emberi tevékenységet jól jellemez a változékonyság. A változékonyság két fajtája különböztethető meg: ugyanazon személy változékonysága, illetve a különböző személyek közötti változékonyság. Általánosságban egy személy változékonysága sokkal kisebb, mint a személyek közötti változékonyság. Sőt, egy személy napról napra történő változékonyságának becslése szinte lehetetlen. Bármely eseménynél feltételezhető, hogy a személyek közötti változékonyság értéke elég magas ahhoz, hogy magában foglalja az egy ugyanazon személy változékonyságának hatásait. Ezért az elsődleges cél az emberek (értve ezen a jól képzett és gyakorlott szakembereket) közötti változékonyság hatásainak becslése.

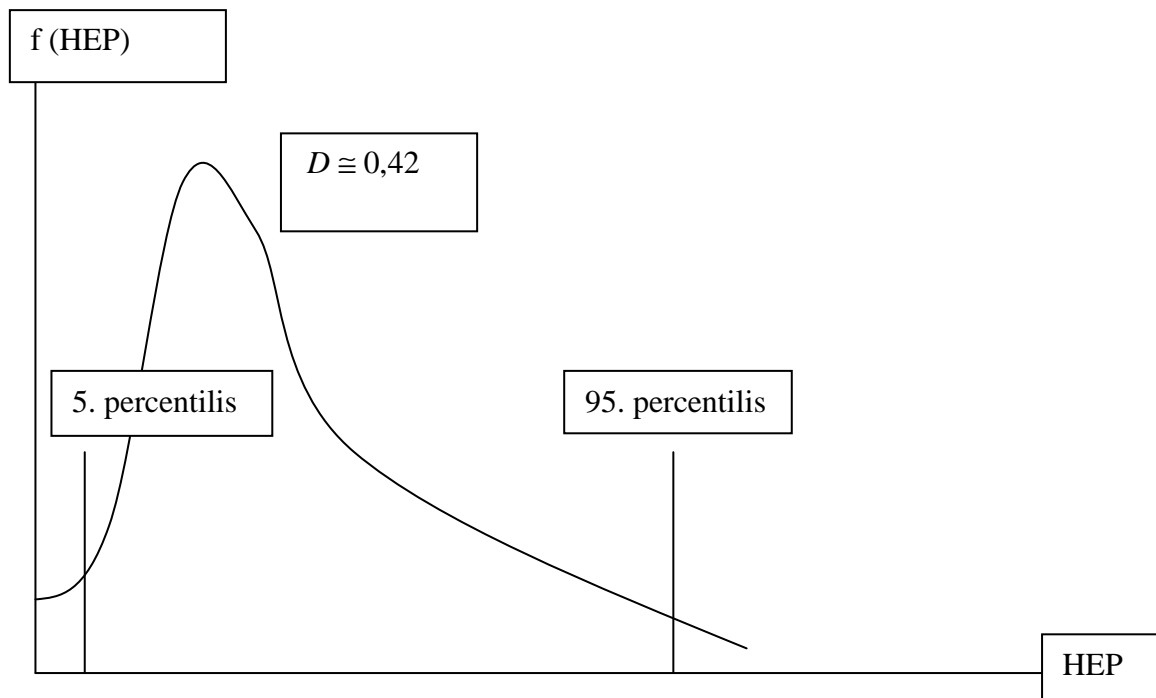
Mindazonáltal a normál működési feltételek szervezési hatásai amúgy is a változékonyság csökkentése felé hajlanak. Ha egy egyén folyamatosan csoportjának átlaga alatt teljesít, újra képzik, átértékelik, végső esetben elbocsátják. Ha folyamatosan kimagasló teljesítményt nyújt, előléptetik, vagy több kihívást adó felelős pozícióba helyezik. (Peter és Hull, 1969) [60]. Kevés olyan emberi jellemző vagy képesség van, amely normális eloszlást követ. Wechsler szerint [61] csak azok az emberi eloszlások közelíthetők normális eloszlással, amelyek az emberek lineáris mértékeihez tartoznak, mint például az alkat, végtaghosszúság, a koponya különböző átmérői, és bizonyos testarányok. Az IQ eloszlása is normális eloszlással közelíthető. Újabb kutatások szerint a jobb- illetve balkezesség agyi különbségei is normális eloszlással írhatók le [62]. Azonban még ezen esetekben is gyakori a figyelemre méltó eltérés a normális eloszlás szimmetriájától. Más emberi jellemzők leírására a normális eloszlást eddig nem találták alkalmasnak.

A normális eloszlás alkalmazása tehát az emberi hiba leírásánál nem indokolható. Az emberi teljesítménnyel kapcsolatos kísérletek adatgyűjtése során többféle egyéb eloszlás is

felmerülhet. Lognormális, Weibull, gamma, exponenciális, vagy más eloszlások is közelíthetik az empirikus eloszlásokat.

A THERP módszer alkotói szerint a tipikus ipari környezetben, magasan képzett személyek esetén indokolt az a feltételezés, hogy a legtöbb HEP a hibaeloszlás alsó határára esik. Mivel adatok hiányában az aktuális eloszlás nem írható fel, a PRA céljainak az felel meg legjobban, ha olyan nemszimmetrikus eloszlást választanak, amely a fenti követelményeknek megfelel. A lognormális eloszlás választása más eloszlásokkal (beta, gamma, Weibull) szemben azzal indokolható, hogy a lognormális eloszlás megfelelően illeszthető az emberi teljesítmény adatokhoz, valamint könnyen számolható. Példaként említhető, hogy a lognormális eloszlás paraméterei könnyen meghatározhatók két percentilisének megadásával. A lognormális eloszlás alkalmazását támogatják a válaszidővel kapcsolatos adatok is. Az emberi hibavalószínűségek eloszlásával kapcsolatban tehát feltehető, hogy megfelelő mennyiségű statisztikai adat esetén az egyes feladatokra vonatkozó emberi hibavalószínűségek lognormális eloszlást követnek, vagy azzal közelíthetőek.

A névleges emberi hibavalószínűség egyszerű pontbecsléseit mint lognormális eloszlások mediánjait jegyzik, azaz a tényleges emberi hibavalószínűségek 50 %-a a névleges emberi hibavalószínűségek felett, míg 50 %-uk a névleges emberi hibavalószínűségek alatt helyezkedik el. A THERP módszer feltételezése szerint a 0,42 normális szórású (standard deviation) lognormális eloszlás adja a legjobb közelítést. A 0,42-es érték úgy adódik, hogy 4:1 arányt feltételeztek a hibavalószínűségek 95. és 5. percentilise között. Az eloszlást az alábbi ábra szemlélteti:



11. ábra. A THERP módszer HEP eloszlása

Az eloszlás matematikai képlete a következő:

Legyen ξ lognormális eloszlású valószínűségi változó m várható értékkel és σ szórással. Ekkor $\ln \xi$ (m, σ) paraméterű normális eloszlású valószínűségi változó ($\sigma > 0$).

ξ sűrűségfüggvénye:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x \cdot \sigma \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln x - m)^2}{2\sigma^2}}, & \text{ha } x > 0 \\ 0 & \text{ha } x \leq 0 \end{cases} \quad [3.19]$$

$$\text{Várható értéke: } M(\xi) = \mu = e^{\frac{2m + \sigma^2}{2}} \quad [3.20]$$

$$\text{Szórásnégyzete: } D^2(\xi) = s^2 = e^{2m + \sigma^2} (e^{\sigma^2} - 1) \quad [3.21]$$

$$\text{Mediánja: } Med(\xi) = e^m. \quad [3.22]$$

A becsült emberi hibavalószínűségek szórása a hibatényezők (error factor-EF) bizonytalansági határaiként fejezhető ki. A becsült szórás így a becslések bizonytalanságát fejezi ki. Ez a bizonytalanság három fő forrásból ered: az emberekkel és a feltételekkel kapcsolatos változékonyságból, az emberi hibavalószínűségek értékelésének bizonytalanságából és a modellezési bizonytalanságból. A teljes bizonytalanságot alsó és felső bizonytalansági határként lehet kifejezni. Az alsó bizonytalansági határ képviseli egy adott feladattal kapcsolatos emberi hibavalószínűségek feltételezett lognormális eloszlásánál az emberi hibavalószínűségek 5. percentilisét (azt a határt, amelynél a hibavalószínűségek 5 %-a kisebb). A felső bizonytalansági határ képviseli a 95. percentilist, az alábbi példán bemutatott formában: a „0,003 (0,001-től 0,01-ig)” kifejezés azt jelenti, hogy a névleges emberi hibavalószínűség 0,003, és valószínűtlen az, hogy a tényleges emberi hibavalószínűség alacsonyabb lenne 0,001-nél az esetek több, mint 5 %-ánál, valamint magasabb lenne 0,01-nél az esetek több, mint 5 %-ánál. A legtöbb bizonytalansági határ szimmetrikus a medián emberi hibavalószínűségre. Ezekben az esetekben az EF rövidítés használható. A fenti példában: 0,003 (EF=3).

A bizonytalansági határok így az alábbi képletekkel számíthatók:

$$\text{alsó bizonytalansági határ} = \frac{\text{névleges HEP}}{\text{EF}}, \quad [3.23]$$

$$\text{felső bizonytalansági határ} = \text{névleges HEP} \cdot \text{EF}. \quad [3.24]$$

A példában a 0,009-et 0,01-re lehet kerekíteni, hogy az alsó és felső határ közti 10-es skála arány megmaradjon.

Az alsó és felső bizonytalansági határ közti szóródás a feladat feltételeitől függ. Általában akkor növekszik a szóródás, ha nagyon kicsi emberi hibavalószínűségek (HEP < 0,001) vagy nagy emberi hibavalószínűségek (HEP > 0,01) fordulnak elő. A hibatényezők 3 és 10 közti

értékeket vehetnek fel. Nagyobb bizonytalanság kifejezésére eltérő percentilisek is alkalmazhatók az alsó és felső bizonytalansági határok megállapításánál. A bizonytalansági határok nem tévesztendőek össze a statisztikában alkalmazott konfidencia intervallummal, mivel ítéletalkotáson és nem gyakoriságok megfigyelésén alapulnak. A bizonytalansági határookra vonatkozó általános szabályokat a 17. táblázat szemlélteti:

17. táblázat

Sorszám	Feladat/HEP	EF
	Rutin körülményeknek megfelelő, lépésenkénti folyamat, optimális stressz szint	
(1)	$HEP < 0,001$	10
(2)	$0,001 < HEP < 0,01$	3
(3)	$0,01 < HEP$	5
	Nemrutin körülmények, lépésenkénti folyamat, közepesen magas stressz szint	
(4)	$HEP < 0,001$	10
(5)	$0,001 \leq HEP$	5
	Rutin körülményeknek megfelelő dinamikus folyamat, optimális stressz szint	
(6)	$HEP < 0,001$	10
(7)	$0,001 \leq HEP$	5
(8)	Nemrutin körülmények, dinamikus folyamat, közepesen magas stressz szint	10
(9)	Extrém stressz szint	5

3. 7. 4. A PSF-ek módosító hatása

A THERP a PSF-ek alapján módosítja a HEP-eket. A leírásokból az alábbiakban kiemelek egy, számomra a továbbgondolást felvető szempontot.

A módszer leírásában szerepel a figyelemre méltó, úgynevezett „Kettőzési szabály”. A szabály abban az esetben alkalmazható, ha egy hibát kijavítandó tevékenységhez rendelkezésre álló idő erősen behatárolt, azaz idő-stressz helyzetbeli viselkedés áll fenn. Az elmélet szerint abban az esetben, ha hiba történt, amit hibaként azonosítottak is, illetve egy hiba javítását célzó tevékenység nem vezetett célhoz, úgy a következő, a hiba kijavítására vonatkozó kísérlet hibavalószínűsége kétszereződik. Ebben az esetben például, ha valaki komoly idő-stressz alatt dolgozik, és megkísérel egy 0,1 hibavalószínűségű tevékenységet, amelyben hibázik, akkor összesen három újabb lehetősége van a hibázásra, amíg a határt, az 1 hibavalószínűséget el nem éri. Ez pedig a személy munkavégzésének teljes szétesését jelenti.

A 18. táblázat a Kettőzési szabályt, valamint az idő-stressz és egy extrém stresszhelyzet együttes hibavalószínűség értékeit mutatja be:

18. táblázat

Becsült valószínűség	Tevékenység
≈ 1	Az operátor hibát ejt egy extrém stresszhelyzetet kiváltó eseményt (pl. súlyos LOCA) követő első 60 másodpercben
0,9	Az operátor hibát ejt egy extrém stresszhelyzetet kiváltó eseményt követő első 5 percben
0,1	Az operátor hibát ejt egy extrém stresszhelyzetet kiváltó eseményt követő első 30 percben
0,01	Az operátor hibázik egy extrém stresszhelyzetet kiváltó eseményt követő első néhány órában
p	Az extrém stresszhelyzetet kiváltó esemény után 7 nappal visszaáll az eredeti p hibavalószínűség, bármely tevékenység esetén
$2^{n-1} \cdot p$	Az első hiba utáni hibavalószínűség, azaz kezdeti p hibavalószínűség esetén, idő-stressz helyzetben, a hiba javítására irányuló n-dik kísérlet végrehajtásánál hiba történik (amíg a hibavalószínűség felső p=1 korlátját el nem éri, vagy az időből ki nem fut)

A Kettőzési szabály következményeként azt állapítottam meg, hogy az első hiba szerepe a balesetek kialakulásánál szignifikáns, valamint széles körben általánosítható. Az első hibát követő hibajavítási kényszer sok esetben súlyosabb hibához vezet, mint ha az eredeti hiba észrevétlen maradt volna, emellett az ember a saját hibáját sokkal nehezebben javítja, mint valaki másét. Az ESA (European Space Agency) rendszertervezési kritériumai [63] is ezt támasztják alá:

1. Egyetlen egyszeri meghibásodás sem vezethet katasztrófához vagy kritikus veszélyhelyzethez.
2. Egyetlen egyszeri emberi hiba sem vezethet katasztrófához vagy kritikus veszélyhelyzethez.
3. Egyetlen egyszeri meghibásodás és egyszeri emberi hiba kombinációja sem vezethet katasztrófához vagy kritikus veszélyhelyzethez.

Azaz, a rendszertervezésnél is előnyt élvezhet egy egyszeri hiba a javítás hibáival szemben. Más kérdés, hogy valójában megtervezhető-e egy ilyen rendszer, illetve problémát jelenthet a több, egymást követő hiba.

Mindazonáltal, az első hiba utáni történések azok, amelyek a folyamat jellegét döntően meghatározzák. Idő-stressz helyzetben még az is elmondható a fenti táblázat alapján, hogy extrém stresszhelyzetben 60 másodpercen belül szinte biztos a hiba (a valószínűsége közelítőleg 1!)

