

Óbudai Egyetem

Doktori (PhD) értekezés



Alacsony biztonsági kockázatú, nem tervezett nukleáris események súlyozása és számszerű értékelésük módszere

Az értekezés szerzője: Hullán Szabolcs

Témavezető:

Prof. Dr. Kovács Tibor

Biztonságtudományi Doktori Iskola

Budapest, 2020. december

Szigorlati bizottság:

Elnök:

Prof. em. Dr. Berek Lajos egyetemi tanár, ÓE

Tagok:

Dr. habil. Berek Tamás egyetemi docens, külső - NKE

Dr. habil. Simon Ákos ny. egyetemi docens, külső - NKE

Nyilvános védés bizottsága:

Elnök:

Prof. em. Dr. Berek Lajos egyetemi tanár, ÓE

Titkár:

Dr. Kiss Gábor egyetemi docens, ÓE

Tagok:

Dr. Simon Ákos ny. egyetemi docens, külső - NKE

Dr. habil. Berek Tamás egyetemi docens, külső - NKE

Dr. Szűcs Endre, külső

Bírálok:

Opponens: Dr. Hanka László adjunktus, ÓE

Opponens: Dr. habil. Szunyogh Gábor ny. egyetemi docens, külső

Nyilvános védés időpontja:

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés.....	5
A téma aktualitása	5
A témaválasztás indoklása	6
Célkitűzések	8
Hipotézisek	9
A kutatómunka tudományos előzményei a szakirodalomban.....	9
1 A nukleáris biztonsággal kapcsolatos hatósági munka főbb elemei	11
1.1 Bevezetés.....	11
1.2 Az atomenergia békés és biztonságos felhasználásának garanciája	13
1.3 A nukleáris biztonság lényegesebb jogi alapelvei	13
1.4 A nukleáris biztonság műszaki alapelvei.....	17
1.5 A tervezési alap	22
1.5.1 A tervezési alap meghatározása	22
1.5.2 A tervezési alap kiterjesztése	23
1.6 A biztonságos tervezés alapvető elvei	25
1.7 A mélységi védelem	27
1.8 Sugárvédelem.....	31
1.9 A biztonsági kultúra	32
2 Az alacsonyabb biztonsági kockázatú, nem tervezett nukleáris események súlyozása és számszerű értékelési módszere.....	34
2.1 Az események biztonsági értékelésének célja.....	34
2.2 A módszer alkalmazásának feltételei.....	38
2.3 Az alacsony biztonsági kockázatú események súlyozását és számszerűsítését lehetővé tevő tényezők megválasztásának alapelvei.....	39
2.4 Az alacsony biztonsági kockázatú események biztonsági értékeléséhez szükséges tényezők meghatározásának menete	44

2.4.1 Az esemény biztonsági súlya	68
2.5 Az események biztonsági értékelése módszerének alkalmazási területei és korlátai	69
2.6 Az értékelő módszer alkalmazásának bemutatása	70
2.6.1 Az 1584. számú esemény (engedélyezett dózisterhelés-szint túllépése).....	71
2.6.2 Az 1584. számú esemény számszerű kiértékelése a pontrendszer alapján	81
2.6.3 Az 1162. számú esemény (nagynyomású szivattyú MŰSZ-ben meghatározott időszakot meghaladó üzemképtelensége).....	86
2.6.4 Az 1162. számú esemény értékelése.....	88
2.6.5 Az események értékelésének eredményei.....	91
3 Az eseményértékelési módszer kiterjesztése más, veszélyes üzem biztonsági eseményeinek számszerűsítésére	93
3.1 Az általánosítás célja	93
3.2 A biztonsági értékelés folyamata.....	94
3.3 A tényezők	95
3.4 A tényezők részletezése	98
3.4.1 Az esemény biztonsági súlya	118
3.5 Az általános eseményértékelési módszer használata.....	118
Összegzett következtetések	119
Új tudományos eredmények, tézisek.....	119
Az eredmények hasznosítási lehetősége.....	121
Irodalomjegyzék	124
Rövidítésjegyzék	134
Táblázatjegyzék	136
Ábrajegyzék	138
Köszönetnyilvánítás.....	139

BEVEZETÉS

A Paksi Atomerőmű 4 blokkjának beruházása a '70-es évek elején kezdődött, majd némi csúszással a '80-as években helyezték üzembe a 4 blokkot. Előtte építették meg a KFKI-ban a szintén szovjet tervezésű kutatóreaktort (ma Budapesti Kutatóreaktor), majd a magyar tervezésű oktatóreaktort a BME-n. Az akkori rendszernek megfelelően a magyar hatóságot szovjet mintára alakították ki, és nyomástartó edényekkel foglalkozott, és a szabályozás is átvette a szovjet mintát. Később, mikor önálló főosztály lett az akkori nyomástartó edényeket felügyelő hatóságon belül, megjelentek a csírái a nukleáris biztonság hatósági felügyeletének. 1988-89-ben egy jelentős átrendeződést követően megalakult a mai nukleáris biztonsági hatóság elődje, amelyet 1992-ben integráltak az Országos Atomenergia Hivatalba, ami az Országos Atomenergia Bizottság titkársági teendőit látta. Az OAB volt jogosult engedélyezni az atomerőmű üzembehelyezését és üzemeltetését. 1995-ben egy szervezeti átalakítást követően a feladatok között már határozottan megjelent a hatósági értékelés folyamata, amely elsősorban az üzemzavarok kivizsgálásában öltött testet. 1997-ben adta ki a kormány az új nukleáris biztonsági szabályzatokat, amelyek már szakítottak a korábbi, nyomástartó szemlélettel, és mind a 4 hatósági fő folyamat (engedélyezés, ellenőrzés, értékelés, érvényesítés) valamilyen szinten megjelent benne. Ebben az időszakban az engedélyezés kapta a fő szerepet a hatósági tevékenységben. 2001-től vezetésemmel megalakult az értékelési osztály, amely jelezte, hogy az értékelésnek – a nemzetközi gyakorlattal összhangban – nőtt a szerepe a hatósági munkában. Ebben az időszakban alapoztuk meg a mind a 4 fő folyamatot megfelelő arányban működtető, modern hatósági munkát. Kiemelt szerep jutott a hatósági evolúcióban az ismert reaktorbaleseteknek, amelyek feldolgozása, és tapasztalatainak hasznosítása alapvető feladata a teljes szakmának.

A téma aktualitása

1990. óta több energiastratégia, készült Magyarországon. A szakmai elvek kisebb nagyobb mértékben érvényesültek ezekben a stratégiákban. A kiindulópontja azonban minden esetben az volt, hogy energiahordozóban szegény ország Magyarország, ezért az energiamix előállításakor olyan energiatermelési módot kell választani alaperőműnek, amely egyrészt teljesíti az ellátásbiztonság alapelvét, másrészt – ettől nem teljesen függetlenül – jól készletezhető. Ezért került bele az energiamixbe az esetek jelentős részében alaperőműként üzemeltetett atomerőmű. A jelenlegi energiastratégia két új atomerőművi blokk építésével

számol, kiváltandó a jelenleg üzemelő 4 blokk kapacitását. A 2 új energetikai reaktor építése a terv szerint további 60 évre biztosítja a Paks II. Atomerőmű alaperőművi üzemét.

Az energetika mellett az atomenergiát egyre szélesebb körben használják, és a technikai fejlődés lehetővé teszi, hogy a berendezések számossága – a felhasználási kör szélesedése mellett – folyamatosan nőjön. Meg kell említeni a gyógyászatot, elsősorban fogászati ágazatra lehet gondolni, lassan minden magánpraxis rendelkezik intraorális képalkotó berendezéssel, valamint a sebészet területén is nagy a fejlődés. A teljesség igénye nélkül az ipari alkalmazások között megjelenik az élelmiszeripar (csírátlanítás), vagy a drágakövek kezelése. Tehát az atomenergia használata napjainkban nem nélkülözhető.

A fentiekből látható, hogy az atomenergia alkalmazása ma már megkerülhetetlen tényezője egy fejlett országnak. Nemcsak az energiatermelésben használandó, hanem más területeken is. Az atomenergia alkalmazása veszélyes üzem ezért kiemelten fontos, hogy az alkalmazás magas biztonsági követelményeknek feleljen meg, teljesítse a legszigorúbb biztonsági elvárásokat. A kor színvonalának megfelelő biztonsági szint eléréséhez szükséges jól képzett szakembergárda az iparág mindegyik szereplőjénél, korszerű technológia és megfelelő eszközök. Az eszközök közé sorolhatók azok a módszerek, amelyek lehetővé teszik a minél hatékonyabb tapasztalathasznosítást és a magas szintű biztonsági kultúra fenntartását. Ezekhez az eszközökhöz járulhat hozzá az értekezésemben tárgyalt, kifejlesztett értékelési módszer. A kutatást 2020 szeptemberében zártam le.