Megoldást jelenthet, az „első hiba” mint fogalom bevezetése és fontosságának tudatosítása. Felelős helyzetben, a körülményektől függően többféle cselekvési terv is megvalósítható; ez a rendelkezésre álló (tartalékos) személyek számától, illetve az időtől egyaránt függhet. Ha elegendő idő áll rendelkezésre, akkor az első hiba után megfontolt döntés utáni cselekvés ajánlható a hiba javítására. Optimális esetben azonban az első hiba javítását nem ugyanaz a személy végzi, aki a hibát elkövette. Az emberi tartalékolás a leghatékonyabb módja az első hibából származó súlyos következmények megelőzésének. Gazdasági problémákat felvethet a

tartalékolás megoldása, de a katasztrófavédelmi felkészítés finanszírozásának 1/10-es szabálya (amely erre az esetre is általánosítható) segíthet az optimális összetétel megalkotásában. A szabály a következőképpen szól: A potenciális vagy az elismert kár nagysága egyrészt, a védelmi célú beruházásokra előirányzott fejlesztési forrás másrészt és a folyó védekezési felkészülésre (a megelőzésre) fordítandó kiadások aránya 100:10:1, vagyis 1/10-es hányadosú mértani sorozatot alkot [64].

3. 8. Az emberi tényező egy-egy aspektusának matematikai modellezése

A kockázatperspektíva-hatás, a kockázat egyenletes eloszlásának preferenciája, és az a tény, hogy a kockázat tartóssága és sűrűsége növeli a kockázat érzékelt nagyságát, Englander Tibor alábbi kísérletei alapján a SÖN-formulának elnevezett (Súlyozott Összeadás a Nevezőben) matematikai képletben öltött testet.

Benedikt, Kun és Szász tétele szerint a kockázat emberi érzékelése a kockázatos eseményig eltelő időtartam érzékelésén alapul.

3. 8. 1. Kockázatperspektíva-hatás bizonyítása kísérlettel

Englander Tibor [42] első elvégzett kísérlete egy szerencsejáték szituáció volt. Négy sorozat mindegyikében három pénzfeldobás és egy kockadobás történt. Ezeknek a kimenetelét kellett megtippelni az aktuális feldobás előtt. Az egyes sorozatok a dobások sorrendjében különböztek egymástól:

1. sorozat: kockadobás, pénzérme, pénzérme, pénzérme
2. sorozat: pénzérme, kockadobás, pénzérme, pénzérme
3. sorozat: pénzérme, pénzérme, kockadobás, pénzérme
4. sorozat: pénzérme, pénzérme, pénzérme, kockadobás.

A sorozatok esetén akkor és csak akkor beszéltek nyeresőről, ha mind a négy adott tipp helyesnek bizonyult. Különböző tételekkel lehetett megfogadni az egyes sorozatokat. Englander kísérletéből az derült ki, hogy az egyes sorozatokhoz tartozó nyerési esélyeket a kísérleti személyek a kockadobásnak a sorozatban elfoglalt helye alapján ítélték meg. Legesélyesebbnek tartották azt a sorozatot, ahol a kockadobás az utolsó helyen szerepelt, legesélytelenebbnek azt, ahol az első helyen. Vagyis az összkockázat nagyságát az alapján ítélték meg, hogy a sorozat legnagyobb kockázatot képviselő tagja korábban vagy később következ-e be.

Matematikailag nyilvánvaló, hogy a négy sorozat esetén ugyanakkora a nyerési esély, tehát az összkockázat is. A kísérlet alapján azonban az derült ki, hogy az emberek a kockázatot perspektívában érzékelik: az időben közeli nagyobbak, a távolabbi kisebbnek tűnik. Ezt nevezte el Englander kockázatperspektíva-hatásnak. A kockázatperspektíva-hatás hátterében az adaptív célszerűség áll. A biológiai adaptáció szempontjából ugyanis az az ésszerű, ha különböző, egyenlő összkockázatú lehetőségek közül azt választjuk, ahol a legnagyobb kockázat a legkésőbb jelentkezik. Vagyis, ahogy a latin közmondás tartja: Qui habet tempus, habet vitam. (Aki időt nyer, életet nyer.)

3. 8. 2. A kockázat egyenletes eloszlása preferenciájának bizonyítása kísérlettel

Englander [42] második kísérlete szintén szerencsejáték szituáció volt. Egy (ruletterék elve alapján működő) korongot 16 egybevágó körcikkre osztottak 1-16-ig terjedő számozással. A négy negyedkör különböző színűre volt festve. Fogadni lehetett számra, színre, és paritásra az alábbi sorozatok szerint.

1. sorozat: szám, paritás, paritás
2. sorozat: paritás, szám, paritás
3. sorozat: paritás, paritás, szám
4. sorozat: szín, szín, szín

A sorozatok esetén akkor és csak akkor beszéltek nyerésről, ha mind a három adott tipp helyesnek bizonyult.

A geometriai valószínűség képlete alapján szám esetén: $P(\text{nyerés}) = \frac{1}{16}$ és $P(\text{vesztés}) = \frac{15}{16}$.

Paritás esetén: $P(\text{nyerés}) = \frac{1}{2}$ és $P(\text{vesztés}) = \frac{1}{2}$.

Szín esetén: $P(\text{nyerés}) = \frac{1}{4}$ és $P(\text{vesztés}) = \frac{3}{4}$

Az egyes sorozatok nyerési és veszteségi esélyei megegyeznek, ugyanis:

1. sorozat: nyerési esélyek rendre: $\frac{1}{16}, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}$. A sorozat nyerési esélye: $\frac{1}{16} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{64}$.
2. sorozat: nyerési esélyek rendre: $\frac{1}{2}, \frac{1}{16}, \frac{1}{2}$. A sorozat nyerési esélye: $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{16} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{64}$.
3. sorozat: nyerési esélyek rendre: $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, \frac{1}{16}$. A sorozat nyerési esélye: $\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{16} = \frac{1}{64}$.
4. sorozat: nyerési esélyek rendre: $\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}$. A sorozat nyerési esélye: $\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{64}$.

Az első három sorozat esetén a fogadási preferencia a kockázatperspektíva-hatás szerint történt. Az összes sorozat közül azonban a kísérleti személyek a negyedik sorozat nyerési esélyét tartották legvalószínűbbnek. Englander ezt nevezte el az egyenletes kockázat előnyben részesítésének. Az ember számára ugyanis könnyebben kezelhetők a tartósan érvényesülő szituációjellemezők, és az egyenletesség a kockázatok esetén egyfajta optimalizálást jelent.

A fenti sorozatoknál matematikailag az egyes valószínűségek szorzata adja az összkockázatot. Englander szerint az egyenletesség preferenciája, illetve az előbbiekben ismertetett naív optimalizálás arra utal, hogy az összkockázat érzékelésénél az ember a szorzás helyett inkább „az összeadáshoz közelálló operációt” alkalmaz.

Nézzük meg tehát, hogy mit kapunk az egyes valószínűségek összeadásával:

1. sorozat: $\frac{1}{16} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} = \frac{17}{16}$
2. sorozat: $\frac{1}{2} + \frac{1}{16} + \frac{1}{2} = \frac{17}{16}$

$$3. \text{ sorozat: } \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{16} = \frac{17}{16}$$

$$4. \text{ sorozat: } \frac{1}{4} + \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{3}{4}.$$

Az összeadásokból látszik, hogy míg az első három sorozatnál a nyerési esélyek összegzésénél 1-nél nagyobb (egymással megegyező) értékeket kapunk, addig az előnyben részesített negyedik sorozat esetén a nyerési esélyek összege 1-nél kisebb érték.

Az „az összeadáshoz közelálló operáció” tehát, amelyre Engländer utal, az összeg minimalizálása lehet. Többféle (elemi, és felsőbb matematikai) módon is bizonyítható, hogy ha három pozitív szám szorzata állandó, akkor a három szám összege abban az esetben a legkisebb, ha a számok megegyeznek. Az alábbiakban azt a bizonyítást közlöm, amely a katonai/műszaki felsőoktatás alapozó matematika oktatásában is felhasználható.

Bizonyítás:

Tudjuk, hogy $xyz = k$ x, y, z pozitív, k állandó.

Ekkor $z = \frac{k}{xy}$. Keressük $x + y + z$, vagyis $x + y + \frac{k}{xy}$ minimumát.

Legyen az $f(x, y)$ kétváltozós függvény tehát a következő:

$$f(x, y) = x + y + \frac{k}{xy}, \quad [3. 25]$$

és határozzuk meg e kétváltozós függvény lokális szélsőérték helyeit.

Az elsőrendű parciális deriváltak a következők:

$$f'_x = 1 + \frac{k}{y} \cdot (-1) \cdot x \quad [3. 26]$$

$$f'_y = 1 + \frac{k}{x} \cdot (-1) \cdot y^{-2}. \quad [3. 27]$$

Meghatározom a stacionárius pontokat az

$$\begin{cases} f'_x = 0 \\ f'_y = 0 \end{cases} \quad [3. 28]$$

egyenletrendszer megoldásával.

$x^2 y = k$ és $xy^2 = k$. Ebből következik, hogy $x = y = \sqrt[3]{k}$, vagyis $P(\sqrt[3]{k}, \sqrt[3]{k})$ stacionárius pont.

Azt kell még eldönteni, hogy a kapott pontban valóban szélsőérték van-e, és ha igen, akkor minimum, vagy maximum.

Ehhez felírom a másodrendű parciális deriváltakat:

$$f''_{xx} = \frac{k}{y} \cdot (-1)(-2) \cdot x^{-3} = \frac{2k}{x^3 y} \quad [3. 29]$$

$$f''_{yy} = \frac{k}{x} \cdot (-1)(-2) \cdot y^{-3} = \frac{2k}{y^3 x} \quad [3. 30]$$

$$f''_{xy} = \frac{-k}{x^2} \cdot (-1) \cdot y^{-2} = \frac{k}{x^2 y^2} . \quad [3. 31]$$

A stacionárius pontot a másodrendű parciális deriváltakba behelyettesítve megkapható a D determináns:

$$D = \begin{vmatrix} \frac{2}{\sqrt[3]{k}} & \frac{k}{\sqrt[3]{k^4}} \\ k & 2 \\ \frac{\sqrt[3]{k^4}}{k} & \frac{2}{\sqrt[3]{k}} \end{vmatrix} = \frac{3k^2}{\sqrt[3]{k^8}} > 0 . \quad [3. 32]$$

Ebből következik, hogy a stacionárius pontban valóban szélsőérték van. Mivel pedig $f''_{xx} > 0$, ezért a stacionárius pontban helyi minimum van.

Tehát az $x = y = z = \sqrt[3]{k}$ választással éppen az $x + y + z$ összeg minimumát kapjuk meg.

Az összkockázat érzékelésénél történő, az egyenletesség preferenciája irányába való kognitív emberi eltolódás tehát matematikailag összegminimalizálással modellezhető.

3. 8. 3. A kockázat tartóssága és sűrűsége növeli a kockázat érzékelt nagyságát. Az állítás bizonyítása kísérlettel.

Englander [42] harmadik kísérlete a második kísérlet rulettkerékét használva az alábbi sorozatok megfogadását jelenti:

1. sorozat: szám: $P(\text{nyerés}) = \frac{1}{16}$ és $P(\text{vesztés}) = \frac{15}{16}$

2. sorozat: szín, szín. $P(\text{nyerés}) = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{16}$ és $P(\text{vesztés}) = \frac{15}{16}$

3. sorozat: paritás, paritás, paritás, paritás: $P(\text{nyerés}) = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{16}$ és $P(\text{vesztés}) = \frac{15}{16}$

Ennél a kísérletnél Englander kimutatta, hogy a kockázat érzékelésénél két ellentétes hatás érvényesül: a kockázat sűrűsége (azaz az olyan szituáció, amikor az összkockázat egyetlen, vagy kevés számú pontba sűrűsödik), és a kockázat tartóssága (azaz a kockázat fennállásának hosszabb időtartama) egyaránt növeli az összkockázat érzékelését, dacára annak, hogy matematikailag ismét minden esetben megegyezett az összkockázat.

3. 8. 4. A SÖN-formula (Súlyozott Összeadás a Nevezőben) képlete

A kockázatperspektíva-hatás, a kockázat egyenletes eloszlásának preferenciája, és az a tény, hogy a kockázat tartóssága és sűrűsége növeli a kockázat érzékelt nagyságát, a SÖN-formulának elnevezett, szubjektív valószínűség matematikai képletében öltött testet [42].

A SÖN-formula matematikai modell a kockázatos események szubjektív – vagyis ember által érzékelt – valószínűségére. Képlete a következő:

$$\Psi = \frac{\lg(n+1)}{\sum_{i=1}^n a_i \lg(n-i+2) + \lg n + \lg \sum_{i=1}^n (\bar{a} - a_i)^2} \quad [3. 33]$$

Itt Ψ jelöli a szubjektív valószínűséget, n a sorozat tagjainak számát, a_i a sorozatokon belüli i -dik próba kimeneteinek számát, \bar{a} pedig az egyes sorozatokon belüli kimenetek számának átlagát.

Englander több kísérlettel igazolta [42], hogy bizonyos helyzetekben a SÖN-formula alkalmas a szubjektív valószínűség mérésére a kockázatperspektíva-hatás, a kockázat egyenletes eloszlásának preferenciája, és annak a ténynek a figyelembevételével, hogy a kockázat tartóssága és sűrűsége növeli a kockázat érzékelt nagyságát.

A fenti képlet azonban nem alkalmazható olyan helyzetekben, ahol teljes egyenletesség áll fenn. Teljes egyenletesség esetén ugyanis $\bar{a} = a_i \quad \forall i = 1, \dots, n$. Ekkor a nevező utolsó tagjában $\lg 0$ szerepelne, ami ellentmondás.

Az egyenletesség szerepe azonban nagyon fontos a valószínűségek szubjektív megítélésében, ezért olyan módosítást javaslok, amely teljes egyenletesség esetén is alkalmazható, és a nevező harmadik tagjában ilyenkor valóban az elvárható 0 értéket adja, a formula egyéb sajátosságait pedig megtartja. Az összeg logaritmus helyett a logaritmusok összegét véve az átlaghoz közelebbi értékek a nevezőben kisebb növekedést adnak, ami a szubjektív valószínűség értékét növeli, tehát a célnak jobban megfelel. Ezzel együtt is ki kell azonban küszöbölni a $\lg 0$ lehetőséget, ezért $\lg(\bar{a} - a_i)^2$ helyett $\lg(1 + (\bar{a} - a_i)^2)$ szerepel a módosított képletben.

A módosított SÖN-formula (ψ_m) tehát a következő:

$$\psi_m = \frac{\lg(n+1)}{\sum_{i=1}^n a_i \lg(n-i+2) + \lg n + \sum_{i=1}^n \lg(1 + (\bar{a} - a_i)^2)} \quad [3. 34]$$

3. 8. 5. A kockázat emberi érzékelése a kockázatos eseményig eltelő időtartam érzékelésén alapul [43].

Benedikt, Kun és Szász tételének [43], amely szerint a kockázat emberi érzékelése a kockázatos eseményig eltelő időtartam érzékelésén alapul, bizonyítása pszichofizikai törvényekre vezethető vissza.

A fizikai ingerekre vonatkozó emberi reakciót leíró Weber törvény alapján az ingerekre adott reakciók mérése a Fechner-Weber törvény szerint: ha M jelöl egy, az érzékelés skálázására alkalmas mennyiséget, s pedig a mérhető ingert, akkor $M = a \cdot \ln s + b$ $a \neq 0$ és b szabadon választható. A Fechner-Weber törvény kiterjeszhető a mentális szférára is [65], és így eredeti érvényességi körén kívül is használható [66].

Jelölje L a kockázatos esemény bekövetkezésekor keletkező kár nagyságát, τ pedig az eseményig eltelő idő várható értékét. Legyen $S(\tau)$ a τ időintervallum hosszának szubjektív érzékelése. Jelöljük R -rel a kockázatos esemény veszélyének szubjektív érzékelését. Ekkor

$R = \frac{L}{S(\tau)}$, az időegységre vonatkozó átlagos veszteség. A Fechner-Weber törvény alapján felírható az emberi időérezékelés képlete:

$S(t) = \ln t + 1$, ahol t a megfigyelt, $S(t)$ pedig az érzékelt idő.

Kis p esetén a p valószínűségű kockázati eseményig eltelő idő várható értéke $\frac{1}{p}$.

Így $\tau = \frac{1}{p}$ és $S\left(\frac{1}{p}\right) = \ln \frac{1}{p} + 1$.

Ebből következően $R = \frac{L}{\ln \frac{1}{p} + 1} = \frac{L}{\ln 1 - \ln p + 1} = \frac{L}{1 - \ln p}$.

Jelölje $f(p) = \frac{1}{1 - \ln p}$ -t. Így $R = L \cdot f(p)$, vagyis az $f(p)$ egy olyan függvény, amely felhasználható a kockázatos eseményből származó veszély emberi érzékelésének matematikai modellezésénél.

3. 9. Részkövetkeztetések

A fentiekben ismertetett módszerek matematikai modelljei nagyon eltérőek. Vannak szinte kizárólag elemi eszközöket felhasználó módszerek (pl. CREAM, HEART), vannak különböző valószínűség-eloszlásokat alkalmazó módszerek (pl. HCR, THERP), és van olyan módszer is, amely bizonyos szinten megkérdőjelezi a matematikai modellezés szükségességét és lehetőségét (THEA).

E különbségek ellenére mindegyik módszer alkalmazhatósága gyakorlati bizonyítást nyert.

Az ATHEANA módszer próbaalkalmazása a módszer leírásával együtt jelent meg [25]. A CREAM módszer validálása fuzzy alkalmazással történt 2007-ben [67]. A HCR a legelsőnek tekinthető módszer, alkalmazása eleinte kizárólagos volt. Annak ellenére, hogy mára sokan túlhaladottnak tekintik, és újabb generációs, – adott esetben éppen a HCR-ből kifejlesztett –

módszerek alkalmazását javasolják helyette [68], szinte egyidejűleg validálása is megtörtént [69]. A HEART validálását Kirwan [70] és Kennedy és szerzőtársai [71] végezték el. A HERMES módszer széleskörben alkalmazást nyert közlekedési rendszerek vizsgálatánál [34]. A THEA módszer többféle alkalmazásáról (NATS, BAE SYSTEMS) számolnak be az alkotók [31]. A THERP módszer validálása a HEART módszer validálásával párhuzamosan történt [70].

Teljesen különböző matematikai modellek tehát egyformán jól alkalmazható, az emberi megbízhatóság becslésére használt módszerekre vezetnek.

Kutatásaim eredményeként az alábbi állításokat fogalmazom meg:

Az emberi megbízhatóság becslésére alkalmas módszereknek, s így az emberi tényezőnek nincs, és nem is alkotható meg egy kizárólagos és teljes olyan matematikai modellje, amely legjobb modellnek tekinthető.

Ugyanis a fellelhető, különböző modellek egyformán jól alkalmazhatóak, egymást nem helyettesítik. Ezen kívül nem is alkotható meg ilyen matematikai modell, amit az alábbiakban bizonyítok.

A XX. század elején, amikor a matematika axiomatizálásának igénye olyan formában merült fel, mint a legfontosabb és legégetőbb kérdés, Hilbert a következő tulajdonságok teljesülését várta el egy axiómarendszerrel: a kapott rendszer legyen kategórikus (azaz, csak egy modellje legyen), legyen ellentmondásmentes (azaz ne lehessen belőle ellentmondást levezetni), és legyen teljes (azaz minden állítás eldönthető legyen benne) [72]. A három tulajdonság azonban nem teljesíthető. Löwenheim-Skolem-Tarski tétele alapján egy modell létezése esetén található akármilyen számosságú modell is [72].

Gödel első nemteljességi tétele pedig a következőt mondja ki:

Legyen L egy klasszikus elsőrendű nyelv a 0 konstansjellel és az S egyargumentumú, valamint a $+$, H kétargumentumú függvényjelekkel. Ekkor, ha P egy L nyelvű elsőrendű elmélet, amely

(1) axiomatizálható,

(2) ω -konzisztens és

(3) tételként tartalmazza a klasszikus aritmetika összes igaz S_0 mondatát,

akkor P nem teljes [73]. Gödel nemteljességi tételének értelmében pedig bármely olyan axiómarendszer esetén, amely ellentmondásmentes (így már a Peano axiómarendszer esetén is) létezik eldönthetetlen kérdés, vagyis olyan állítás, amely nem bizonyítható és nem is cáfolható.

Dolgozatomban modellezésről van szó, és egy modell is tekinthető axiomatikus rendszernek: a modell feltételei az axiómák, és a feltételekből levezethető állítások a tételek. Így az, amit axiómarendszerekről mondunk, matematikai modellekről is elmondható.

Ebből következően, és általánosítva Jáki Szaniszló fizikai elméletekkel kapcsolatos tételét [74], bármely elmélet, amely a matematika triviális formájánál többet foglal magában, Gödel tételének megszorítása alá esik, s így nem lehet teljes. Azaz, az emberi tényező matematikai modellezése sem lehet teljes. Gyakorlati szempontból azért lényeges a Gödel-tétel segítségével történő bizonyítás, mert ez az a tétel, amely egzakt módon fejezi ki a dolgozatban tárgyalt probléma megoldhatatlanságát, vagyis azt, hogy mivel a valóság általunk belátható része véges, ezért bármely modell felállításánál van a valóságnak olyan része, amelyre az

adott modell nem terjed ki. A Gödel-tétel, amely éppen a matematika „hiányosságairól” szól, segít megérteni azt is, hogy a megoldhatatlanság, vagyis az, hogy nem létezik „legjobb” modell az „emberi tényező”-jelenségre, nem jelent kudarcot.

A fenti, a matematika alapjairól szóló tételek következménye, hogy mivel az axiómarendszerek nem teljesíthetnek egyszerre bizonyos követelményeket, ezért algoritmusokkal sem lehet minden problémát eldönteni. A mesterséges intelligencia kutatás egyik eredménye szerint pedig az emberi agyi tevékenység nem helyettesíthető számítógépes programokkal [75]. Az emberi gondolkozás tehát ezek szerint nincs alávetve a fenti korlátozásoknak, s így teljes egészében nem írható le a fenti módszerekkel. Az emberi hibák kiküszöbölésére felvetett „teljes automatizálás” elképzelése is, túl azon, hogy nem célravezető, nem is kivitelezhető, éppen az emberi tényező természetes egyszerűségéből paradox módon következő komplexitása miatt, amire jó példa az, hogy a karakterfelismerő programok [76] a mai napig képtelenek arra, amire a legegyszerűbb, írni-olvasni tudó ember képes: egy kusza kézírás elolvasására.

A matematikai modellekkel kapcsolatban a legfontosabb kérdés az alkalmazhatóság igazolása. Elméleti síkon – mivel a modell magában hordja fent említett korlátait – ez nem lehetséges. Erre utal a THEA módszer alkotóinak véleménye, amely szerint, ha a modell kvalitatív leírásának akár egyetlen lépése is hiányzik, akkor a számszerűsített elemzés kimenetele szükségszerűen nem lehet teljes, függetlenül attól, hogy a számszerűsítésre szolgáló folyamat esetleg szinte tökéletesen kifinomult. Oreskes ugyanezt így fogalmazza meg: természetes rendszerek számszerűsített modelljei nem verifikálhatók és nem validálhatók [77].

A modell alkalmazhatóságának belátása azonban sokkal inkább gyakorlati, mintsem elméleti jellegű feladat. Kirwan is, aki főként HRA módszerek validálásával foglalkozik, úgy véli, hogy a verifikálást és a validálást gyakorlati síkon kell megközelíteni, vagyis az alkalmazhatóságot a gyakorlatban kell bizonyítani. Verifikálásnak nevezi, ha a rendszer úgy működik, ahogy kell, és validálásnak nevezi, ha a modell úgy működik, ahogyan azt a való világban elvárják tőle [78]. Ebben az értelemben került sor a fenti HRA módszerek validálására is.

Az emberi tényező egy-egy újonnan előtérbe kerülő aspektusának matematikai modellezésére több példát is mutattam dolgozatomban. Ezek a részeredmények beilleszthetők már meglévő modellekbe, amelyeket ezáltal fejleszteni lehet.

Az emberi megbízhatóság becslésére tehát alkalmazni kell a módszereket, amelyek – mint láttuk –, nem kiegészítik egymást, hanem külön-külön jól működnek, és a megbízható kockázatértékelés érdekében a matematikai modelljeik folyamatos fejlesztésére van szükség. A folyamatos fejlesztés lehetősége pedig közvetlen következménye a kutatási hipotézisként megfogalmazott, majd bizonyított állításomnak, amely szerint nincs „legjobb modell” az „emberi tényező”-jelenségre.

4. AZ EMBERI TÉNYEZŐVEL KAPCSOLATOS MODELLEK ALKALMAZHATÓSÁGI KÖRÉNEK FELTÁRÁSA

Az emberi tényező szerepének felismerése, és a meglévő modellek tudatos alkalmazása sok területen megfigyelhető. Vannak azonban olyan területek is, ahol – bár az emberi tényező szerepe szintén megkerülhetetlen – kisebb hangsúlyt fektetnek az eredmények alkalmazására, vagy teljesen figyelmen kívül hagyják az emberi tényezőt. Az alábbiakban olyan területeket mutatok be, ahol az emberi tényező szerepét különösen kiemelt fontosságúként kell kezelni.

4. 1. Az emberi tényező szerepe a katasztrófavédelmi helyzetértékelésben [79]

A katasztrófavédelmi helyzetértékelés problémáit megvizsgálva, az esetek döntő többségében az emberi tényező szerepére visszavezethető okok találhatók. A helyzetértékelés emberi tényező szempontjából történő elemzése segítséget nyújthat a hibák kiküszöböléséhez, és a helyzetértékelő csoportok optimális felépítésének kialakításához.

4. 1. 1. A katasztrófavédelmi helyzetértékelés

A katasztrófa helyzetértékelés az áldozatokra, az érintett közösségre és a társadalomra gyakorolt hatások felderítése és információgyűjtés. A helyzetértékelés kulcseleme a katasztrófakezelésnek. Feladata elsősorban a veszélyeztetett életek mentése, az áldozatok szükségleteinek meghatározása, a segítségnyújtási prioritások meghatározása, illetve adatok szolgáltatása a program tervezéséhez.

A helyzetértékelés tárgyát tekintve: a katasztrófa bekövetkezte után a katasztrófavédelmi szervezeteknek és a hivatalos szervezeteknek számtalan információra van szükségük a helyzetről, valamint a mentésben és helyreállításban résztvevők szükségleteiről. A különböző szervezetek más és más információt igényelnek. Összességében a következők a legfontosabbak: a katasztrófa áldozatai szükségleteinek és az ezek közötti prioritásoknak a meghatározása, az épületekben, a mezőgazdaságban, közművekben, kritikus termelési egységekben bekövetkezett károk, a mentést akadályozó tényezők, a szekunder fenyegetések, és a gazdasági károk felmérése, a biztosítások csökkentő hatásának értékelése, a lakosság egészségügyi helyzetének folyamatos figyelése, valamint a katasztrófa következményeinek elhárítására rendelkezésre álló források felmérése.

A katasztrófavédelmi helyzetértékelés folyamatának legfőbb fázisai az azonnali felderítés, a szükségletek meghatározása, a károk felmérése, egészségügyi felmérés, a közösségi hatások becslése és a monitorozás. A legfontosabb helyzetértékelési módszerek a helyszíni felderítés, az átrepülés, a légi fényképezés, a távfelderítés és a távérzékelés. A megfelelő helyzetértékeléshez szükséges néhány adat a katasztrófát megelőző helyzetről. Az értékeléshez mindig szükséges a világos célkitűzés és a katasztrófa előtti állapot ismerete. A katasztrófa helyzetértékelés feladata többek között a mentéshez és helyreállításhoz szükséges adatok szolgáltatása, a katasztrófa kockázatértékelése, amely segítséget nyújt a másodlagos hatások ellen, a mentés és a helyreállítás igényeinek biztosítása, a társadalmi hatások, valamint az egyes közösségek reakcióinak vizsgálata.

A helyzetértékelő csoportoknak általában öt típusát szokták alkalmazni:
Teljes értékelést végző csoport,
Szakértők által alkotott csoport,
Helyi értékelő csoport,
Egyfős team (kulcsfigura), illetve
Kétfős csoport.

4. 1. 2. A katasztrófavédelmi helyzetértékelés során felmerülő problémák

A helyzetértékelés néhány lehetséges problémája az alábbiakban foglalható össze:
Előfordulhat, hogy a kritikus adatok megszerzése nehézségekbe ütközik, nincs megfelelően kiképzett értékelő team, rossz a helyzetértékelés időzítése, túl sok adatot gyűjtöttek a helyzetértékeléshez, az adatokat nem megfelelően használták fel, rossz az adatok elosztása, illetve helytelen a közösségi reakció megítélése. A fenti hibák mindegyike az emberi tényezőre vezethető vissza, vagyis alapvetően a helyzetértékelő csoport helyes vagy helytelen, sikeres, vagy sikertelen közreműködése határozza meg a helyzetértékelés sikerét.