A témaválasztás indoklása

Az atomenergia felhasználásának terjedése, a két új energetikai blokk beruházása, és az a tény, hogy ebben az iparágban dolgozom immár több, mint negyed százada indokolja a témaválasztásomat. Az atomenergia felhasználása minden esetben veszélyt hordoz magában, hiszen a radioaktív sugárzás egészségkárosodáshoz vezethet. Az atomenergia biztonságos felhasználása alapkövetelmény. Ennek a költségei viszont szintén egyre magasabbak, párhuzamosan a biztonsági követelmények szigorodásával. Ezért lényeges, hogy pontosan tisztában legyen minden érintett a veszélyekkel, folyamatosan képezze magát és tanuljon minden hibából, továbbá olyan módszereket alkalmazzon, amelyek célirányosan, minél kisebb erőforrás felhasználásával segítik a biztonság ésszerűen elérhető legmagasabb szintjének elérését és a szint fenntartását.

Az ipari létesítmények biztonságának értékeléséhez szervesen hozzátartozik a bekövetkező nem tervezett üzemzavarok, gyűjtőnéven rendkívüli események vizsgálata. [1,2] A rendkívüli

esemény (a továbbiakban: esemény) definícióját az Atomtörvény tartalmazza: „20. rendkívüli esemény: az atomenergia alkalmazását szolgáló létesítményben, berendezésben, vagy radioaktív (nukleáris) anyaggal végzett tevékenység során - bármilyen okból - bekövetkező olyan esemény, amely a biztonságot kedvezőtlenül befolyásolhatja, és az emberek nem tervezett sugárterhelését, valamint a környezetbe radioaktív anyagok nem tervezett kibocsátását eredményezi vagy eredményezheti;” A definícióból látható, hogy esemény fogalma lefedi az összes nem tervezett eltérést az egészen jelentéktelen üzemzavaroktól a súlyos balesetekig. A biztonsági szint folyamatos növelése az ésszerűség keretein belül elvárás a veszélyes üzemek esetén. Ennek a folyamatnak egyik nagyon fontos eszköze a tapasztalatok hasznosítása [3,4,5,6], vagyis minden esetben le kell vonni a megfelelő konzekvenciákat, és szükség szerint be kell avatkozni. Az események kapcsán ezért fontos az esemény okának meghatározása az ok(ok) megszüntetésére javító intézkedések elhatározása, biztosítandó, hogy hasonló esemény nem következik be a további üzem során. Ugyanakkor ezen események biztonsági súlyának meghatározása – hasonlóképpen az ok(ok) meghatározásához – nagyon nehéz feladat, hiszen egy nem mérhető fogalmat kellene számszerűsíteni. Más oldalról az atomenergia felhasználása – különös tekintettel az üzemzavarokra és a balesetekre – különböző okok miatt a figyelem középpontjában vannak. A nemzetközi eseményskála (INES) szerint minden esetben be kell sorolni a bekövetkezett eseményt, azonban a skála – bár a besorolás során szükséges bizonyos biztonsági megfontolásokat tenni – elsősorban, deklaráltan a lakossági kommunikáció eszköze. Az INES [7] használata a kisebb biztonsági jelentőségű események esetén hordoz magában szubjektív elemeket, valamint az események biztonsági súlyának meghatározására nem alkalmas. [8,9] Az INES besorolástól függetlenül minden hazai esemény részletes kivizsgálása követelmény. Fontos továbbá, hogy a releváns külföldi események (ide tartoznak a nagy reaktorbalesetek is) tapasztalatainak hasznosítása [3,4,5,6] is kiemelten fontos cél, emelendő az atomenergia felhasználásának biztonsági szintjét. Belátható, hogy a tapasztalatok hasznosítása abban az esetben közelít a legjobban az egzaktumhoz, a levont következtetések abban az esetben lesznek legkevésbé vitathatók, és akkor követhető a legjobban a hatékonysága az intézkedéseknek, ha számszerűsíteni lehet az eredményt.

„Minden értékelő munka lényege a számszerűsítés: mert a szám többet tud kifejezni és könnyebben kezelhető, mint a szó. Számszerűsítéssel tehetjük a tulajdonságokat (ismérveket) kezelhetővé, áttekinthetővé, majd összemérhetővé.”

Dr. Tomcsányi Pál

Az idézet jól magyarázza a nukleáris iparban, de bármilyen iparágban, sőt, a humán területeken is az értékeléssel foglalkozók törekvését. A biztonság számszerűsítése lehetőséget teremt a fent említett erőforrás-allokáció mellett, pontosabb, egyértelműbb követelményrendszer meghatározására, és hatékonyabb folyamatok kialakítására, működtetésére.

Egy-egy esemény biztonsági szintje az adott létesítmény biztonsági szintjének valamilyen módon jellemző tulajdonsága. Még jobban jellemezheti a biztonsági szintet, ha több esemény biztonsági súlyát vetjük össze, például átlagot képezve, vagy valamilyen megfontolás alapján meghatározva a „megfelelő biztonsági szint” kritériumát, és ennek alapján vonhatók le következtetések az atomenergia alkalmazásának biztonságára vonatkozóan. Felhívhatja továbbá a figyelmet a biztonsági szint romlásának olyan korai jegyeire, amelyek kezelése kiemelkedő fontosságú a súlyosabb következményű üzemzavarok bekövetkezésének elkerülése érdekében. A módszer célja tehát, hogy megteremtse a nukleáris létesítményekben bekövetkező események biztonság szemléletű összehasonlíthatóságát úgy, hogy az értékelésből a szubjektív elemeket a lehetséges mértékig kizárja. Értekezésemben ezen eszköz meghatározását és használatának bemutatását, majd más veszélyes üzemekre történő általánosítását tűztem ki célul.

Célkitűzések

Jelen értekezés célja egy olyan módszer kidolgozása, mely lehetővé teszi a nukleáris létesítményben bekövetkezett kisebb biztonsági jelentőségű események biztonsági szintjének számszerű meghatározását.

Ennek érdekében célul tűztem ki egy olyan ismertető megírását, mely közérthetően, rendszerezve, összefoglalja atomenergia biztonságos felhasználásával kapcsolatos biztonsági kérdések teljes vertikumát hatósági szemszögből. Ez tananyagként felhasználható a felügyelőjelöltek képzésére is. A leírással kapcsolatosan hangsúlyozandó az átfogó jelleg és a hatósági megközelítés. Újdonság, hogy hatósági szemszögből ilyen összefoglalás még nem készült.

Célul tűztem ki egy olyan értékelési rendszer kidolgozását (és gyakorlati kipróbálását), amely minimális szintre csökkenti az események megítélésében előforduló szubjektív hatásokat, és lehetőséget ad az alacsony kockázatú, nem tervezett események számszerű jellemzésére. Műszaki ember számára egy problémára adott válasz akkor teljes, ha számszerűsíteni tudja mind a problémát, mind a megoldást. A biztonság fogalmát sokféleképpen szokás definiálni, azonban számszerűsíteni rendkívül nehéz feladat. Ennek oka a biztonság fogalmának

komplexitása, valamint az egyes szakterületekre jellemző különböző értelmezése, végül, de nem utolsósorban a biztonság, vagy inkább a biztonsági szint egyéni megítélésének különbözősége, amely részben az egyén ismeretein, részben (és ez a nagyobb hányad) saját emócióján alapul. A biztonság bármely elemének, vagy a biztonság (valamely értelmezése szerinti) szintjének számszerűsítése – véleményem szerint – fontos előrelépés bármely a biztonsággal összefüggő területen. Fontos hangsúlyozni, hogy a módszer elsősorban a kis biztonsági jelentőségű események értékelését tűzte ki célul, mivel a nagyobb jelentőségű (baleseti kategóriába tartozó) események tekintetében pl. a – radioaktív – kibocsátás mennyisége, elterjedése alapján osztályozható és jól érthető a biztonsági súly. Ezekben az esetekben a környezeti hatás alapján besorolhatók az események, és az INES is viszonylag pontos értékek alapján osztályoz. [8,9]

További cél az események biztonsági szintjének számításához általánosan (nem csak nukleáris létesítményekben) használható módszer kidolgozása, amely a biztonságtechnika minél több területén segítheti a szakembereket az egyes, alacsonyabb biztonsági jelentőségű események kivizsgálásakor az adott esemény biztonsági súlyának meghatározásában. Ennek érdekében általánosítom a nukleáris iparban alkalmazott értékelési módszert oly módon, hogy az elősegítse az alacsony kockázatú, biztonságot érintő események tapasztalatainak hatékonyabb visszacsatolását [10], és ezzel a biztonság szintjének növelését.

Hipotézisek

1. Feltételezem, ha létrehozom a biztonság különböző rétegeinek átfogó rendszerét hatósági szempontból, egyesítve a nukleáris biztonságnak mind műszaki mind pedig hatósági oldalát, mindez megalapozza az alacsony biztonsági kockázatokkal járó eseményértékelési módszert.