A katasztrófavédelemben szorosan kapcsolódik a megelőzés és a helyzetértékelés. Alapvető fontosságú tehát mind a helyzetértékelés során, mind a megelőzés tekintetében az emberi hibák feltárása, és az emberi tényezővel kapcsolatos kutatási eredmények beépítése, valamint esetleges új módszerek, illetve lehetőségek átgondolása a helyzetértékelő csoport felépítése és működése tekintetében.

4. 1. 3. A helyzetértékelő csoportok vizsgálata az emberi tényező szempontjából

1. Teljes értékelést végző csoport

A teljes értékelést végző csoport jól képzett szakemberekből álló csoport, amelynek feladata a helyzetértékelés. A teljes értékelést végző csoportot kormányzati katasztrófaelhárító szervek alkalmazzák, és ezek jelentős szerepet játszanak a nemzetközi segítségnyújtásban. A legismertebb ilyen csoportokat az amerikai hadsereg működteti. Az ilyen csoportokban egészségügyi, logisztikus, távközlési szakemberek és mérnökök tevékenykednek. A csoport saját felszereléssel rendelkezik és képes meghatározni egy külföldi segítségnyújtás esetén a felmerülő szükségleteket.

A teljes értékelést végző csoport előnye a szakképzettség, a gyors települési képesség, valamint a gyors és pontos adatszolgáltatás. Nem valószínű, hogy a lehetséges problémák közül a teljes értékelést végző csoport esetében előfordulna, hogy a kritikus adatok megszerzése nehézségekbe ütközik. A teljes értékelést végző csoport kiküszöböli a megfelelően kiképzett értékelő team hiányát. A teljes értékelést végző csoport esetén is előfordulhat azonban a helyzetértékelés rossz időzítése. Valószínűsíthető, hogy a túl sok adat összegyűjtése is előfordulhat nagyobb létszámú csoport esetén. Előfordulhat továbbá, hogy rossz az adatok elosztása, illetve helytelen a közösségi reakció megítélése.

A teljes értékelést végző csoport alkalmazásának egyik legnagyobb hátránya az, hogy a csoport fenntartása költséges, amennyiben nincs más feladatuk a katasztrófa mentes időszakban. Külföldi bevetésük esetén nyelvi és helyismereti problémák is előfordulhatnak.

2. Szakértők által alkotott csoport

A kormányok által kedvelt megoldás, hogy olyan szakértőkből állítják össze a helyzetértékelő csoportot, akik normál helyzetben az adott területen dolgoztak. A szakértői csoportok általában 4-12 főből állnak. A szakértői csoportok előnye a kis költségigény, és a pontos értékelés. A kis költségigény miatt több értékelő csoport is létrehozható egy adott szektor vizsgálatára, a szakértők bevonhatók a katasztrófa-megelőzési műveletekbe, és így nő az elkötelezettségük is. A szakértői csoport hátránya legfőképpen a szükséges emberi beavatkozás elmulasztására vezethető vissza, ugyanis a katasztrófa bekövetkezésekor kulcsszemélyek lehetnek távol.

3. Helyi értékelő csoport

Helyi értékelő csoport akkor alkalmazható, ha van a kormányzati szerveknek, illetve az önkéntes szervezeteknek ilyen csoportja. A helyi értékelő csoportok általában vegyes eredményt produkálnak, attól függően, hogy milyen az összetételük. Az ilyen csoportok kormány számára végzett értékelése a károk felmérése és az infrastruktúra értékelése területén megfelelő eredményeket produkál, de a családi és közösségi szükségletek felmérése területén gyenge. A csoportok jó működéséhez megfelelő kiképzés szükséges.

A helyi értékelő csoport legfőbb hátránya az objektivitás hiánya.

4. Egyfős team (kulcsfigura)

Egy szakértő alkalmazására akkor kerül sor, ha a helyzetértékelést igénylő szerv rendelkezik jól képzett szakértővel. A szakértő rendszerint egy adott szektort vizsgál. Az előnye a gyors és szakszerű információszolgáltatás és az alacsony költség. Hátránya, hogy egy személy csak korlátozott mértékben tud információt gyűjteni. A helyzetértékelési hibák valószínűsége is nagyobb lehet, és az esetleges hiba javítása is nehezebben kivitelezhető.

5. Kétfős csoport

A kétfős csoport gyorsan képes megfelelő adatokat szolgáltatni, ha a két személy megfelelő képzettséggel rendelkezik. Megfelelő kormányzati támogatással nagyon hatékony felmérést képesek készíteni.

4. 1. 4. A helyzetértékelő csoport optimális felépítése

Az emberi tényező szempontjából előnyben részesítendő a kétfős csoport az egyfős teammel szemben, amint azt az alábbiakban is láthatjuk.

Mint bármely emberi tevékenység, úgy a helyzetértékelés összes hibájának megelőzése sem lehetséges. Az emberi hiba javításának egyik fontos lehetősége az emberi tartalékolás. Az emberi tartalékolás ma használt fogalmát Swain és Guttmann írta le 1983-ban. Az emberi tartalékolást javító tényezőként fogták fel, a következő legfontosabb jellemzőkkel:

1. valaki ellenőrzi egy másik személy munkáját
2. ellenőrzést végeznek, valahányszor egy tevékenység befejezéshez közeledik, vagy közvetlenül utána

3. az ellenőrző személyt irányítják, szóban vagy írásban, hogy egy meghatározott emberi tevékenységet ellenőrizzen
4. az ellenőrzés a normál működés keretein belül zajlik.

A továbbiakban Clarke nyomán [80] az emberi tartalékolás kibővített definícióját fogom használni: emberi tartalékolásról beszélünk minden olyan esetben, amikor egy szükséges emberi cselekvéssel kapcsolatos hiba egyidejű, de más személy által végzett javítását támogatják.

A kibővített definíció jelentősége többek között az alábbiakban nyilvánul meg:

1. az emberi rendszereken – mint például helyzetértékelő szakemberek csoportján – belüli tartalékolás van a középpontban,
2. az emberi tartalékolás fenti definíciója emberi tevékenységek széles skálájára alkalmazható. A definíció nem korlátozza az emberi tartalékolás fogalmát olyan ellenőrzésekre, amelyeket a folyamatokra előírtak.
3. a definíció kizárja, hogy a hibáért felelős személy javítsa a hibát (vagyis az önjavítást).

Az úgynevezett aktív emberi tartalékolás feltételezi, hogy a tartalékos funkciót betöltő egyén közvetlenül részt vesz a feladatban. Ez valósulhat meg a kétfős helyzetértékelő csoport esetében. Passzív emberi tartalékolásról akkor beszélünk, ha a tartalékos funkciót betöltő egyén közvetlenül nem vesz részt a feladatban, általában nincs is jelen a közvetlen környezetben, és hívni kell, ha a körülmények úgy kívánják. Passzív emberi tartalékolás valósulhat meg például a helyi értékelő csoport, vagy a szakértők által alkotott csoport esetében. Mindazonáltal, amikor egy passzív tartalékos funkciót betöltő egyént kell hívni, időt vehet igénybe, amíg az egyén megfelelően tud reagálni a kialakult helyzet sajátosságainak tükrében. Amikor az idő jelentős szerepet játszik, nagy különbség lehet tehát az aktív és a passzív emberi tartalékolás között.

Sagan 1993-as munkájában [81] az emberi tartalékolás két fajtájaként határozta meg a megkettőzést és az átfedést. Megkettőzés akkor áll fenn, ha két különböző egyén ugyanazt a funkciót tölti be, vagy egy tartalék egyén elérhető. Az átfedés arra utal, amikor a két egyén közös feladatokat is ellát. A megkettőzés és az átfedés közötti különbség abban nyilvánul meg, hogy az ellátott feladat egésze, vagy csak egy része közös. Azokban a rendszerekben, ahol emberek több, különböző feladat ellátására is alkalmasak, a helyettesítés is lehetséges. A helyettesítés akkor áll fenn, ha egy egyén egy más feladatot ellátó egyén helyére állhat be. Ez jól megvalósulhat már a kétfős helyzetértékelő csoport esetén is.

A fenti gondolatok értelmében a helyzetértékelő csoportok optimális működéséhez a kétfős részcsoportokból álló szakértői csoportok alkalmazása látszik a legmegfelelőbbnek. Ez költségkímélőbb megoldás, mint a teljes értékelést végző csoport alkalmazása, valamint a kétfős részcsoporton belüli aktív, illetve az egész csoporton belüli passzív tartalékolás az esetleges hibák hatékony javítását is lehetővé teszi.

Az emberi tényezővel kapcsolatos kutatások eredményeinek felhasználásával tehát a katasztrófavédelmi helyzetértékelés emberi hiba-okokból bekövetkező problémái sikeresen kiküszöbölhetők. A helyzetértékelő csoportok felépítésének újragondolása segítséget nyújthat a helyzetértékeléssel kapcsolatos új kihívásoknak való megfelelés és a megelőzés tekintetében egyaránt.

4. 2. Az emberi tényező szerepe veszélyhelyzeti kommunikációban [82]

A veszélyhelyzeti kommunikáció jelentősége napjainkban megkérdőjelezhetetlen. A veszélyhelyzeti kommunikáció, mint bármely kommunikáció, az emberi tényezőre épít. A veszélyhelyzetek esetén azonban az emberi tényező szerepe kettős: míg veszélyhelyzeti kommunikáción elsősorban az emberek veszélyhelyzet esetén történő tájékoztatását értjük, addig maga a kommunikáció is lehet a veszély kiváltó oka. A különböző típusú és jellegű kommunikációs hibák az emberi hibák jelentős részét képezik, illetve a már kialakult veszélyhelyzetet a hibás veszélyhelyzeti kommunikáció is súlyosbíthatja.

4. 2.1. A XX. század néhány jelentős nukleáris balesetében szerepet játszó kommunikációs hibák, és javításuk néhány lehetősége

1. Téves utasítás adása és kommunikációs elérhetetlenség

1952. december 12-én a kanadai Chalk River NRX reaktorában részleges fűtőelemolvadás következett be. Ez volt a világon az első súlyosnak tekinthető reaktorbaleset. A kiváltó okok között több más emberi hiba mellett kommunikációs jellegű hibák is történtek. A baleset első lépéseként az alagsorban tévedésből kinyitottak néhány megkerülő szelepet, ezáltal a szabályozórudak egy részét kihúzták a zónából. Ezt a vezénylőben piros fény jelezte. A felügyelő elhagyta a vezénylőt, és az alagsorban maga zárta el a szelepeket. A szabályozórudaknak vissza kellett volna esni a zónába, azonban mechanikai okoknál fogva ez nem történt meg teljesen, de akkora mértékben igen, hogy a piros fény kialudt. Ezáltal feltételezhetővé vált, hogy a szabályozórudak visszakerültek a zónába. A felügyelő ez után az alagsorból telefonon akarta utasítani az asszisztensét, hogy nyomjon meg két gombot, aminek következtében a szabályozórudakat a légnyomás lenyomná a zónába. Azonban tévesen adta meg a gombok számát: a pneumatikus rendszer szabályozó gombjának száma mellett annak a gombnak a számát adta meg, amelyik kihúzza a szabályozórudak egy másik részét. Az asszisztens látta, hogy az előző piros fény kialudt, ami arra utalt, hogy elegendő szabályozórúd van a zónában. Ezért természetesnek vette a felügyelő utasítását, és letette a telefonkagylót, hogy elérje a gombokat. Bár a felügyelő az alagsorban azonnal észrevette, hogy téves utasítást adott, és rögtön próbált korrigálni, az asszisztens nem hallotta meg, mert a telefon nem volt a fülénél.

Az eset egyik tanulságaként levonták, hogy kétoldali hangostelefon-kapcsolatot kell létesíteni a különböző helyiségekben tevékenykedő operátorok között. A kommunikációs elérhetetlenség problémájának megoldása az évtizedek alatt a technika fejlődésével párhuzamosan újabb és újabb szinteket ért el. A technikai fejlődés azonban újabb problémákat is felvetett, és felvet napjainkban is, kijelölve a további kutatások lehetséges irányait ezen a területen. A téves utasításadás hibájának javítására vonatkozó egyik módszer az emberi tartalékolás. Emberi tartalékolás esetén az emberi rendszereken – mint jelen esetben az operátorok csoportján – belüli tartalékolás van a középpontban, nem az operátorok által

javított hardver vagy szoftver hibák a központi jelentőségűek. Az emberi tartalékolás operátori tevékenységek széles skálájára alkalmazható, beleértve az egyszerű cselekvéseket, mint például a kapcsolók kezelése, és az összetettebb cselekvéseket is. A definíció nem korlátozza az emberi tartalékolás fogalmát olyan ellenőrzésekre, amelyeket a folyamatokra előírtak. A másik személy általi hibajavítás az üzemeltetés bármely módjára alkalmazható, beleértve a normál és a vészhelyzeti működést is, szem előtt tartva, hogy a személyzet dinamikája a normálistól eltérő esemény kezelésénél különbözik a normális működésnél alkalmazott rutin ellenőrzések során tapasztalttól. Ezen kívül az is kizárt, hogy a hibáért felelős személy javítsa a hibát (vagyis az önjavítás). A fent definiált emberi tartalékolás mint olyan stratégia, amely a hibát a javítás módszere által kezeli, sokkal költség-kímélőbb lehet olyan módszereknél, amelyek az egyre növekvő költségű megelőző lépéseket hajtják végre. Az emberi tartalékolás tehát az emberi hiba javításának egyik fontos lehetősége. Az egyenrangú felek által javított hibákon túlmenően fontos szempont annak a vizsgálata, amikor fölérendelt javítja az alárendelt hibáját, illetve alárendelt személy javítja a fölérendelt hibáját.

2. Pánik

Az USA-ban 1979. március 28-án a Three Mile Island-i reaktorban történt baleset. A nyomottvízes reaktorban bekövetkező üzemzavarnál operátori hiba miatt az aktív zóna hűtővizét részben leürítették. Az átmenetileg hűtés nélkül maradt zónában a fűtőelemek egy része megolvadt. Az így felszabaduló radioaktív hasadványok környezetbe való kijutását a reaktort körülvevő hermetikus burkolat gyakorlatilag megakadályozta. Súlyos környezeti szennyeződés emiatt nem történt, a szakértők egybehangzó állítása szerint. Ennek ellenére mégis pánik tört ki. A CBS 1979. március 28-i esti híradója az alábbi szavakkal kezdődött: „Ez egy nukleáris rémálom első lépése volt, amennyire tudjuk, nem több ennél. Egy kormányhivatalnok szerint ma Pennsylvania-ban a legrosszabb dolog, ami egy atomerőműben valószínűleg bekövetkezhet, az az üzemzavar. A dolgozók súlyos radioaktív szennyeződése nem volt kimutatható. Egy nukleáris biztonsággal foglalkozó csoport szerint azonban az erőmű belsejében lévő sugárzás nyolcszorosa a halálos szintnek. Olyan erős, hogy miután átjut a 3 láb vastag betonfalon, egy mérföld távolságban is mérhető.” A média által terjesztett álhírek következtében tört ki a pánik, az emberek tömegesen menekültek, és a zsúfolt autópályákon többen szenvedtek közlekedési balesetet.

Az eset feltétlenül felveti a média felelősségét, illetve a veszélyhelyzeti kommunikáció megfelelő voltának szükségességét.

A pánik, illetve pánikhelyzet következtében kialakuló veszélyhelyzet, baleset, illetve katasztrófa elkerülésének egyetlen lehetséges módja a megelőzés. A veszélyhelyzeti kommunikáció egyik legfontosabb feladata, hogy megakadályozza a pánikhelyzet kialakulását. A pánik visszafordíthatatlan folyamat, veszélyhelyzet esetén nem engedhető meg, hogy pánik alakuljon ki, amely az esetleges károkat és veszteségeket sokszorosára növelheti.

3. Rosszul időzített információadás

1986. április 26-án a csernobili atomerőműben következett be az atomenergetika legsúlyosabb szerencsétlensége. A baleset egy grafit moderátoros, vízhűtésű reaktorban következett be, olyan típusban, amelyet a Szovjetunió kivül sehol sem építettek. A baleset közvetlen kiváltója egy biztonsági kísérlet volt, amelyet a tervezett és engedélyezett üzemi állapottól

eltérően igen kis teljesítményen hajtottak végre. A reaktor tervezési és biztonsági hiányosságai miatt az előírások megsértése előbb a teljesítmény ugrásszerű megnövekedése miatt hőrobbanáshoz, majd rövid időn belül kémiai robbanáshoz vezetett. A robbanások a reaktorépületet teljesen lerombolták, a reaktor fedél felnyílt, a reaktorépület és a grafit moderátor kigyulladt, nagy mennyiségű radioaktív anyag kiáramlása kezdődött meg. A radioaktív anyagok kibocsátása csak 10 nap múlva szűnt meg. 1986 novemberére a reaktorblokk maradványait vasbeton burkolattal vették körül.

A baleset bekövetkezésénél figyelmen kívül hagyták a válságkommunikáció egyik legfontosabb szabályát, amely szerint válsághelyzetben tilos hallgatni. A TASSZ hírszolgálati iroda április 28-án 9 órakor adta ki az első jelentést, annak következtében, hogy az 1600 km-re fekvő svéd Forsmark atomerőműhöz munkába érkező dolgozók ruháját a sugárzást mérő kapu belépéskor radioaktivitással szennyezettnek találta, és a svédek a szélirány alapján csakhamar rájöttek, hogy a radioaktivitás nem svéd atomerőműből származik, hanem délről jön, és diplomáciai úton felvilágosítást kértek Moszkvától.

A rosszul időzített információadás következtében a bizalom és a szavahihetőség alapvető feltételei sérültek, ami a veszélyhelyzeti kommunikáció céljainak elérését gátolta. A rosszul időzített információadás elkerülhető, ha megfelelő rendelkezések vannak érvényben, és ezek alapján történik a kommunikáció.

4. Tájékozatlanság

A braziliai Goiania-ban környezetszennyezés történt 1987-ben. 1985-ben bezártak egy goiania-i kórházat, a terápiás besugárzó céziumforrását hátrahagyva. 1987. szeptember 13-án 2 férfi elvitte és feltörte a kapszulát. A belseje kékes fénnel világított. Ezt eladták egy hulladéktelep tulajdonosának, aki gyűrűt akart készíttetni a feleségének a különös szépségű kék anyagból. Az ismerősök is csodájára jártak a sötétben kékes fénnel világító kőnek, egy részét el is ajándékozták. Mindannyian belső, illetve külső sugárterhelést kaptak. Ez mintegy 100 km-es körzetben 250 személyt érintett összesen.

A felelősség a céziumforrást hátrahagyó kórházi vezetésé, azonban az eset indokoltan felveti a tájékozatlanság fontosságának kérdését. A tájékozatlanság problémájának kezelésére a lakosság széles körű felkészítése, valamint a meglévő katasztrófavédelmi oktatás kiterjesztése adhat megoldást.

4. 3. Az emberi tényező szerepe zavarállapotok meghatározásánál [83]

4. 3. 1. Zavarállapotok

A zavarállapotok meghatározásának elve vizsgálati módszer a minőség szemléletű feladatmegoldást segíti elő, amely szükséges a komplex villamos rendszerek, ezen belül a katonai alkalmazású komplex villamos rendszerek tervezésénél és üzemeltetésénél.

A komplex villamos rendszer mint szolgáltató rendszer működésének sikerességét alapvetően abból lehet lemérni, hogy az mennyiben felel meg a felhasználói követelményeknek. Ez az általános megfogalmazás tulajdonképpen a minőség fogalmának implicit - az ISO 9000 - és a TQM szabványok szemléletét tükröző - meghatározása. Ilyen értelemben a minőség a rendszert tervező, üzemeltető számára nem lehet egzakt, használható fogalom. Ezért a

komplex villamos rendszerek minőségének megítéléséhez és az ezzel kapcsolatos feladatok egyértelmű megoldásához célszerű a kulcstulajdonságok fogalmának bevezetése és definiálása. A kulcstulajdonságok olyan mérhető vagy számítható adatok, paraméterek, amelyek alapvető szerepet játszanak a rendszer minőségének megítélésénél. A kulcstulajdonságokat mértékeik jellemzik, és ezek vannak közvetlen kapcsolatban a szakemberek által befolyásolható paraméterekkel. A kulcstulajdonságok ismeretében már figyelembe lehet venni a felhasználók által rögzített és ez alapján megfelelően ellenőrizhető egzakt szolgáltatási jellemzőket, azaz a kulcstulajdonságok mértékeit. A kulcstulajdonságok a különböző rendszerek esetében eltérőek lehetnek, és mindig a rendszer jellegétől és céljaitól függenek.

A zavarállapot a rendszer olyan állapota, amely a technikai vagy emberi eredetű – adekváтан meghatározható – zavarok hatására funkcióját már nem tudja ellátni. A vizsgálatoknál azokat a technikai jellegű és egyéb (például emberi) zavarforrásokat kell figyelembe venni, amelyek befolyásolják a hibamentességet. Ezek elemzése még akkor is fontos, ha nem szerepelnek a megrendelő feltételrendszerében. Ezekben az esetekben, amennyiben a kulcstulajdonságok ismertek, hatékonyan felhasználható módszer a zavarállapotok meghatározási elve.

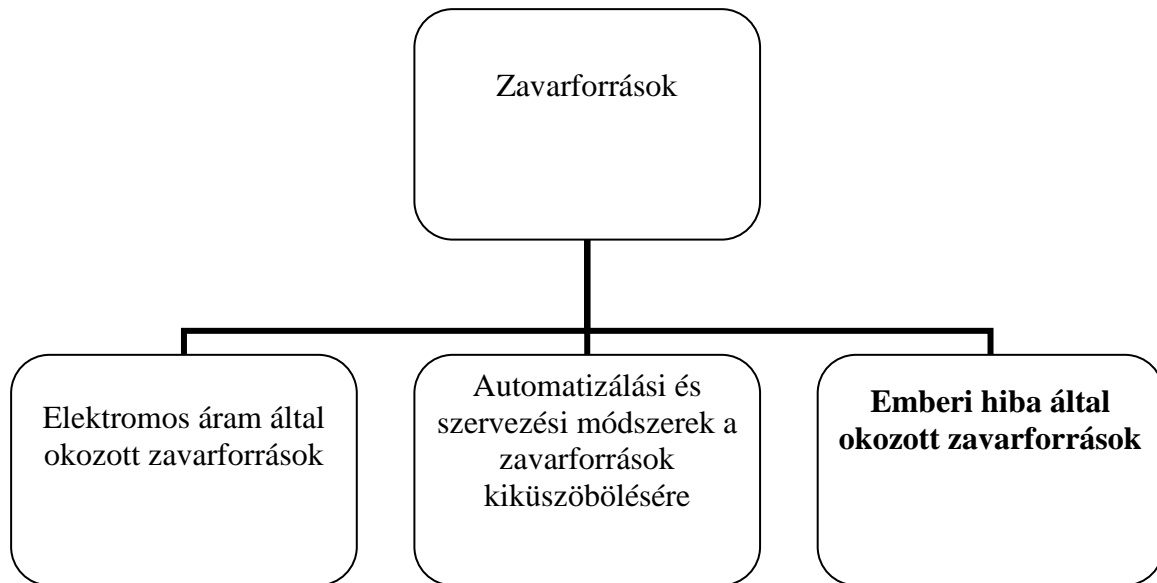
A zavarállapotok meghatározási elvének lényege az, hogy alkalmazásakor a vizsgálatokat két csoportra kell osztani az alábbiak szerint:

Az egyik csoportba azoknak a zavarállapotokat létrehozó zavarforrásoknak a vizsgálati tartoznak, amelyeknél a hibalehetőségek magából a rendszerből erednek. Különösen fontos azoknak a zavarforrásoknak a vizsgálata, amelyek a rendszerek kulcstulajdonságú paramétereit befolyásolják. Ennél a csoportnál az elemzés valószínűségelméleti modelleken (főként Boole- és Markov modelleken) alapszik.

A másik csoportba olyan zavarállapotok kerülnek, amelyek külső vagy belső zavarforrásokból erednek. Ezek lehetnek az emberi hibák és technikai problémák.

A zavarállapotok meghatározási elve vizsgálati módszer alkalmazásánál a technikai, illetve az egyéb (például emberi) forrásból eredő olyan zavarállapotok kerülnek górcső alá, amelyek hatással vannak a megbízhatóságra. Ezeknél a vizsgálatoknál hatásos a hibafa módszer alkalmazása, mivel a hibafa elemzés során az összes olyan zavarállapot reprezentálható, amely rendszerhibát okozhat.

A zavarállapotok okainak meghatározása különböző specifikumok figyelembevételével történik. A legfontosabb, automatizált rendszerekre általánosan elfogadott vizsgálatok a 12. ábrán láthatóak.



12. ábra. Zavarforrások

Elektromos áram által okozott zavarforrások vizsgálata esetén az elektromos berendezéseket és alkatrészeket mint esetlegesen a megbízhatóságot veszélyeztető zavarforrásokat elemzik. Ilyen elektromos berendezések lehetnek például: a felharmonikusokat termelő tirisztoros hajtások, a bekapcsolási tranziensek miatt feszültségeséseket okozó villamos gépek.

Amennyiben a komplex villamos rendszerek alrendszerei közti elektromos és szervezeti kapcsolatok kiválasztása helyesen történik, sok zavarforrás kiküszöbölhető. Vegyünk például egy olyan technológiai rendszert, amelyben több kalickás forgórészű aszinkronmotor működik. Ha ezeket a motorokat ugyanabban az időben kapcsolják be, az rövid idejű feszültségesést okozhat, ami az elektromos ellátórendszer zavarállapotához vezethet. Azonban, ha a motorok egy részét – a technológiai előírásokkal összhangban – késleltetve kapcsolják be, a zavarállapot kialakulása elkerülhető.

4. 3. 2. Az emberi tényező szerepe zavarállapotok kialakulásánál

A fentiek alapján belátható, hogy a komplex villamos rendszerek tervezése folyamán fontos megvizsgálni, hogy milyen zavarállapotokat okozhat az emberi tényező.

Egyértelmű, hogy az emberi tevékenység (beavatkozás) alapvető hatást gyakorol a komplex műszaki rendszerek megbízhatósági és biztonsági szintjére. A zavarállapotok kialakulásának fontosabb okai között is minden esetben megtalálható az emberi tényező. Ennek következtében az emberi tényező figyelembevételének nagy szerepet kell kapni a zavarállapotok elemzésénél is.

A HRA modellben az emberi hibajelenség fogalma a meghatározott emberi beavatkozás hibája. Az emberi hibához képest így több különböző ok vezethet a hibaeseményhez. A hibajelenség érinthet berendezéseket, ekkor meghibásodásról beszélünk, és folyamatokat, ekkor következik be zavarállapot.

A zavarállapot bekövetkezéséhez vezethet a hibás emberi beavatkozás éppúgy, mint a szükséges emberi beavatkozás elmulasztása. Ezekben belül elvétel, kihagyás és tévedés egyaránt előfordulhat, de nem hagyható figyelmen kívül a szándékos veszélyeztetés és a

rejtett hiba sem. A felsoroltakon belül bármely típusú hibajelenség akkor vezet zavarállapothoz, ha folyamatokat érint. A zavarállapotok is vezethetnek elfogadhatatlan következményekhez, amikor a zavarállapot kapcsán kritikus hibáról beszélhetünk.

A hibák 1. fejezetben említett másik csoportosítása alapján megállapítható, hogy zavarállapothoz vezethet mind az A-, mind a B-, mind a C-típusú emberi beavatkozás hibája. Elméletileg figyelembe kellene venni mindazon tényezőket, amelyek a fent felsorolt emberi hibatípusok bármelyikét okozhatják. Az összes ilyen tényező számosságát tekintve vélhetően a megszámlálhatóan végtelen kategóriába tartozik, ezért ajánlatos a tényezők változóinak olyan csoportjait létrehozni, amely különböző helyzetekre adaptálható. Egy ilyen csoportosítás lehet például a következő:

Az emberi hibához vezető tényezők két alapvető csoportját különböztetjük meg: a belső és a külső tényezőket. A belső tényezők további nagy csoportjai, amelyek legfőképpen a személyiségre, illetve az emberi viselkedésre építenek: fizikai, érzelmi, kognitív és szociális tényezők, amelyek további alcsoportokra bonthatók, mint például: személyiség típus, intelligencia, motiváció és képességek. A külső tényezők további kategóriái: szervezeti, illetve környezeti tényezők. Az egyes részcsoportokon belül külön vizsgálatok szükségesek annak megállapításához, hogy az adott hiba milyen mértékben vezethető vissza az egyes tényezőkre.

Nézzünk meg most egy konkrét példát, amely emberi tényezőn alapuló zavarállapothoz vezethet: az időbeosztásból eredő hibák. A működési folyamatok egyik alapelve az a feltételezés, hogy a dolgozók elvárhatóan és a szabályoknak megfelelően viselkednek munkaidejük beosztását illetően. Mindig időben kezdik a munkát, az esetleges forgást megfelelő időben kezdik, és meghatározott idő alatt hajtják végre, a tervezett és megengedett időben tartanak szünetet, és így tovább. A valóságban azonban ez nem történik ilyen szabályosan. Egy, az Egyesült Királyságban végzett felmérés [37] alapján azt állapították meg, hogy a potenciális termelési idő csaknem egyharmada kárba vész a leállások, kiterjesztett szünetek és a nem folytonos forgás következtében. A kieső idő nem csak a termelésben jelent visszaesést, de zavarállapot kialakulását is okozhatja.