2. Feltételezem, hogy létezik olyan módszer, mellyel az alacsony kockázatú biztonsági események biztonsági súlyának megítélése szubjektív hibáktól mentesíthető, így a megjelenésében, lefolyásában különböző események biztonsági súlya összehasonlíthatóvá válik.

3. Feltételezem, hogy az alacsony kockázatú, nem tervezett, biztonságot érintő események értékelési módszere nemcsak a nukleáris iparban hasznosítható, hanem fejleszthető egy

algoritmus, amely lehetőséget nyújt más, veszélyes üzemekben bekövetkező események értékelésére is.

A kutatómunka tudományos előzményei a szakirodalomban

Az atomenergia felhasználásának területére jellemző a széleskörű együttműködés a hazai, az egyes nemzeti és a nemzetközi szervezetek között. Az együttműködés biztosítja a tapasztalatok széleskörű cseréjének lehetőségét, valamint a biztonsági szemlélet egységesítését, a jó gyakorlatok alkalmazását a lehető legszélesebb körben. Az együttműködés eredményeként számos publikáció, szakirodalom található, amely megalapozza és segíti a kutatómunkát. Az egyik ilyen szervezet a NAÜ, amely ma már szorosan együttműködik az EU-val. Széleskörű tagsággal rendelkezik az OECD NEA, amely szintén több dokumentummal segíti az iparágat. Ezen dokumentumokat a tagországok szakemberei alkotják meg, „közös bölcsességre” alapozva. A biztonsági alapvetésekre, az események kezelésére, a tapasztalatok hasznosításának folyamatára vonatkozóan is több szakirodalom áll rendelkezésre, amelyeket felhasználtam, és értekezéseimben feltüntettem. Például a biztonsági tényezők meghatározása, bizonyos területek e tényezők alapján történő monitorozása már meglévő technika, amelyet a NAÜ a 2000-es évek elején publikált [11], és 2 évvel később Magyarországon is bevezettük. Ugyanakkor az események biztonsági szintjére, súlyozására vonatkozóan azonban nem tartalmaz útmutatást, irányelvet a nemzeti és nemzetközi szakirodalom. Az alacsony biztonsági szintű események értékelésére vonatkozó módszert – tudomásom szerint – az alábbi formában eseményértékelésre nem alkalmazta senki. Az utóbbi években jelent meg – szintén a NAÜ a forrás – az IRS osztályozás (egyres országok eseményeinek feldolgozása és biztonsági súlyuk meghatározása). Bátran állíthatom, hogy ennek az alapja az alább is tárgyalt módszer volt. (Egyik közeli munkatársam is részt vett a fejlesztésben.) A biztonsági alapelvek átfogó tárgyalása hatósági szemszögből támaszkodik a szakirodalomra [12,13], a NAÜ és az OECD NEA dokumentumaira, azonban ilyen megközelítésű leírás nem készült korábban.

1 A NUKLEÁRIS BIZTONSÁGGAL KAPCSOLATOS HATÓSÁGI MUNKA FŐBB ELEMEL

1.1 Bevezetés

Néhány szakirodalom már korábban is foglalkozott a nukleáris biztonság kérdéskörével [14,15,16]. Amiért elővettem ezt a témát, annak az az oka, hogy egyrészt általános, a hatósági szempontokat is figyelembe vevő, összegző jellegű leírással nem találkoztam, másrészt a disszertációm második részét képező eseményértékelési módszer e megalapozás nélkül nem érthető. A nukleáris biztonsági hatóság – a jelenlegi célok és működés alapján – az iparág szakmai részéhez erősebben köthető, mint az államigazgatáshoz. Ez abban nyilvánul meg, hogy a szakmai szemlélet elsődleges mind a szabályozás [17,18] kialakításakor, mind a napi hatósági munkában. Ennek az irányvonalnak a megtartásához több feltétel teljesülése is elengedhetetlen, azonban a mai folyamatok, akár az ipart, akár az államigazgatás szakigazgatási részeit vizsgálva, ellenkező irányba hatnak. Ennek a fejezetnek egy másik nagyon fontos aktualitása is van: most fogott bele Magyarország két új atomerőművi blokk építésébe. Ebben az akár egy évszázadot is kitevő időszakban a biztonságos, megfelelő határfokú és megbízhatóságú áramelőállításban a nukleáris biztonság a leglényegesebb, melynek hatósági garanciáját [12,17] feltétlenül biztosítani kell.

Először járjuk körül a biztonság fogalmát. Amíg nem következik be súlyosabb környezeti hatással járó esemény, amíg a társadalom, az emberek mindennapjait nem érinti közvetlenül ez a kérdés, addig a területen dolgozó szakemberekben és a téma ránt érdeklődő laikusoknak általában nem alakul ki világos kép a biztonságról, az ezzel kapcsolatos hatósági feladatokról, munkáról és annak céljáról.

Nyilvánvaló, hogy a biztonság jellemzőiben nincsen nagy különbség attól függően, hogy milyen szervezet (hatóság, üzemeltető, esetleg kutatószervezet) tárgyalja a biztonságot. Ugyanakkor találunk olyan, egymástól eltérő specifikumokat, amelyek az egyes szervezetek speciális biztonsági szempontjait jellemzik, illetve amelyek más-más hangsúllyal szerepelnek a nukleáris biztonság jellemzőinek tárgyalása során.

Problémát jelent továbbá, hogy az energetikában a biztonság fogalma nem egyértelmű, hiszen beszélhetünk például ellátásbiztonságról, ami a megfelelő mennyiségű és minőségű, lakossági szempontból gyakorlatilag korlátlan elektromos árammal való ellátottságot jelenti.

Beszélhetünk a fizikai védettség biztonságáról valamint a békés célú felhasználás biztonságáról (mellyel kizárható, hogy a felhasználó atomfegyvert készítsen).

A magyar biztonság szót ez utóbbi kettő „biztonságkategória” esetén angolul sokkal jobban meg lehet különböztetni: safeguards – a békés célú atomenergia felhasználásának biztonsága, az ún. nonprolifерáció, amelynek célja az atomfegyverek elterjedésének megakadályozása.[19] Azon országok, amelyek atomfegyverrel még nem rendelkeznek, de ki kívánják fejleszteni, nem tartják be, vagy nem csatlakoznak ehhez a nemzetközi egyezményhez.

A fizikai védelem biztonságát a nukleáris védettség (angolul: security) garantálja, amely a szándékos emberi károkozás elleni védelmet jelenti. Definíciója: a *„nukleáris védettség: azon tevékenységek, eszközök és eljárások összessége, amelyek a szabotázs, a nukleáris vagy más radioaktív anyaggal elkövetett, a Büntető Törvénykönyv (a továbbiakban: Btk.) szerinti visszaélés, közveszély-okozás, környezetkárosítás, illetve jogtalan eltulajdonítás megelőzésére, észlelésére, elhárítására és következményeinek kezelésére irányulnak”*¹

Az ionizáló sugárzás káros hatásai elleni védelmet a nukleáris biztonság (angolul: safety) hivatott szolgálni, amely magába foglalja a nem szándékos emberi károkozás, vagyis emberi hiba esetét is. A nukleáris biztonság fogalmát az Atomtörvény [17] adja meg: *„megfelelő üzemeltetési feltételek megvalósítása, balesetek megelőzése, illetve a balesetek következményeinek enyhítése a nukleáris létesítmény és radioaktív hulladéktároló életciklusának valamennyi fázisában, amelyek eredményeként megvalósul a munkavállalóknak és a lakosságnak a nukleáris létesítmények ionizáló sugárzásából származó veszélyekkel szembeni védelme”*².

A nukleáris biztonság fogalma azt fejezi ki, hogy a környezetet (ide értve az embert, az összes élőlényt, valamint az ingó és ingatlan vagyontárgyakat) meg kell óvni a radioaktív sugárzás káros hatásaitól, hiszen az atomenergia alkalmazása elsősorban a radioaktív sugárzás jelenléte miatt veszélyes üzem. Ez a követelmény mind a fentiekben említett, mind az akár ettől eltérő biztonságértelmezésnek közös jellemzője. A környezet megóvása érdekében a káros határértéket elérő radioaktív anyagtranszport elkerülése, egyszerűbben a baleset megelőzése az alapvető cél. Ha mégis bekövetkezne egy ilyen esemény, akkor a következményeinek csökkentése a legfőbb feladat. A nukleáris biztonság fogalma adaptálható bármely más, veszélyes, környezetet veszélyeztető tevékenység, alkalmazás esetére is. Természetesen a

¹ 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról (Hatályos: 2015.04.11 - 2015.06.30) [17]

² 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról (Hatályos: 2015.04.11 - 2015.06.30) [17]

lehetséges környezetszennyezés mértéke alapvetően a felhasznált szennyező anyag tulajdonságaitól függ.