Az emberi tényező ismerete és tudatosítása elsősorban a zavarállapotok kialakulásának megelőzésében játszik szerepet, s ezért fontos helye van a tervezési folyamatokban. Az emberi tényező figyelembevételével tehát közvetetten növelhető a komplex rendszerek megbízhatósága.

4. 4 Az emberi tényező matematikai modelljeinek felhasználása a védelmi szféra egyetemi matematikaoktatásában [84]

4. 4. 1. Matematika a műszaki felsőoktatásban

A mérnöktiszt képzésben a ZMNE-n, és más felsőoktatási intézmények mérnökképzésében a matematika alapozó tárgy.

Galilei szavait idézve: "A természet könyve a matematika nyelvén íródott". A mérnökhallgatók, így a mérnöktisztek matematika oktatásában a cél ennek a „nyelv”-nek a megtanítása. A matematika nyelvének betűi a jelölések, szavai a definíciók, mondatai a tételek, a beszéd pedig maga a matematika gondolatmenete. A tananyag strukturálásánál elengedhetetlen feltétel, hogy ne maradjanak ki egyes lépcsőfokok, ezért a középiskolai tanulmányokra alapozva lépésről lépésre kell haladni az ismeretek elsajátításában. A

matematika segítségével fejleszthető a hallgatók gondolkodási és feladatmegoldó képessége, amely a mérnöki munka elengedhetetlen része. Olyan alkalmazásokat érdemes mutatni, amelyek nem igénylik a felsőbb mérnöki tárgyak ismeretanyagát, mégis széleskörűen felhasználhatók.

4. 4. 2. A matematikaoktatás céljai

A mérnök szakos hallgatók oktatásában általában több száz éves matematikai eredmények szerepelnek, hiszen a mérnökképzés esetében a matematika alapozó tárgy. A definíciók és tételek matematikailag teljesen pontos és szabatos ismertetésén és szemléltetésén túl a fontosabb összefüggések felvázolása, a logikus gondolkodáshoz és az önálló ismeretszerzéshez szükséges képességek fejlesztése a matematikaoktatás elsődleges célja. Az elméleti matematikatudáshoz szorosan és szervesen kapcsolódik a feladatmegoldás. Egy-egy egyszerű, szemléltető példa után a gyakorlati feladatok (példák) nehézségi fokozat szerinti emelkedő színvonalra jellemző az oktatásban. Az elhangzott ismeretek alkalmazása mellett fokozott figyelmet kell fordítani a gyakorlat elméletformáló hatására is.

Az adott tananyagot több oldalról megközelítve, lehetséges egyszerűsítések szemléltetésével jobban elmélyíthető a hallgatók ismerete és jobban fejleszthető gondolkodási képességük. Fontos, hogy a szükséges matematikai gondolkodást a hallgatók elsajátítsák, és alkalmazni tudják a feladatmegoldásban. Ez a feladatmegoldó képesség az alapja a későbbi mérnöki tevékenységnek is. A mérnök szakos hallgatók számára az elméleti tudás megszerzésén túl alapvető fontosságú és kikerülhetetlen a problémamegoldás és a problémamegoldó készség fejlesztése [85].

Péter Rózsa, a híres magyar matematikus, a matematikát népszerűsítő, 1945-ben laikusok számára írt művének bevezetőjében ezt írta:

„Én nem azért szeretem a matematikát, mert – így mesélték nekem – alkalmazni lehet a technikában, hanem azért, mert szép.”

Ez a mondat azonban az 1969-es negyedik kiadásban így hangzik:

„Én nem csak azért szeretem a matematikát, mert alkalmazni lehet a technikában, hanem főleg azért, mert szép”[86].

A matematika szépsége mellett érdemes a hallgatóknak új alkalmazási lehetőségeket is mutatni, olyanokat, amelyekre munkájuk során szükségük lehet, amelyek érthetők, hasznosak, és nem utolsó sorban érdekesek is. Különösen fontos olyan alkalmazást keresni, amely nem igényli a felsőbb évek mérnöki tudásanyagát, ezzel együtt azonban a mérnöki munkában is használható.

4. 4. 3. Az emberi tényező matematikai modelljeinek helye van a matematikaoktatásban

Az 1. fejezetben szó volt arról, hogy az ipari nagyvállalatoknál a munkafolyamat tervezése mindig nagy kihívás. A megfelelő elméleti tervezések ellenére a munkafolyamat sokszor nem az elvárásoknak megfelelően alakul. A mérnökök gyakran túlbecsülik az emberi munkavégzés hatásosságát és hatékonyságát. Másrészt viszont az ember képes helytállni előre nem várt helyzetekben, és képes olyan megoldásokra, amelyek a veszélyhelyzetek káros következményeit mérséklik.

A mérnökök számára a megoldás kulcsa az, hogy egyre jobban megismerjék az emberi tényezőnek a mérnöki tervek kivitelezésénél lehetséges hatásait. Nagyon fontos már a tervezési folyamat elején tudatában lenni ezeknek a hatásoknak, minthogy ilyenkor még könnyen és kis költséggel módosíthatók a tervek megfelelő részletei.

Az emberi tényező hatásainak megismeréséhez nyújthat alapvető segítséget a matematikai modellek bemutatása. Az eredmények felhasználásával nem csak a már gyakorló mérnökök munkája egyszerűsíthető és pontosítható, hanem a felsőoktatásban történő alkalmazás bevezetésével a leendő mérnökök számára is a mai kor kihívásaihoz alkalmazkodó és a matematika új felhasználását bemutató módszert adhatunk.

A katonai és műszaki felsőoktatás mellett, a fentiekből következően, a gazdasági felsőoktatás számára is fontos kiegészítő tananyag lehet az emberi tényező vizsgálata.

4. 5. Részkövetkeztetések

A 4. fejezetben olyan – egymástól adott esetben nagyon távol eső – területeket mutattam be, ahol az emberi tényező szerepének felismerése, és a meglévő modellek tudatos alkalmazása lehetséges és szükséges.

Az emberi tényezővel kapcsolatos kutatások eredményeinek felhasználásával megmutattam, hogy a katasztrófavédelmi helyzetértékelés emberi hiba-okokból bekövetkező problémái sikeresen kiküszöbölhetők, és javaslatot tettem a helyzetértékelő csoportok felépítésére. Javaslatom segítséget nyújthat a helyzetértékeléssel kapcsolatos új kihívásoknak való megfelelés és a megelőzés tekintetében egyaránt.

Felhívtam a figyelmet az emberi tényező szerepére a veszélyhelyzeti kommunikáció területén, és megoldásokat javasoltam konkrét, a veszélyhelyzeti kommunikáció során bekövetkező emberi hibák lehetséges javítására.

Példát mutattam arra, hogy az emberi tényező zavarállapotok kialakulásához is vezethet, ezáltal bizonyítottam, hogy az emberi tényezővel kapcsolatos eredmények a zavarállapotok meghatározási elve vizsgálati módszerben is felhasználhatók.

A katonai/műszaki felsőoktatás alapozó matematika oktatásának céljait áttekintve megmutattam, hogy az emberi tényező matematikai modelljei az oktatásba beilleszthető, hasznos alkalmazások.

Van azonban sok olyan tudományterület is, ahol – bár az emberi tényező szerepe szintén megkerülhetetlen – kisebb hangsúlyt fektetnek az eredmények alkalmazására, vagy teljesen figyelmen kívül hagyják az emberi tényezőt. Az ilyen területek feltérképezése, a kis lépésekben történő szemléletváltás, és az emberi tényező általános figyelembevétele, valamint az eredmények folyamatosan bővülő körének felhasználása a jövő útja.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Az emberi megbízhatósági elemzés alapjainak dolgozatomban szempontjából leglényegesebb pontja az emberi megbízhatóság számszerűsítése, amely magában foglalja az emberi hibavalószínűség (HEP) kiszámítását. A HEP meghatározásának a szakirodalomban felsorolt problémáit kiegészítettem a felelősség kérdésével.

A kockázatértékeléssel szemben napjainkban támasztott követelményeknek leginkább az integrált kockázatértékelés felel meg. A kockázatértékelési folyamat átfogó tervében az emberi tényező vizsgálatát a gyakoriságbecslés részfeladataként értelmezik, s így az emberi tényező érzelmi része nem kap szerepet a folyamat előző, illetve párhuzamos lépéseiben: a veszélyazonosításnál, a baleseti forgatókönyvek modellezésénél és a következményelemzésnél. Ezért javaslom az integrált kockázatértékelésben az emberi tényező érzelmi részének is a figyelembevételét már az első lépéstől kezdve.

Az emberi tényező vizsgálatával foglalkozó, a dolgozatban szereplő módszerek egy része teljes HRA módszer, amelyek mindegyikét olyan részletességgel mutattam be, ami matematikai modelljük megértését lehetővé teszi. A számos HRA módszer közül olyanokat választottam ki, amelyek a matematikai modellezés szempontjából fontosak, illetve egymástól eltérőek. Ezek a módszerek: az ATHEANA, a CREAM, a HCR, a HEART, a HERMES, a THEA és a THERP.

A dolgozatomban ismertetett HRA módszerek matematikai modelljei nagyon eltérőek. Vannak szinte kizárólag elemi eszközöket felhasználó módszerek, vannak különböző valószínűség-eloszlásokat alkalmazó módszerek, és van olyan módszer is, amely bizonyos szinten megkérdőjelezi a matematikai modellezés szükségességét és lehetőségét. E különbségek ellenére mindegyik módszer alkalmazhatósága gyakorlati bizonyítást nyert. Ezzel megmutattam, hogy teljesen különböző matematikai modellek egyformán jól alkalmazható, az emberi megbízhatóság becslésére használt módszerekre vezetnek.

Dolgozatomban modellezésről van szó, és a modell axiomatikus rendszer is egyben. Így az, ami axiómarendszerekről elmondható, matematikai modellekre is érvényes. Ebből következően, bármely elmélet, amely a matematika triviális formájánál többet foglal magában, Gödel tételének megszorítása alá esik, s így nem lehet teljes. Azaz, bebizonyítottam, hogy az emberi tényező matematikai modellezése sem lehet teljes. Gyakorlati szempontból azért lényeges a Gödel-tétel segítségével történő bizonyítás, mert ez az a tétel, amely egzakt módon fejezi ki a dolgozatban tárgyalt probléma megoldhatatlanságát, vagyis azt, hogy mivel a valóság általunk belátható része véges, ezért bármely modell felállításánál van a valóságnak olyan része, amelyre az nem terjed ki. A Gödel-tétel, amely éppen a matematika „hiányosságairól” szól, segít megérteni azt is, hogy a megoldhatatlanság, vagyis az, hogy nem létezik „legjobb” modell az „emberi tényező”-jelenségre, nem jelent kudarcot.

Az emberi megbízhatóság becslésére tehát alkalmazni kell a módszereket, amelyek – mint láttuk –, nem kiegészítik egymást, hanem külön-külön jól működnek, és a megbízható kockázatértékelés érdekében a matematikai modelljeik folyamatos fejlesztésére van szükség. A folyamatos fejlesztés lehetősége pedig közvetlen következménye a kutatási hipotézisként megfogalmazott, majd bizonyított állításomnak, amely szerint nincs „legjobb modell” az „emberi tényező”-jelenségre.

A matematikai modellek kidolgozása és fejlesztése területén az alábbi önálló eredményekre jutottam:

A történeti áttekintés és a tudományos megközelítés világosan rámutat, hogy az emberi tényező kitüntetett szerepének felismerése megtörtént, és hogy az emberi tényezővel kapcsolatos kutatások évtizedek óta jelen vannak a világban. Az emberi hibázást kategóriákba sorolták, az emberi megbízhatósági vizsgálatok széles körű alkalmazását és fejlesztését szorgalmazzák. Az emberi hibák egy kategóriája, a szándékos veszélyeztetés azonban még ma is kisebb figyelmet kap a megérdemelnél. Reason eleve kizárja ebből a kategóriából azokat a tevékenységeket, amelyek szándéka a károkozásra irányul, illetve definíciója alapján ezeket nem is tekinti hibának. Amennyiben azonban az emberi hibát mint az elvárt és a megvalósult tevékenység vagy viselkedés eltéréseinek következményét tekintjük, a szándékos károkozás is hiba, hiszen eltér az elvárt emberi viselkedéstől. A valóságban pedig az ilyen típusú, szándékos cselekvések nagyon súlyos következményekkel járnak, valamint számukat tekintve sem lehet ma már „kis valószínűségű”, elszigetelt eseményeknek tekinteni őket. Ezért javaslom bizonyos esetekben (például egyéni szándékos károkozás esetén) a szándékos károkozás fogalmát is hibaként kezelni, és más esetekben is mérlegelni, hogy az adott szándékos károkozás tekinthető-e hibának. A megfelelő esetekben a szándékos károkozás emberi hibaként való kezelése azért fontos, mert lehetővé teszi, hogy az emberi tényezővel kapcsolatos kutatásokban helyet kapjon, ami a megelőzés sarkalatos pontja.

Emellett azonban a hagyományos értelemben vett szándékos veszélyeztetés is súlyos probléma. Dolgozatomban felállítottam egy egyszerű matematikai modellt, arra alapozva, hogy a szándékos veszélyeztetés a betartandó szabályok mennyiségével van összefüggésben. A betartandó szabályokat a betartási nehézséggel súlyozva kapott K értéket kell az adott munkakörnyezetben vizsgálni. Létezik egy (az adott munkakörnyezettől és feladattól függő) olyan K_0 érték, amelyre $K < K_0$ esetén nem történik (vagy csak elegendően kicsi valószínűséggel történik) szándékos veszélyeztetés, míg $K > K_0$ esetén történik (vagy nagy valószínűséggel történik) szándékos veszélyeztetés. Cél az adott feladatnak megfelelő és elégséges szabályok olyan rendszerének felállítása, amelyben $K < K_0$.

A dolgozatomban elemzett HRA módszerek mindegyike valamilyen módon foglalkozik PSF típusú tényezőkkel. A PSF típusú tényezők elemzése a HRA módszerek fontos része, de önállóan is tekinthető matematikai modellnek az emberi tényező egy-egy aspektusának leírása, amely később beépíthető a HRA módszerbe. A PSF típusú tényezők közül kiemeltem a stressztényezőt. A THERP módszerre és az általam tanulmányozott, ezzel kapcsolatos katonai szakirodalomra hivatkozva az alábbi következtetésre jutottam:

A stressz és a fáradtság együttes hatása bizonyos körülmények között nagyobb, mint az egyes hatások összege, míg más körülményeknél a két hatás kiegyenlítődése figyelhető meg. Nevezetesen:

1. Extrém nagy stressz szintnél a fáradtság (F) és a stressz szint (S) egyesített hatása ($(F+S)_h$) lényegesen nagyobb az egyes hatások összegénél.
 $(F+S)_h \gg F_h + S_h$

2. Nagyon alacsony és optimális stressz szintnél a fáradtság hatása egyenes arányban csökkenti a teljesítmény (T) hatékonysági szintjét. $T|F_h = \frac{T}{F_h}$, ha $S_0 \leq S_h \leq S_{opt,max}$.
3. Mérsékelt magas stressz szint esetén azonban a stressznek és a fáradtságnak a teljesítményre gyakorolt hatása kiegyenlíti egymást. $T|(F+S)_h = T$.

A PSF típusú tényezők közül ugyancsak fontosnak tartottam kiemelni a populációs sztereotípiákat. A populációs sztereotípiákból adódó problémák ma még Magyarországon nem tartoznak a legsürgetőbb megoldandó feladatok közé. A munkaerőpiaci vándorlással azonban idővel ezzel a problémával is szembe kell majd nézni. Mivel veszélyhelyzet esetén a tanult viselkedés helyett a populációs sztereotípiák szerinti viselkedés következik be, ezért előrelátóan fel kell mérni, és tudatosítani kell azokat a szituációkat, munkaköröket, amelyekben az ilyen típusú hiba súlyos következményekkel járhat. Az ilyen munkakörök betöltésére csak a megfelelő populációs sztereotípiákkal rendelkező alany felvétele javasolt.

A matematikai modellek kidolgozását az alábbi elvek figyelembevételével tettem meg: Fontos olyan matematikai modellek alkalmazása, amelyek széles körben, – legalább lényegüket tekintve –, megérthetőek, és a lehetőségek szerint referenciaként biztosítani kell a felhasználók részére a matematikai modell dokumentációját.

A CREAM alapszámítás elemi matematikai alapokra épül, és így a módszer leírásában a matematikai modell bizonyos részletei csak utalásszerűen jelennek meg. A fenti célok értelmében ezért fontosnak tartottam a modell részletes matematikai kidolgozását, kihangsúlyozva, hogy mely pontokon volt erre szükség. A CREAM alapszámítás gyakorlati alkalmazhatóságát egy feltételezett folyamat elemzésén keresztül mutattam be.

A HCR módszer rendelkezésre álló számadataiból az alábbi összefüggéseket állapítottam meg a paraméterekre:

Alakparaméter: $\beta_j = 0,1j^2 - 0,6j + 1,7$

Elhelyezkedési paraméter: $c_{\beta j} = -0,1j + 0,8$ $j=1, 2, 3$

Skálaparaméter: $c_{\mu j} = 0,19j + 0,22$

Ezzel bizonyítottam, hogy az elhelyezkedési és a skálaparaméter lineáris összefüggést mutat a mentális feldolgozás tekintetében.

A HEART módszer hozzáférhető irodalmában a hibavalószínűségekre vonatkozó konkrét matematikai képlet nem szerepel. A fellelhető adatok és egy konkrét példa alapján kidolgoztam az emberi hibavalószínűségnek a HEART módszerben alkalmazható általános matematikai képletét, amely a következő:

$$\text{Emberi hibavalószínűség} = \min \left\{ 1; HEP \cdot \prod_{i=1}^{38} ((\max EPC_i - 1) \cdot APOA_i + 1) \right\}$$

A THERP módszerben ismert kettőzési szabály következményeként azt állapítottam meg, hogy az első hiba szerepe a balesetek kialakulásánál szignifikáns, valamint széles körben általánosítható. Az első hibát követő hibajavítási kényszer sok esetben súlyosabb hibához vezet, mint ha az eredeti hiba észrevétlen maradt volna, emellett az ember a saját hibáját

sokkal nehezebben javítja, mint valaki másét. A rendszertervezésnél is előnyt élvezhet egy egyszeri hiba a javítás hibáival szemben. Más kérdés, hogy valójában megtervezhető-e egy ilyen rendszer, illetve problémát jelenthet a több, egymást követő hiba. Mindazonáltal, az első hiba utáni történések azok, amelyek a folyamat jellegét döntően meghatározzák. Idő-stressz helyzetben még az is elmondható, hogy extrém stresszhelyzetben 60 másodpercen belül szinte biztos a hiba (a valószínűsége közelítőleg 1!) Ezért javaslom az „első hiba” mint fogalom bevezetését és fontosságának tudatosítását.

A kockázat egyenletes eloszlásának preferenciájával kapcsolatban bebizonyítottam, hogy az összkockázat érzékelésénél történő, az egyenletesség preferenciája irányába való kognitív emberi eltolódás matematikailag összegminimalizálással modellezhető.

Kidolgoztam a kockázatos események szubjektív valószínűségére vonatkozó SÖN-formula módosítását:

$$\psi_m = \frac{\lg(n+1)}{\sum_{i=1}^n a_i \lg(n-i+2) + \lg n + \sum_{i=1}^n \lg(1 + (\bar{a} - a_i)^2)}$$

A módosított SÖN-formula teljes egyenletesség esetén is alkalmazható, és ilyenkor a nevező harmadik tagjában valóban az elvárható 0 értéket adja, az eredeti formula egyéb sajátosságait pedig megtartja. Az összeg logaritmus helyett a logaritmusok összegét véve az átlaghoz közelebbi értékek a nevezőben kisebb növekedést adnak, ami a szubjektív valószínűség értékét növeli, tehát a célnak jobban megfelel. Ezzel együtt is ki kell azonban küszöbölni a $\lg 0$ lehetőséget, ezért $\lg(\bar{a} - a_i)^2$ helyett $\lg(1 + (\bar{a} - a_i)^2)$ szerepel a módosított képletben.

Végül olyan – egymástól adott esetben nagyon távol eső – területeket mutattam be, ahol az emberi tényező szerepének felismerése, és a meglévő modellek tudatos alkalmazása lehetséges és szükséges.

A gyakorlati alkalmazhatóság szempontjából hangsúlyozottan kiemelendő, hogy az emberi tényezővel kapcsolatos kutatások eredményeinek felhasználásával megmutattam, hogy a katasztrófavédelmi helyzetértékelés emberi hiba-okokból bekövetkező problémái sikeresen kiküszöbölhetők. Az eredmények felhasználásával javaslatot tettem a helyzetértékelő csoportok felépítésére. A katasztrófavédelmi helyzetértékelés akkor járul hozzá az emberi hiba-okokból bekövetkező káresemények sikeres kiküszöböléséhez, ha azt az általam kidolgozott összetételű (optimális felépítésű) helyzetértékelő csoportok végzik. Javaslatom segítséget nyújthat a helyzetértékeléssel kapcsolatos új kihívásoknak való megfelelés és a megelőzés tekintetében egyaránt.

Felhívtam a figyelmet az emberi tényező szerepére a veszélyhelyzeti kommunikáció és a zavarállapotok meghatározási elve vizsgálati módszer területén, és megoldásokat javasoltam konkrét felhasználásra.

A katonai/műszaki felsőoktatás alapozó matematika oktatásának céljait áttekintve megmutattam, hogy az emberi tényező matematikai modelljei az oktatásba beilleszthető, hasznos alkalmazások.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Bebizonyítottam, hogy az emberi megbízhatóság becslésére alkalmas módszereknek, s így az emberi tényezőnek nincs, és nem is alkotható meg egy kizárólagos és teljes olyan matematikai modellje, amely legjobb modellnek tekinthető.
2. Kidolgoztam a CREAM (Cognitive Reliability and Error Analysis Method - Kognitív megbízhatósági és hibaelemzési módszer) alapszámítás részletes matematikai modelljének hiányzó részleteit és egy feltételezett folyamat elemzésén keresztül mutattam be a módszer gyakorlati alkalmazhatóságát, irodalmi hivatkozásban szereplő konkrét példa alapján megalkottam a HEART (Human Error Assessment and Reduction Technique - Emberi hibatényező meghatározó és csökkentő módszer) emberi hibavalószínűségekre vonatkozó általános matematikai képletét, a HCR (Human Cognitive Reliability - Emberi kognitív megbízhatóság) módszer paramétereire megállapított összefüggésekkel pedig bizonyítottam, hogy az elhelyezkedési és a skálaparaméter lineáris összefüggést mutat a mentális feldolgozás tekintetében.
3. Bebizonyítottam, hogy a kockázat egyenletes eloszlásának preferenciájával kapcsolatban az összkockázat érzékelésénél történő, az egyenletesség preferenciája irányába való kognitív emberi eltolódás matematikailag összegminimalizálással modellezhető. Kidolgoztam a kockázatos események szubjektív valószínűségére vonatkozó SÖN-formula módosítását.
4. Kimutattam, hogy a szándékos károkozás emberi hibaként történő kategorizálása bizonyos esetekben indokolt, és ezért javasoltam a Reason-féle hibakategóriák átgondolását. Megalkottam és bevezettem az „első hiba” fogalmát, valamint matematikai modellt adtam a szándékos veszélyeztetés kiküszöbölésére.
5. Kidolgoztam a stressz és a fáradtság teljesítményre vonatkozó együttes hatásáról szóló tételt, miután a PSF típusú tényezők közül kiemelttem a stressz tényezőt.
6. Elsőként javasoltam az integrált kockázatértékelésben az emberi tényező érzelmi részének is a figyelembevételét már az első lépéstől kezdve.
7. Az emberi tényezővel kapcsolatos kutatások eredményeinek felhasználásával a katasztrófavédelmi helyzetértékelés akkor járul hozzá az emberi hiba-okokból bekövetkező káresemények sikeres kiküszöböléséhez, ha azt az általam kidolgozott összetételű (optimális felépítésű) helyzetértékelő csoportok végzik.

AJÁNLÁSOK

Dolgozatom eredményeit ajánlom első sorban a HRA módszerek fejlesztésénél figyelembe venni.

A katonai/műszaki felsőoktatás alapozó matematika oktatásának céljait áttekintve megmutattam, hogy az emberi tényező matematikai modelljei az oktatásba beilleszthető, hasznos alkalmazások. Ezért ajánlom a matematikai modellek oktatását a katonai/műszaki és gazdasági felsőoktatás alapozó matematika tantárgyán belül.

Három különböző területen bemutatam az emberi tényezővel kapcsolatos kutatás alkalmazási lehetőségeit. Ezekon a területeken javaslom a folyamatos nyomonkövetést, és az adódó új eredmények alkalmazását.

Van azonban sok olyan tudományterület is, ahol – bár az emberi tényező szerepe szintén megkerülhetetlen – kisebb hangsúlyt fektetnek az eredmények alkalmazására, vagy teljesen figyelmen kívül hagyják az emberi tényezőt. Az ilyen területek feltérképezése, a kis lépésekben történő szemléletváltás, és az emberi tényező általános figyelembevétel, valamint az eredmények folyamatosan bővülő körének felhasználása a jövő útja.

TÉMAKÖRBŐL KÉSZÜLT PUBLIKÁCIÓIM

1. Zsigmond, Gyula, Kovács, Judit: Determination of Disturbance States with a Special Focus on the Human Factor

Bolyai Szemle 2007/3, pp. 187-193

2. Kovács Judit: A lineáris egyenletrendszerek Gauss-féle eliminációval történő megoldásának szerepe a villamosmérnök szakos hallgatók matematika oktatásában

Bolyai Szemle 2005/1, pp.138-146

3. Kovács Judit: Néhány gondolat a műszaki főiskolai matematika oktatásról

Bolyai Szemle 2007/1, pp. 244-248

4. Kovács Judit: Az emberi tényező szerepe komplex rendszerek kockázatelemzésében

Bolyai Szemle 2007/2, pp. 233-240

5. Kovács Judit, Tolvaj Balázs, Huszár András: Bioetika és az emberi tényező. Az emberi tényező bioetikai alkalmazási lehetőségének néhány kérdése

Hadmérnök III/2, pp. 51-59

6. Kovács Judit, Halász László: Az emberi tényező szerepe a katasztrófavédelmi helyzetértékelés folyamatában

Hadmérnök III/4, pp. 4-14

7. Kovács, Judit: Human factor in Risk Assessment

XXIII. Nemzetközi Kandó Konferencia 2006

ISBN: 963-7154-42-6.

8. Kovács, Judit: Some Applications of the Human Factor in Bioethics and Disaster Management

XXIV. Nemzetközi Kandó Konferencia 2008

ISBN: 978-963-7154-74-4

9. Kovács Judit: Az emberi tényező szerepe katasztrófhelyzetekben. A modellezés lehetőségének néhány kérdése

Tavaszi Szél 2007

ISBN: 978-963-87569-1-6

10. Kovács Judit: Az emberi tényező kommunikációs szerepének néhány kérdése
Veszélyhelyzeti Kommunikáció 2007 Konferencia

11. Kovács Judit: Az emberi tényező matematikai modellezése
II. Tudományos Szimpózium 2007
ISBN: 978-963-7154-61-4

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Rankin, W., Krichbaum, L.: Human Factors in Aircraft Maintenance, Integration of Recent HRA Developments with Applications to Maintenance in Aircraft and Nuclear Settings, June 8-10, 1998, Seattle, WA, USA
- [2] Cacciabue, P.C.: Human factors impact on risk analysis of complex systems
Journal of Hazardous Materials, Volume 71, Number 1, 7 January 2000, pp. 101-116(16)
- [3] www.zmne.hu/tanszekek/vegyl/personal/Balesetek 2007. március 18.
- [4] NEA (2003): Nuclear Regulatory Challenges Related to Human Performance
ISBN : 92-64-02089-6, OECD, Paris, 21 pages
- [5] Reason, James, Hobbs, Alan: Managing Maintenance Error- A Practical Guide, Ashgate Publishing Company, 2003]
- [6] Reason, James: Managing the Risks of Organizational Accidents, Ashgate Publishing Company, 2004].
- [7] OAH 3. 11. sz. Útmutató, Verzió száma: 1. 2006. szeptember
- [8] Lendvay Marianna: Katonai elektronikai rendszerek megbízhatóság-elemzése, Doktori (PhD) Értekezés, ZMNE, Budapest, 2007. p. 53
- [9] CSNI Technical Opinion Papers No.4 (2004) NEA 5068 , ISBN 92-64-02157-4
- [10] NEA: Analysis of incidents involving human factors. Paris, CSNI Report 137, 1987
- [11] NEA: Human factor related common cause failure. Paris, NEA/CSNI/R (95) 10, 1995
- [12] NEA: Research strategies for human performance. Paris, NEA/CSNI/R (97) 24, 1997
- [13] Nuclear Regulatory Challenges Related to Human Performance NEA (2003),
ISBN 92-64-02089-6
- [14] NEA: CSNI Technical Opinion Papers No. 4. Paris, NEA 5068,
ISBN 92-64-02157-4, 2004
- [15] European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General Directorate C - Scientific Opinions C1 - Follow-up and dissemination of scientific opinions The Future Of Risk Assessment In The European Union The Second Report On The Harmonisation Of Risk Assessment Procedures 10-11 APRIL 2003
- [16] Guidelines For Integrated Risk Assessment And Management In Large Industrial Areas IAEA, Vienna, 1998 IAEA-TECDOC-994 ISSN 101-M289
- [17] Skriver, Jan: The Human Factor Human and organisational aspects of RCA, part I and II Resilience IAEA Workshop on Root Cause Analysis 9-13 November, 2009
- [18] Isaac, Anne, Shorrock, Steven T, Kirwan, Barry: Human error in European air traffic management: the HERA project
Reliability Engineering & System Safety, Volume 75, Issue 2, February 2002,
pp. 257-272
- [19] NUREG/CR-4835, U. S. Nuclear regulatory commission, Washington, DC (1989)
- [20] Swain, A.D., Guttman, H.E.: Final Report. Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications US Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC, USA, Report No NUREG/CR-1278, 1983