Megjegyezném, hogy az általános műveltség az atomenergia alkalmazásával kapcsolatban – sajnálatosan – nem túl általános, még a műszaki értelmiség körében is.

1.2 Az atomenergia békés és biztonságos felhasználásának garanciája

A megfelelő szintű nukleáris biztonság számos nemzetközi szerződés, egyezmény tárgya. Ezek fontos része, hogy az államnak garanciát kell vállalnia a saját országában és a határokon kívül élő állampolgároknak azért, hogy az atomenergiát az ország területén – betartva a nemzetközi egyezményeket – kizárólag békés célra és biztonságosan alkalmazzák. Eleget téve ennek a kötelezettségének Magyarország is létrehozta azt a szervezetet, az Országos Atomenergia Hivatalt, amely az atomenergia békés célú és biztonságos felhasználásának garanciáját testesíti meg a magyar társadalom (és közvetve az érintett, környező országok állampolgárai) számára. Ezért az OAH felelőssége a lehető legteljesebb mértékben szavatolni az atomenergia biztonságos, békés célú felhasználását eleget téve a nemzetközi előírásoknak és ajánlásoknak, valamint betartva és betartatva a hazai, az egyezményekkel és nemzetközi ajánlásokkal összhangban levő – bátran állítható, hogy jelenleg világszínvonalú – előírásokat. Ugyanakkor a Hivatal – kormányhivatal lévén – része az államigazgatásnak, ezért működését e tény jelentősen befolyásolja, korlátozza. A lakosság – választott képviselőin keresztül – meghatározza, hogy milyen mértékű legyen a garanciavállalás, vagyis mekkora erőforrást, jogi felhatalmazást és milyen működési feltételeket biztosít az OAH részére feladatainak ellátásához. Ezért az OAH, bár felelős az atomenergia biztonságos, békés célú felhasználásának szavatolásáért, és ilyen módon felelős a hatósági felügyelettel, döntésekkel érintett területek, tevékenységek biztonságos és békés célú végrehajtásáért, de a jogszabályok által meghatározott keretek között, és olyan erőforrások felhasználása mellett, amelyeket a magyar választópolgárok – választott képviselőiken keresztül – biztosítanak számára.

1.3 A nukleáris biztonság lényegesebb jogi alapelvei

A nukleáris biztonságnek vannak ún. jogi alapelvei, amelyek a jogszabályi előírásokból adódnak. Ezek betartása az iparág összes szereplőjének kötelező, ugyanakkor a szerepekből

adódóan más-más lehet az elvek érvényesítéséből az egyes szereplőkre háruló felelősség súlya, feladat mennyisége. Az alábbiakban ezeket a jogi alapelveket tekintjük át.

A. *Kockázat és haszon elve (indokoltság):* az atomenergia alkalmazásával járó ionizáló sugárzás kockázatot jelent az emberek egészségére és a környezetre, ugyanakkor a nukleáris létesítmények, radioaktív hulladéktárolók, továbbá a nukleáris és más radioaktív anyagokkal, ionizáló sugárzást létrehozó berendezésekkel kapcsolatos tevékenységek jelentős haszonnal is jár(hat)nak (pl. gyógyászat, mezőgazdaság, villamos energiatermelés, ipari alkalmazások). [13,50]

A biztonság szempontjából nincs mérlegelési lehetőség, ugyanakkor az egyes tevékenységek tervezésének szempontjából lényeges, hogy a biztonsági kockázat mértéke mellett is kellően indokolható legyen a radioaktív sugárzás mellett végzett munka. Meg kell jegyezni, hogy ez az elv „számszerűsítése”, az elvnek való megfelelés vizsgálata szükségessé tesz valamilyen formájú becslést a sugárzás káros hatásának értékére vonatkozóan (alább több helyen is tetten érhető lesz ez a kérdés). Az érték meghatározásának gyakorlata eltérő az egyes országokban. Van, ahol pénzben fejezik ki pl. a halálos dózis (kb. 10 Sv) értékét, van ahol kifejezetten tiltott az ilyen megközelítés.

B. *Függetlenség elve:* az atomenergia-felügyeleti szerv függetlensége a nukleáris energia fejlesztésében és támogatásában érdekelt minden szervezettől. [13,50]

Ez elég világos elv, amelynek az a lényege, hogy a hatóság által megtestesített garancia befolyásmentes legyen a profittól. A függetlenség azonban itt nemcsak szakmai döntési függetlenséget jelent [20], hiszen a befolyásolás módja többféle lehet. Példaként említhető és a következő „C” elvvel szoros összefüggésben értékelhető pl. a pénzügyi függetlenség: elégséges erőforrásnak kell rendelkezésre állni, vagyis jól meg kell(ene) fizetni a hatósági szakértőket, hiszen ez biztosíthatja a szakmai függetlenséget. Ugyanakkor az államigazgatás túlbürokratizált eszközellátási folyamata vagy a jogi szakterület túlzott érvényesülése a szakigazgatási jogszabályok véglegesítésekor mind egy-egy szeletet vesznek, vehetnek el a hatóság függetlenségéből.

C. *Erőforrások biztosításának elve:* a felügyeleti tevékenység ellátásához a hatósági feladatok terjedelmével és a felügyelendő alkalmazások számával összhangban álló erőforrásokat (az egyének, az infrastruktúra, a munkakörnyezet, az információ és a

tudás, a beszállítók, valamint a tárgyi és pénzügyi erőforrások összessége) kell biztosítani. [12,13,50]

A hatóság működésére fordított erőforrás jelentősen befolyásolja a garancia mértékét. Ahogy erről a fentiekben szó esett, a lakosság – választott képviselőin keresztül – meghatározza, hogy milyen mértékű legyen a garanciavállalás, vagyis mekkora erőforrást, jogi felhatalmazást és milyen működési feltételeket biztosít a garanciális feladatok ellátásához. A világban ezt különböző módszerekkel kezelik. Van olyan ország, ahol állami tulajdonú, de önálló vállalat a hatóság, van ahol teljesen különálló szervezet az állami szférán belül. Mindkét esetben mentesül a hatóság az állami bürokrácia alól, és önálló vállalkozásként irányítható (saját bevételek). A harmadik eset, amikor teljes egészében az állami bürokrácia része, itt folyamatos erőforrás gondokkal küzd minden szervezet. Nem elsősorban pénzügyi, sokkal inkább szakember-ellátottság és eszköz-rendelkezésről van szó.

D. Nemzetközi együttműködés elve: a nemzetközi együttműködés a hatósági eszközrendszer és a tevékenység hatékonyságának fejlesztését szolgálja a tapasztalatok cseréjével, és a nemzetközi egyezmények, viselkedési kódexek, biztonsági követelmények, ajánlások, útmutatók, továbbképzések, továbbá a nemzetközi jó gyakorlat megismerése révén. [17]

Több szempontból is reflektorfényben működik az iparág. Az Európai Unió, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség, Az OECD tagországok nukleáris tagozata (NEA), valamint a VVER üzemeltetők hatósági fóruma, hogy csak a legnagyobb szervezeteket említsem. E mellett széleskörű kétoldalú együttműködési rendszer is működik. Ma már az internet és az elektronikus levelezés segítségével a hatékony és gyors információcseré beépült a napi munkafolyamatba. A nemzetközi együttműködés kiemelt jelentősége és nemcsak a fentiekben vázoltak miatt, hanem a felsőszintű irányítás egyre nagyobb információigénye miatt is, amely növeli az e területen dolgozó szakemberek terhelését és állandó témát szolgáltat a közbeszéd számára.

E. Felelősségi alapelv: a biztonságért való elsődleges felelősség azt a személyt vagy szervezetet terheli, aki, illetve amely felelős a sugárzási kockázatot okozó létesítmények üzemeltetéséért és tevékenységek végrehajtásáért. [12,17,50]

a) az engedélyes felelőssége: a szükséges szaktudás létrehozása és fenntartása; megfelelő (SAT alapú) képzés és tájékoztatás nyújtása; [21,22]

- a1) eljárások és intézkedések kidolgozása és bevezetése a biztonság minden körülmények között való fenntartására, valamint minden egyéb szempontot megelőző elsődlegességének biztosítása;
- a2) a létesítmények és a tevékenységek, valamint az ezekkel kapcsolatos berendezések megfelelő minőségének igazolása;
- a3) a felhasznált, előállított, tárolt vagy szállított radioaktív anyagok biztonságos kezelése és ezen tevékenység ellenőrzésének megvalósítása;
- a4) minden keletkező radioaktív hulladék biztonságos kezelése, és az elszállításig történő biztonságos tárolása.

Ezeknek a felelőségeknek a hatóság által lefektetett vagy jóváhagyott biztonsági célkitűzéseknek és követelményeknek megfelelően kell megfelelni, és ehhez irányítási rendszert kell létrehozni és működtetni.

b) A hatóság(ok) felelős a biztonság és védett alkalmazások biztonsági felügyeletéért és ezen belül az alábbiakért:

- b1) a tudomány és technika eredményeivel összhangban lévő szabályozás előkészítéséért,
- b2) a jogszabályokban előírt követelmények betartásáért, a magyar parlament és kormány által biztosított feltételek, jogszabályi keretek között kompetens és hatékony szervezet kialakításáért és működtetéséért [23], valamint
- b3) a hatósági munkának bemutatásáért olyan módon és mértékben, hogy az az atomenergia biztonságos felhasználását, ide értve a hatóság függetlenségét ne veszélyeztesse.

A nemzetközi ajánlásokkal és a mértékadó gyakorlattal összhangban az atomenergia alkalmazójáé az elsődleges felelősség nemcsak a nukleáris biztonságért, hanem biztonságos üzemeltetésért teljes egészében. Ez a felelősség át nem ruházható, illetve a hatóságnak folyamatosan vizsgálnia kell, hogy az engedélyes ennek a felelősségnek a tudatában van, és az ebből adódó kötelezettségeinek eleget tesz. Ahogy korábban említettem, a hatóság feladata, hogy megtestesítse az állami garanciát, amely alapján a nemzet és a környező országok polgárai bízhatnak abban, hogy az atomenergia alkalmazója a felelősségének maximálisan megfelel. Korábban decentralizált hatósági rendszer működött Magyarországon. Ma már – a fejlettebb országok gyakorlatával összhangban – közel centralizált hatósági rendszer [23,24] működik, mivel az Országos Atomenergia Hivatal kapta meg a hatósági hatáskör nagy részét. Ezzel biztosítható, hogy a fenti három (b1÷b3) felelősség konzisztens módon jelenjen meg. A teljes hatósági rendszerben viszont több hatóság is említhető: pl. katasztrófavédelmi-, (tűzvédelmi, vízügyi), környezetvédelmi- és bányászati hatóság.

d) A kormányzat (ide értve a kormány tagjai mellett a minisztériumokban különböző szinteken dolgozó tisztviselőket is, akik valamilyen módon részt vesznek az atomenergia alkalmazásának állami feladataiban) felelőssége, hogy biztosítsa a feltételeket és az erőforrást a hatóságok (a garancia) működéséhez. Eleget tegyen azon állami feladatoknak, amelyek lehetővé teszik, hogy az atomenergia felhasználásának kockázata arányos legyen a kinyerhető haszonnal, valamint biztosítsa ezekhez a jogszabályi környezetet, és meghatározza a biztonságos felhasználás követelményeit.

e) A szakértői háttér (beleértve az egyéni szakértőket is) felelőssége

e1) a szakértelmük megőrzése és

e2) folyamatos fejlesztése,

e3) a jövő szakértőinek kinevelése.

A szakértőkről eddig nem esett szó. A szakértő szélesebb értelemben minden szakember a maga helyén, aki az iparágban dolgozik, szűkebb értelemben – angol kifejezéssel élve – a technical support organizations (TSO) szakemberei. Az atomenergia biztonságos alkalmazása akkor lehetséges, ha egy jól képzett szakértői közösség meghatározó része az iparágban, továbbá léteznek és működnek azok a jól felszerelt „magasan képzett szürkeállománnyal” rendelkező cégek, akik tudásukkal támogatják a tevékenységet. Ilyenek például az egyetemek, kutatóintézetek, laboratóriumok. Lényeges elem, hogy a TSO-k és az ipar akkor tud együttműködni, ha a háttérintézmények rendelkeznek olyan szaktudással, tapasztalattal, amelyre „napi” tevékenységük során szükségük lehet az iparban tevékenykedő szervezeteknek. Ugyanakkor nem szerencsés, ha a kutatási tevékenység [25] kizárólag az ipar igényeit elégíti ki, mivel így több, egyébként tudományos szempontból, vagy akár későbbi ipari alkalmazások szempontjából lényeges területek elsikkadhatnak, mert az ipart szükségszerűen áthatja a profit-szemlélet. Ugyanakkor az ipar szereplőinek pedig kötelességük lenne ezen, közvetlenül nem hasznosítható (profitábilis) kutatások, és az ehhez szükséges szakértelem fenntartása (finanszírozása).

1.4 A nukleáris biztonság műszaki alapelvei

A nukleáris biztonságban vannak műszaki alapelvei [12], amelyek alapját kell képezni az összes, a területen végrehajtandó tevékenységnek a tervezéstől a létesítmény építésén és üzemeltetésén keresztül annak leszereléséig. Az alapelvek a következők:

A. *Tudományos és műszaki fejlődés követésének elve*: a jogszabályi követelmények és a hatósági eszközrendszer kialakításakor törekedni kell a tudományos és műszaki fejlődés követésére. A szabály-előkészítési és szabály-alkalmazási tevékenységben mindenkor figyelembe kell venni az irányadó nemzetközi ajánlásokat és jó gyakorlatot. A szabályalkotási tevékenység alapján, azzal párhuzamosan az atomenergia alkalmazása során törekedni kell arra, hogy a tevékenység kerete, a műszaki megoldások tervezése során minél hatékonyabb, a tudomány és technika szintjének megfelelő megoldásokat alkalmazzunk. [12,13,17]

A tudományos fejlődés követése a biztonság szemüvegén keresztül nem jelenthet „fejlesztett fejlesztést”, hiszen ez szembe mehet a 2.4. fejezetben levő D alapelvvel. Tehát megfontoltan, elsősorban a követelményrendszer folyamatos fejlesztésén keresztül, kipróbált technológiákat alkalmazva kell követni a legújabb tudományos eredményeket. Ezt az elvet követve fogalmazza meg a hazai szabályozás azt a követelményt, hogy 5 évente a műszaki követelményrendszert felül kell vizsgálni. Ennek érdekében kell végrehajtani minden létesítménynél 10 évente az ún. Időszakos Biztonsági Felülvizsgálatot (IBF) [17,18,26], amely célja, hogy a létesítmény műszaki színvonalát összevetve az aktuális technikai, műszaki szinttel meghatározzuk azt a különbséget, amely a következő 10 év biztonságos üzemeltetésének kockázatát terheli. Mérlegelni kell, hogy ez a kockázat viselhető-e, vagy nem. Ha igen, akkor az üzemeltető további 10 éven keresztül üzemeltetheti a nukleáris létesítményt. Jellemzően az ilyen felülvizsgálatokat – csökkentendő a kockázatot – egy átfogó biztonságnövelő program végrehajtása követi. Többek között ennek köszönhető, hogy a magyar nukleáris létesítmények állapota, biztonsági szintje nem jelentett nehézséget az EU csatlakozáskor és jól szerepeltünk az összes nemzetközi felülvizsgálaton, legutóbb a fukushimai baleset után, az EU tagállamok által kötelezően végrehajtott célzott biztonsági felülvizsgálaton az ún. „stresszteszten”. [10,27,28,29,30]

B. *Biztonsági alapelv*: minden gyakorlatilag kivitelezhető lépést meg kell tenni a rendkívüli események, továbbá a nukleáris- vagy sugárbaesetek megelőzésére és következményeinek enyhítésére. Az alapvető biztonsági funkciók folyamatos ellátása segítségével a biztonságos állapot fenntartható. [12,14,16,18,31,50]

A biztonsági alapelv utal a biztonság elsődlegességére, amely az atomenergia felhasználásának alapvető elve. Ezért kell gondosan mérlegelni pénzügyi szempontból a költség-haszon rátát, ugyanis a biztonság költsége nem spórolható meg egy veszélyes tevékenység esetén. A biztonság pontosabb megközelítéséhez meg kellett határozni az alapvető biztonsági funkciókat,

vagyis az adott tervezési alapba (és annak kiterjesztésébe) tartozó veszélyeztető tényezők kezeléséhez szükséges alapvető feladatokat. A gyakorlatban az alapvető biztonsági funkciókat tovább kell bontani, és ezekhez rendelhetők a funkciót megvalósító biztonsági rendszerek, rendszerelemek. A három alapvető biztonsági funkció nukleáris létesítmények esetén a következő:

- a. a szubkritikusság biztosítása.
- b. A hőelvonás biztosítása az aktív zónából.
- c. A radioaktív kibocsátás megakadályozása.

A szubkritikusság biztosítása nyilván nukleáris anyag esetén lehet alapvető követelmény. A hőelvonás biztosítása is csak olyan speciális esetre alkalmazandó, amikor a hőfejlődés olyan mértékű, hogy arra külön intézkedéseket kell tenni (nem elégséges a forrást körülvevő közeg természetes hőelvonó képessége).

A radioaktív kibocsátás megakadályozása alapvető biztonsági funkciónak széles értelmezést kell adni: a radioaktív anyag hatása térben és időben csak tervezetten, a vonatkozó határértékek alatt jelenjen meg.