- [21] Kirwan, Barry, Kennedy, Richard, Taylor-Adams, Sally, Lambert, Barry: The validation of three Human Reliability Quantification techniques — THERP, HEART and JHEDI: Part II — Results of validation exercise
Applied Ergonomics, Volume 28, Issue 1, February 1997, pp. 17-25
- [22] Kirwan, Barry, Gibson, W. Huw, Hickling, Brian: Human error data collection as a precursor to the development of a human reliability assessment capability in air traffic management
Reliability Engineering & System Safety, Volume 93, Issue 2, February 2008, pp. 217-233
- [23] www.bhopal.com 2008-01-20
- [24] www.bhopal.net 2008-01-20
- [25] Cooper, S. E., Ann, M. R. -S., John, W., Gareth, W. P., Dennis, C. B., William, J. L., Taylor, J. H. , Barriere, M. T.: A technique for human error analysis (ATHEANA). NUREG/CR-6350. USNRC, Washington, DC, May 1996. v. 1 NUREG-1880 ATHEANA User's Guide Final Report, U.S. Nuclear Regulatory Commission Office of Nuclear Regulatory Research, Washington, DC 20555-0001
- [26] Hollnagel, E.: Cognitive Reliability and Error Analysis Method—CREAM, 1st edn. Elsevier Science, Oxford, England (1998) ISBN 0-08-0428487
- [27] Hannamann, G. W., Spurgin, A. J., Lukic, Y. D.: Human cognitive reliability model for PRA analysis (NUS-4531) Palo Alto, CA: Electric Power Research Institute (1984)
- [28] Rasmussen, Jens: Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. IEEE Transactions on Systems, Man, & Cybernetics. Vol SMC-13(3), May-Jun 1983, pp. 257-266
- [29] Williams, J. C.: HEART – a proposed method for assessing and reducing human error. Ninth Advances in Reliability Technology Symposium, NEC, Birmingham, June, AEA Technology, Culcheth, Warrington (1986) vagy WILLIAMS, J.C. HEART – A proposed method for achieving high reliability in process operation by means of human factors engineering technology in Proceedings of a Symposium on the Achievement of Reliability in Operating Plant, Safety and Reliability Society. NEC, Birmingham (1985)
- [30] Kirwan, B.: Human error identification techniques for risk assessment of high risk systems—Part 1: review and evaluation of techniques. Applied ergonomics 29(3), pp. 157–177 (1998(a))
- [31] www.laas.fr/IFIPWG/Workshops&Meetings/46/05-Harrison.pdf 2010-04-21
- [32] Cacciabue, P.C.: Human error risk management for engineering systems: a methodology for design, safety assessment, accident investigating and training. Reliability engineering and system safety 83, pp. 229–240 (2004)
- [33] Cacciabue, P. C., Cojazzi, G., Parisi, P.: A dynamic HRA method based on a taxonomy and a cognitive simulation model. Probabilistic Safety Assessment and Management '96 pp. 138-145 New York Springer (1996).
- [34] Cacciabue, P.C.: Human error risk management methodology for safety audit of a large railway organisation Applied Ergonomics, Volume 36, Issue 6, November 2005, pp. 709-718
- [35] Fields, B., Harrison M., Wright, P.: THEA: Human error analysis for requirements definition. Technical Report YCS-97-294, The University of York, Department of Computer Science, UK, 1997
- [36] Norman, D. A. : The Psychology of Everyday Things. Basic Books, 1988

- [37] Baines, T. S., Asch, R., Hadfield, L., Mason, J.P., Fletcher, S., Kay, J.M.: Towards a theoretical framework for human performance modelling within manufacturing systems design Cranfield University, School of Industrial and Manufacturing Science, MK43 0AL Bedfordshire, UK Received 23 January 2004; received in revised form 19 November 2004; accepted 28 January 2005 Available online 9 March 2005
- [38] Swain, A. D., Guttman, H. E.: Handbook of human reliability analysis with emphasis on nuclear power plant applications. Washington D. C. NUREG/CR-1278, 1983
- [39] Isaac, A., Shorrock, S.T., Kirwan, B.: Human error in European air traffic management: the HERA project. Reliability engineering and system safety 75, pp. 252–272 (2002)
- [40] Tóthné Szternák Nóra: A fokozott nappali aluszékonyosság, mint stressztényező a katonai szolgálatban. KARD ÉS TOLL 2006/2 pp. 165-172
- [41] Bolgár Judit: Pszichikai kifáradás kiképzési és éles helyzetben különös tekintettel a munkahelyi stresszre és a posttraumás stresszre Konferencia előadás és publikáció „A lélek védelme” pszichológiai konferencián 2004.10.14. Szolnok
- [42] Engländer Tibor: Viaskodás a bizonytalannal. A valószínűségi ítéletalkotás egyes pszichológiai problémái, Akadémiai Kiadó, 1999.
- [43] Benedikt, S.-Kun, I.-Szász, G.: Individual and Collective Risk Perception in Decision Criteria. "Cybernetics and Systems 2004"(edited by Robert Trappl). University of Vienna and Austrian Society for Cybernetics Studies, Volume 1, pp. 321-325 (2004)
- [44] Bartha László: Röntgenasszisztensnők interperszonális érzelmeinek szerepe a betegellátásban Magyar pszichológiai szemle 34. köt. 3. sz. / 1977 pp. 257-268
- [45] Vargha András: Matematikai statisztika pszichológiai, nyelvészeti és biológiai alkalmazásokkal Pólya Kiadó Bp. 2000. ISBN 96385809 5 x pp. 284-285
- [46] erg.bme.hu/oktatas/teir/gt524146/hra_peldakkal.pdf 2010-10-27
- [46] Bell, Julie, Holroyd, Justin: Review of human reliability assessment methods Prepared by the Health and Safety Laboratory for the Health and Safety Executive 2009
- [47] Original Seveso Directive 82/501/EEC ("Seveso I") council directive of 24 June 1982 on the major-accident hazards of certain industrial activities (82/501/EEC)
- [48] Mitchison, Neil, Porter, Sam (Eds.): Guidelines on a Major Accident Prevention Policy and Safety Management System, as required by Council Directive 96/82/EC (SEVESO II) ISBN 92-828-4664-4 EUR 18123 EN
- [49] U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1624, Revision 1, "Technical Basis and Implementation Guidelines for a Technique for Human Event Analysis (ATHEANA)," September 1999.
- [50] Gallaher, R. B. et al.: Sequence Coding and Search System for Licensee Event Reports, NUREG/CR-3905, Vol. 1–4, April 1985.
- [51] U. S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG/CR-6208, "An Empirical Investigation of Operator Performance in Cognitively Demanding Simulated Emergencies," July 1994]
- [52] www.math.ntnu.no/mmr2002/papers/contrib/Poz 2010-05-21
- [53] www2.emersonprocess.com/.../PM%20Rosemount%20Documents/ROS%203051CTLH%20Pressure%20Trans%2061508%20Cert%20C002%20 2010-05-21
- [54] Forester, John, Bley, Dennis, Cooper, Susan, Lois, Erasmia, Siu, Nathan, Kolaczowski, Alan, Wreathall, John: Expert elicitation approach for performing ATHEANA quantification Reliability Engineering and System Safety 83 (2004) pp. 207–220

- [55] Systems Reliability Assessment: Proceedings of the Ispra Course Held at the Escuela Tecnica Superior de Ingenieros Navales, Madrid, Spain, September 19-23, 1988, in Collaboration with Universidad Politecnica de Madrid
szerző: A. G. Colombo, Amalio Saiz de Bustamante, Commission of the European Communities Joint Research Centre. Ispra Establishment
Munkatárs A. G. Colombo Edition: illustrated Kiadó: Springer, 1990
ISBN 0792308379, 9780792308379
- [56] erg.bme.hu/oktatas/tleir/gt524146/hra_peldakkal.pdf 2010-10-27
- [57] Pocock, Steven, Wright, Peter, Harrison, Michael (Department of Computer Science University of York Heslington, York. YO10 5DD, UK):THEA: A technique for human error assessment early in design , Pocock, S., Harrison, M.D., Wright, P., Johnson, P.D. In Proceedings of the Human-Computer Interaction {INTERACT'01} {IFIP} {TC}.13 International Conference on human computer interaction, M. Hirose, pp. 247-254 2001.
- [58] NATO Research and Technology Organisation:RTO-MP-032 The Human Factor in System Reliability - Is Human Performance Predictable?
ISBN 92-837-1053-3 January 2001
- [59] www.aerb.gov.in/t/sj/psa.pdf 2009-03-21
- [60] Pluchino, Alessandro, Rapisarda, Andrea, Garofalo, Cesare: The Peter principle revisited: A computational study, *Physica A* 389 (2010) pp. 467-472
- [61] Wechsler, David: The range of human capacities, *Journal of Consulting Psychology* Volume 17, Issue 2, April 1953, p. 156
- [62] Annett, Marian: Cerebral asymmetry in twins: predictions of the right shift theory, *Neuropsychologia*, Volume 41, Issue 4, 2003, pp. 469-479
- [63] European Cooperation for Space Standardization: Space Product Assurance. Safety. ECSS-Q-ST-40C, 6 March 2009
- [64] Gazda Pál, Király László: A védelemgazdaság időszerű kérdései.
Hadtudomány 2003/2.
- [65] Ezhkova, Irina: Notes on Cognitive Relativity, Rationality and Clarity. *Cybernetics and Systems* 2004, Volume 1, pp. 326-331 2004, University of Vienna and Austrian Society for Cybernetics Studies, Vienna.
- [66] Szász, Gábor, Benedikt, Svetlana, Kun, István: A Risk-Averse Approach to Technical Design, *Cybernetics and Systems Research*, Proc. of the XX. European Meeting on Cybernetics and Systems, Trapp, R. (ed.), Austrian Society for Cybernetic Studies, Vienna, 2010. pp. 204-209
- [67] Marseguerra, M., Zio, E., Librizzi, M.: Human Reliability Analysis by Fuzzy "CREAM" Risk Analysis Vol 27 No 1 pp. 137-154 (2007)
- [68] Le Bot, P., Desmares, E. Bieder, C. Cara, F., Bonnet, J-L.: MERMOS: An EdF project to update the PHRA (Probabilistic Human Reliability Assessment) methodology, OECD Nuclear Energy Agency Specialists Meeting on Human Performance in Operational Events, Chattanooga, USA (October 13-17 1997)
- [69] Wei, Wu, Yoshikawa, H.: A pilot study on human cognitive reliability (HCR) by human model simulation. *Intelligent Information Systems. IIS apos;97. Proceedings* Volume 8, Issue 10, pp. 95 – 99
- [70] Kirwan, B.: The validation of three human reliability quantification techniques, THERP, HEART and JHEDI: Part 1 technique descriptions and validation issues. *Applied ergonomics*, 27, (6), pp. 359-373 (1996).
- [71] Kennedy, R., Kirwan, B., Summersgill, R.: Making HRA a more consistent science. In *Foresight & Precaution*, Eds. Cottam, M., Pape, R.P., Harvey, D.W., and Tait, J. Balkema, Rotterdam. (2000)
- [72] www.cs.elte.hu/~kope/oktatas/10tav/ma1.pdf 2010-09-03

- [73] Simonyi András: A Hilbert-program és Gödel nem-teljességi tételei, Magyar Filozófiai Szemle - 1999. 6.
- [74] Jaki, Stanley L.: The Relevance of Physics, Scottish Academic Pr (June 1992) ISBN-13: 978-0707307114
- [75] Spivey, Michael J., Grosjean, Marc, Knoblich, Günther: Continuous attraction toward phonological competitors, Proc Natl Acad Sci USA; v.102(29): pp.10393–10398, 2005 July 19
- [76] Négyesi Imre: Az információgyűjtés jövőképe, Hadtudományi Szemle 2008. 1. évfolyam 3. szám
- [77] Oreskes, Naomi, Shrader-Frechette, Kristin, Belitz, Kenneth: Verification, Validation, and Confirmation of Numerical Models in the Earth Sciences, Science 4 February 1994: Vol. 263. no. 5147, pp. 641 – 646
- [78] Kirwan, Barry: Validation Of Human Reliability Assessment Techniques: Part 1 - Validation Issues , Safety Science Vol. 27, No. I, pp. 25-41, 1997.
- [79] Kovács Judit, Halász László: Az emberi tényező szerepe a katasztrófavédelmi helyzetértékelés folyamatában Hadmérnök III/4, pp. 4-14
- [80] Clarke, David M.: Human Redundancy in Complex, Hazardous Systems: A Theoretical Framework, Safety Science ISSN 0925-7535, 2005, vol. 43, No.9, pp. 655-677
- [81] Sagan, S. D.: Limits of Safety: Organisations, Accidents and Nuclear Weapons, Princeton University Press, Princeton, NJ (1993).
- [82] www.emcom2007.kando.hu/prezentacio/kovacs_judit.doc - 2007-10-01
- [83] Zsigmond, Gyula, Kovács, Judit: Determination of Disturbance States with a Special Focus on the Human Factor Bolyai Szemle 2007/3, pp.187-193
- [84] Kovács Judit: Néhány gondolat a műszaki főiskolai matematika oktatásról Bolyai Szemle 2007/1 pp. 244-248
- [85] www.iskolakultura.hu/ikultura-folyoirat/acta/acta1.pdf 2010-09-03
- [86] Péter Rózsa: Játék a végtelennel (Typotex, Budapest, 1999.)