Ez a három funkció minden alkalmazásra általánosítható azzal a feltétellel, hogy bizonyos tevékenységek, alkalmazott technológiák esetén az A. és a B. funkció nem releváns. Így az általánosított alapvető biztonsági funkciók a következők:

- A. a szubkritikusság biztosítása.
- B. A hőelvonás biztosítása.
- C. A radioaktív kibocsátás (a korlátot meghaladó környezetszennyezés, és/vagy dózistér kialakulásának) megakadályozása.

C. *ALARA-elv*: bármely sugárzást okozó vagy sugárforrást alkalmazó tevékenység esetében – kivéve az orvosi terápiás besugárzást – a védelmet és biztonságot optimalizálni kell annak érdekében, hogy az egyéni dózisok nagysága, a sugárzásnak kitett személyek száma és a sugárterhelés valószínűsége az ésszerűen elérhető legalacsonyabb szinten maradjon – tekintettel a gazdasági és társadalmi tényezőkre – az egyéni dóziskorlátokon belül, figyelembe véve a vonatkozó dózismegszorításokat is. [11, 12,13,17,18,31,32,33,34,35,36]

Ez az elv az egyik legalapvetőbb műszaki elv a sugárvédelem, nukleáris biztonság terén. Angol szóösszetételből származik: As Low As Reasonably Achievable. Azt jelenti, hogy függetlenül a vonatkozó korláttól (azt mindenképpen be kell tartani), bármely alkalmazás esetén az

ésszerűen elérhető legalacsonyabb sugárterhelésnek szabad csak kitenni az üzemeltető személyzetet, a lakosságot és a környezetet. Az alapelv azért is érdekes, mert magán viseli a műszaki gondolkodás jegyét, hiszen az ésszerűséget nevezi meg határfeltételként.

D. Megbízható műszaki megoldások alkalmazásának elve: az atomenergia alkalmazása nem a kísérletezés terepe. Ezért olyan műszaki megoldásokat kell alkalmazni, amely kipróbált technológián alapul, és minden esetben körültekintően, megfelelően megalapozott módon lehet a berendezéseket és a technológiákat alkalmazni. Fontos, hogy a tervezési alapelveket (1.6. fejezet) a tevékenység és a technológia tervezése során érvényesíteni kell. [12,14,18,31]

Az szabály szerint kipróbált, referenciával rendelkező műszaki megoldásokat kell használni. Ez nem azt jelenti, hogy más területen létező technológiákat nem lehet átültetni, vagy direkt erre a területre fejlesztett megoldások nem jöhetnek szóba. A fő szempont az, hogy a nukleáris gyakorlatban számottevő tapasztalattal nem rendelkező technológiák körültekintő elméleti megalapozást követően addig nem használhatók, amíg felhasználási körülményeket figyelembe véve (teszt, próba, stb.) nem igazolt a megfelelőségük. A teszt és a próbafolyamatot a beépítési helynek megfelelő környezetben kell végrehajtani. A másik lehetőség olyan referencia-tapasztalatok begyűjtése, amely meggyőző a kipróbált technológia megfelelő és biztonságos működését illetően.

E. Optimálás elve: a sugárzásveszélyes létesítményekre és tevékenységekre alkalmazott biztonsági intézkedéseket optimálisnak tekintik, ha a létesítmény vagy tevékenység élettartama során ésszerűen elérhető legmagasabb szintű biztonságot nyújtják anélkül, hogy indokolatlanul és túlzott mértékben korlátoznák azok hasznosítását. [12,13,14,18,31,36]

Az atomenergia alkalmazása során nem elégséges a hatósági korlátok betartása, hanem a tevékenységeket úgy kell tervezni, hogy a jóváhagyott dózismegszorítás értékén belül maradjanak az elszennvedett dózisosok. A tevékenységeket végrehajtásuk után értékelni kell abból a szempontból, hogy a biztonságot szolgáló berendezések, eljárások, technológiák megfelelően szolgálták-e a dózismegszorítás teljesítését, továbbá – ha szükséges – módosítani kell a tevékenység végrehajtásának körülményein. Ez az alapelv lehetővé teszi, hogy további „tartalékot” képezzünk azért, hogy az egészségkárosodás ne következzen be a lakosságnál és az üzemeltető személyzetnél. A baleseti helyzetekben kapható dózisérték tekintetében hasonló a helyzet, csak ott ún. referenciaszint a célérték a dózismegszorítás [12,18,34,35,36] helyett.

F. Mélységben tagolt védelem elve: a mélységi védelmet elsődlegesen egy sor egymást követő és egymástól független védelem vagy gát kombinálásával valósítják meg, amelyek így védelmi szinteket jelentenek, és amelyeknek egyszerre kellene megsérülnie ahhoz, hogy az embereket vagy a környezetet károsodás érje. Ha egy védelmi szint vagy egy gát megsérülne, a következő szint vagy gát lép a helyére. A megfelelően megvalósított mélységi védelem biztosítja, hogy egyetlen egyedi műszaki, emberi vagy szervezeti hiba se vezethessen károsodáshoz, és hogy az ilyen jellegű hibák kombinációjának valószínűsége, amelyek jelentős károsodásokat okozhatnak, rendkívül alacsony legyen. A mélységi védelem szükséges eleme, hogy a különböző védelmi szintek egymástól függetlenül legyenek hatékonyak. [12,13,14,16,17,18,31,37,48,52]

A mélységi védelem elvét lehet egy hagymával szemléltetni, amely egymásra boruló, egymást „betakaró” levelekből áll. Hozzá kell tenni, hogy a biztonsági rendszerek egyik lényeges funkciója ezen gátak épségének fenntartása a tervezési alaphoz megfelelően. A mélységi védelem elvét nemcsak egy létesítmény átfogó szemlélésekor kell alkalmazni, hanem kisebb berendezések elhelyezésénél, vagy a minőségügyi rendszer [51] ellenőrzési szintjeinek megállapításánál is. A végleges radioaktív hulladéktárolók esetén lényeges, hogy a mélységi védelem gátjainak legalább egyike földtani formáció legyen. Ez az egyik legfontosabb műszaki alapelv, ezért ezt tovább részletezem a 1.6. fejezetben.

G. Biztonsági kultúra elve: a biztonsági kultúra a szervezetekben, valamint az egyéneknél meglévő azon jellemző vonások és viselkedésmódok olyan összessége, amely a biztonsággal és védettséggel kapcsolatos kérdések megfelelő szintű és jelentőségüknek megfelelő kezelését biztosítja. [12,13,31,38,39,40,41,42,43,44,45]

A biztonsági kultúra a biztonság irányába mutató emberi attitűd. Köznapi értelemben a lelkiismeretes óvatosságnak lehet nevezni. Ha egy szervezetben magas a biztonsági kultúra szintje, akkor a munkavégzés körültekintő, minden eshetőséget mérlegre tevő, és bizonytalanság esetén a biztonság irányába döntő. Tehát valójában a biztonság elsődlegességét kell minden körülmények között szem előtt tartani. Az iparág minden szereplőjénél kiemelt jelentőségű ez a biztonság iránti elkötelezettség, és általánosítható más területeken is.

1.5 A tervezési alap

1.5.1 A tervezési alap meghatározása

Az egyes létesítmények rendszereit, szerelemeit (az atomenergia alkalmazását) úgy tervezik, hogy üzemeltetésük során teljesítsék a műszaki biztonsági funkcióikat. A biztonsági funkciók segítségével állnak ellent azoknak a külső és belső veszélyeztető tényezőknek, amelyek elviselésére tervezik a létesítményt. Ezt nevezzük tervezési alapnak, amelynek definíciója a következő: *„a nukleáris létesítmény és rendszereinek, szerelemeinek azon jellemzői, valamint a rendszerek, szerelemek által ellátni szükséges funkciók, amelyek megléte szükséges a várható üzemi események és feltételezett kezdeti események ellenőrzött kezeléséhez. Részt képezik azok*

- *a követelmények, amelyek olyan feltételezett kezdeti események hatásának elemzéséből származnak, amelyekkel szemben a funkciókat megvalósító rendszereket, szerelemeket tervezték,*
- *a paraméterértékeket vagy értéktartományt azonosító információk, korlátok vagy határértékek, amelyek a terv érvényességi határait jelentik,*
- *a várható üzemi események, a feltételezett kezdeti események, és az általuk előidézett üzemzavari körülmények, a fontosabb feltételezésekkel és a speciális elemzési módszerekkel, amelyek a tudomány jelenlegi állása szerint általánosan elfogadottak, a biztonsági funkciók megvalósítása érdekében,*
- *a várható üzemi események, amelyek valamely biztonságvédelemi működés elmaradásának feltételezéséből származtathatók.”³ [14,16,18,31,46,47]*

E definíció a nukleáris szakmában használatos, ugyanakkor belátható, hogy – ha nem is a tervezési alap megnevezéssel illetik – az ipari gyakorlatban minden berendezésnek meghatároznak valamilyen tervezési alapot. Gondolni lehet pl. a szivattyúvédelmekre, amelyek bizonyos „üzemzavari helyzetek” automatikus kezelését teszik lehetővé. Ez az „általánosított tervezési alap” része a műszaki köznyelvben specifikációnak nevezett dokumentumnak.

Tehát a tervező határozza meg a szükséges biztonsági funkciókat, a tervezési alapot, majd ezek ellátására technológiát (rendszereket, szerelemeket) tervez. Ezek a biztonsági rendszerek, szerelemek adott korlátok között, a meghatározott teljesítmény-paraméter(ek) szerinti működésük révén látják el a biztonsági funkciójukat. Az atomenergia alkalmazása során

³ 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 10. melléklet [37]

minden lépést, tevékenységet meg kell tervezni és csak a biztonság kimerítő elemzése [49] és annak megfelelő eredménye alapján lehet végrehajtani. Ezt nevezzük megalapozásnak. A megalapozás elsősorban számítás (pl. szilárdsági elemzés, áramlástechnikai modell számítása), továbbá elemzés (engineering judgement). A biztonsági funkciók rendelkezésre állását rendszeresen ellenőrizni kell, ennek érdekében rendszer-, rendszerelem-tesztprogramokat kell végrehajtani rendszeres időközönként, valamint monitorozni kell a berendezéseket. A tervezési alapot és a biztonsági funkciókat teljesítő rendszerelemeket (ezek megalapozását) rendszeresen felül kell vizsgálni, és szükség szerint, a folyamatos biztonságnövelés [12,50] jegyében módosítani kell a tervezési alapot, valamint ehhez át kell alakítani a rendszerelemeket. Példaként lehet említeni a Paksi Atomerőműben földrengésbiztonsági megerősítést, amelyet az első Időszakos Biztonsági Felülvizsgálat alapján (módosult földrengés-kritérium) hajtott végre az erőmű.

A fentiekben említett megalapozás bizonyítja azt, hogy a rendszerek, rendszerelemek biztonságosan üzemeltethetők és funkciójukat maradéktalanul el tudják látni. A megfelelő teljesítmény-paraméterek szerinti teljesítőképességüket az alábbiak közül egy vagy több módszer összehangolt alkalmazásával kell bizonyítani, megalapozni:

- a) biztonsági elemzések,
- b) környezetállósági minősítés és annak fenntartása,
- c) öregedéskezelési programok [53,54,55,56,57] működtetése,
- d) a karbantartás hatékonyságának monitorozása. [58,59,60]

A biztonsági elemzésekben igazolják, hogy

- az adott berendezés (anyag, konstrukció stb.),
- az adott körülmények között (környezeti paraméterek, terhelések stb.),
- adott ideig

képes az elvárt funkció teljesítésére.

1.5.2 A tervezési alap kiterjesztése

A nukleáris létesítmények tervezésekor ma már nem csak azokra a veszélyeztető tényezőkre kell felkészíteni a létesítményeket (3⁺ generációs erőművek), amelyre a tervek készítésekor – az előző fejezetben hivatkozott – tervezési alapba kerültek, hanem a tervezéskor a tervezési

alpból kikerült veszélyeztető tényezőkkel is számolni kell. [61,62,63] Ez azt jelenti, hogy a létesítményeket olyan helyzetekre is fel kell készíteni, amelyre a nem tervezzük. Ez az állítás paradoxonnak tűnhet, de a valóság ez. Ennek oka részben az egyes érdekcsoportok eredményes tevékenysége, részben a feltételezett balesetek hatása.

Az 1.1. táblázatban látható egy atomerőmű összes üzemállapota, amelyre valamilyen módon fel kell készíteni a létesítményt. A tervezési alap kiterjesztését két módon is szokás kezelni:

- egyrészt az ún. állapotorientált üzemzavar-elhárítási utasítások révén óhatatlanul olyan üzemállapotokat is lehet uralni, amelyek nem tartoznak bele a tervezési alapba, hiszen ez a módszer az alapvető biztonsági paraméterek helyreállítását célozza.
- másrészt olyan rendszereket kell kiépíteni, amelyek egy súlyos baleseti helyzetben meg tudják akadályozni a környezet elszennyezését, vagy a baleset eszkalálódását. Ilyen rendszer pl. az ún. olvadékcsapda (core catcher), amely az üzemanyag megolvadása esetén, ha az olvadék átolvasztja is a reaktortartályt, akkor az olvadékot felfogja, lehűti és olyan állapotban tartja, hogy a további hőmérsékletemelkedés, és a konténmenten kívülre kerülés kizárható legyen.

Tervezési alap				Tervezési alap kiterjesztése	
Normál üzemi állapot	Tervezési alapba tartozó üzemállapotok			Tervezési alapot meghaladó üzemállapotok	
		Tervezési üzemzavarok			
Normál üzem	Várható üzemi események	Kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	Nagyon kis gyakoriságú tervezési üzemzavarok	Komplex üzemzavarok	Súlyos balesetek
TA1	TA2	TA3	TA4	TAK1	TAK2

1.1. táblázat: Az atomerőmű teljes tervezési alapja [18,63]

1.6 A biztonságos tervezés alapvető elvei

A megfelelő szintű nukleáris biztonság eléréséhez az általános ipari gyakorlathoz képest többlet követelményeknek kell megfelelni. Ezért a tervezőnek olyan megoldásokat kell alkalmaznia, amelyek segítségével növeli a biztonsági funkciót ellátó rendszerelemek rendelkezésre állását, és minimálisra csökkenti a funkció-képesség elvesztésének kockázatát. Néhány ilyen alkalmazandó tervezési elv olvasható az alábbiakban, hozzáteve gyakorlati példát is.

- A. „*Diverzitás*: olyan rendszerek vagy rendszerelemek alkalmazása, amelyek ugyanazon funkciót (feladatot) látnak el, azonban e szempontból valamely fontos jellemző, így különösen működési elv, kialakítás, elrendezés, gyártó tekintetében eltérnek egymástól, csökkentve ezzel a közös okú vagy azonos módon történő meghibásodások előfordulásának valószínűségét.”⁴ [12,13,15,18 3.melléklet,31,37,46,47]

Ezen megoldás alkalmazásának azokban az esetekben van jelentősége, amikor a biztonsági funkciónak bármely körülmények között működni kell. Pontosabban a végrehajtó szervhez feltétlenül el kell jutnia az automatikus indítójelnek. Például a láncreakció vészleállító rendszerének (ún. reaktorvédelem) minden körülmények között működni kell, ezért azokat a méréseket, amelyek a reaktor azonnali leállítását indukálják (a Paksi Atomerőműben 18 ilyen [63], ún. ÜV1 jel van) diverz módon (és legalább háromszoros redundanciával – 1.6. fejezet E. pont) – kell kiépíteni, vagyis egy jelzést adó mérést duplikálják és kétféle elven működő eszközt építenek be.

- B. „*Egyszeres hibatűrés*: redundáns rendszerek, rendszerelemek tulajdonsága, amely azt jelenti, hogy egy rendszeremben bekövetkező hiba esetén a funkciót a rendszer, vagy redundáns rendszerelem még ellátja. Az egyetlen hiba eredményeként fellépő további hibák az egyedi hiba részeként kezelendők.”⁵ [12,13,15,18 3. melléklet, 31, 37,46,47]

Ahhoz, hogy a biztonsági rendszer működésképtelenné váljon legalább két független hibának kell bekövetkeznie. Ezt jellemzően biztonsági rendszerek legalább kétszerezésével vagy három, négyszeres redundáns rendszer kialakításával (1.6. fejezet E. pont) lehet elérni. Olyan megoldás is lehetséges, hogy az alapvetően két különböző feladatra tervezett rendszerek, rendszerelemek, további feladatként azonos biztonsági funkciót lássanak el.

⁴ 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 10. melléklet [37]

⁵ 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 10. melléklet alapján [37]

C. „*Fizikai elválasztás*: rendszerek, rendszerelemek megfelelő geometria, távolság, tájolás kiválasztásával, megfelelő gátak alkalmazásával, vagy ezek kombinációjával történő elválasztása.”⁶ [12,13,15,18 3. melléklet, 31, 37,46,47]

A biztonsági funkciót ellátó rendszereket, rendszerelemeket úgy kell kiépíteni, hogy azok ne legyenek negatív hatással, ne korlátozzák, esetleg veszítsék el a funkcióképességüket. A szeparáció a közös okú hibák, amelyeket külső körülmények (pl. elárasztás, betáplálás kiesése, vagy azonos tervező, gyártó típushibája) indukálhatnak, ne okozzák a kapcsolódó, vagy redundáns rendszerek funkcióképtelenségét. Példaként lehet említeni az üzemzavari villamos betáplálást biztosító, blokkonként három (redundáns) dízelgenerátort külön épületben helyezték el, és az üzemanyag-ellátásuk, hűtési rendszerük és a villamoshálózatuk is teljesen szeparált útvonalon kiépített.

D. „*Passzív rendszerelem*: azon rendszerelemek, amelyek biztonsági funkcióikat mozgó alkatrészek, valamint alakjuk vagy tulajdonságaik változtatása nélkül látják el természeti törvények szerint.”⁷ [12,13,15,18 3. melléklet, 31,46,47,37]

A biztonsági funkciók teljesítésekor előtérbe kell helyezni (minél több ilyen megoldást kell alkalmazni) mozgó alkatrészek (segédenergia: pl. villamos áram) felhasználása nélkül működő elemeket, amelyek működése a fizika alapelvein alapul. Ilyen elvek a nyomáskülönbség hatására megvalósuló áramlás, kondenzáció a hideg felületen, a gravitáció hatása. Számtalan ilyen eszköz üzemel az atomerőművekben, pl. Pakson a hermetikus tér egyik nyomáscsökkentő rendszere (pl. az ún. lokalizációs torony).

E. „*Redundancia*: egy adott funkció teljesítéséhez több, ugyanazt a funkciót ellátó, azonos vagy diverz működési elvű és felépítésű rendszer alkalmazása annak érdekében, hogy egyszeres meghibásodás feltételezése esetén is a funkció ellátása biztosítható legyen.”⁸ [12,13,15,18 3. melléklet, 31,46,47,37]

⁶ 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 10. melléklet [37]

⁷ 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 10. melléklet [37]

⁸ 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 10. melléklet [37]

Lényeges biztonsági funkciók esetén (ilyen pl. az aktív zóna üzemzavari hűtőrendszere) azonos biztonsági funkciót ellátó párhuzamosan kiépített rendszerek tervezése és megvalósítása követelmény. Jellemző a háromszoros redundancia, amely azt jelenti, hogy három párhuzamos rendszer van kiépítve, amelyek közül egy is el tudja látni a feladatot, de biztosítandó az egyszeres hibatűrő-képességet megháromszorozva építik ki. Példaként említhető a reaktor hűtését ellátó háromszoros redundanciával kiépített ún. kisnyomású ZÜHR rendszer.

1.7 A mélységi védelem

A mélységi védelem elvének öt szintje van. [12,13,14,16,17,18,31,37,48,52] Ez a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által a 90-es években kifejlesztett elv, amely az egyes létesítmények sajátosságait figyelembe véve alkalmazandó (INSAG-10). [48]

„*Mélységben tagolt védelem*: többszintű védelem, ami a nukleáris biztonság érdekében alkalmazott elvek, intézkedések és műszaki megoldások olyan egymásra épülő rendszere, amely garantálja a nukleáris biztonság elvárt szintjének megvalósulását. Fizikai szinten ennek lényeges összetevője a többszörös gátak rendszere.”⁹ [12,15,16,18,31] (A fizikai gátokról a következő fejezetben lesz szó.) A mélységben tagolt, többszintű védelem a nukleáris iparban a biztonsági célkitűzések megvalósításának alapvető elve. Ezt az elvet alkalmazni kell minden biztonsággal összefüggő tevékenységre – legyen az akár szervezéssel, üzemeltetéssel vagy tervezéssel kapcsolatos – úgy, hogy egy bekövetkező hiba ellensúlyozható vagy kijavítható, a súlyosabb veszélyhelyzet kialakulása megakadályozható legyen. Az általános ipari gyakorlatban a veszélyes üzemeknél felfedezhető hasonló gondolkodásmód, azonban – tapasztalatom szerint – nem történik meg annyira szisztematikusan az elv gyakorlati átültetése, mint a nukleáris területen.

A mélységi védelem elvét a 1.2. táblázat foglalja össze.

⁹ 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 10. melléklet [37]

A mélységi védelem szintje	Célkitűzés	Alkalmazandó eszközök	Radiológiai következmények	Vonatkozó üzemállapot
1.	Normál üzemi állapottól való eltérések és hibák megelőzése	Konzervatív tervezés, magas színvonalú létesítés és üzemeltetés; fő üzemi paraméterek előírt határok között tartása	Nincs a hatósági korlátokat meghaladó telephelyen kívüli radiológiai hatás	Normál üzem (TA1)
2.	Normál üzemi állapottól való eltérések és hibák kezelése	Szabályozó és biztonságvédelmi rendszerek; egyéb felügyeleti módszerek		Várható üzemi események (TA2)
3.	Üzemzavarok kezelése a radioaktív kibocsátás korlátozása és az üzemanyag olvadás megelőzése érdekében	Biztonsági rendszerek, üzemzavar-elhárítási utasítások	Nincs vagy csak minimális telephelyen kívüli radiológiai hatás	Tervezési üzemzavar (TA3-4)
		Hozzáadott biztonsági eszközök komplex üzemzavarok elhárítására, üzemzavar-elhárítási utasítások, telephelyi baleset-elhárítási intézkedések		Komplex üzemzavar (Feltételezett többszörös meghibásodás) (TAK1)
4.	A nagy vagy korai kibocsátás gyakorlati kizárása, az üzemanyag olvadásal járó balesetek kezelése a telephelyen kívüli kibocsátások korlátozása érdekében	Kiegészítő biztonsági eszközök az üzemanyag olvadás korlátozásához, baleset-kezelési útmutatók, telephelyi baleset-elhárítási intézkedések	A telephelyen kívüli radiológiai hatás térben és időben korlátozott lakossági óvintézkedések bevezetését indokolhatja	Súlyos baleset (TAK2)
5.	Jelentős radioaktív anyag kibocsátás radiológiai következményeinek csökkentése	Telephelyi és telephelyen kívüli baleset-elhárítási intézkedések; beavatkozási szintek	A telephelyen kívüli radiológiai hatás lakossági óvintézkedéseket indokol	Nagyon súlyos baleset

1.2. táblázat: A mélységi védelem elve¹⁰

¹⁰ 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 3a. melléklet [18]

A 1.2. táblázat magyarázata a következő:

Első szint (az 1.2. táblázatban: kék)

A védelem első szintjének célja a normál üzemi állapottól való eltérés megakadályozása.

A létesítményt úgy kell megtervezni, hogy a veszélyeztető tényezőkkel szembeni ellenállása minél nagyobb legyen, illetve az ide vezető hibák minél kisebb gyakorisággal forduljanak elő. Biztosítani kell az ember-gép kapcsolat lehető legegyszerűbb módját, áttekinthető, követhető és logikus kivitelezését, ezzel a lehető legnagyobb mértékben kizárva az emberi hiba lehetőségét. Jól képzett, fizikálisan és mentálisan megfelelő személyzetet kell alkalmazni a biztonsági szempontjából meghatározó munkakörökben. Integrált irányítási rendszert [18 2. melléklet,31,45,65,66] kell működtetni az üzemeltetőnek [64], amely részeként pontosan tisztázott felelőségeket és feladatokat kell meghatározni a létesítmény teljes életciklusa alatt.

Második szint (az 1.2. táblázatban: zöld)

A második szint célja a normál üzemi állapottól eltérő állapot észlelése és annak megakadályozása, hogy a várható üzemi események tervezési üzemzavarrá fejlődjenek.

A létesítményt a tervezett működési határokon belül kell tartani, rendszereket kell kiépíteni annak megelőzésére, hogy a biztonsági korlátokat semmilyen körülmények között ne lépjük át. Ilyen eszközök: folyamatos mérések (pl. nyomás, hőmérséklet az aktív zónában), időszakos tesztelések (pl. fővízköri és konténment nyomáspróbája), megfelelő karbantartás, a biztonsági rendszerek időszakos próbája.

Harmadik szint (az 1. 2. táblázatban: sárga)

A harmadik szint célja, hogy a tervezési alapba tartozó üzemzavarok bekövetkezése esetén is teljesüljenek a biztonsági célkitűzések.

A mélységi védelem első két szintje arra szolgál, hogy a hibák lehetősége a minimálisra csökkenjen. Ezért automatikus működésű biztonsági rendszereket kell kiépíteni úgy, hogy az emberi beavatkozásra csak egy bizonyos idő múltán kerüljön sor akkor, amikor a körülmények már pontosan ismertek és áttekinthetők. Ezekkel a rendszerekkel biztosítani lehet az aktív zóna folyamatos hűtését, továbbá a radioaktív anyagok kibocsátása a határértékek alatt tartható. Az emberi beavatkozást pedig megfelelő, előzetesen kidolgozott eljárásokra támaszkodva kell

végrehajtani, amelyek a kritériumokon belüli értékre állítják be a biztonság szempontjából fontos paramétereket az ún. állapotorientált üzemzavari utasítások végrehajtásával.

Negyedik szint (az 1. 2. táblázatban: narancssárga)

A negyedik szint célja a tervezési alapot meghaladó események, balesetek során a környezet, a lakosság és az üzemeltető személyzet megvédése a káros radioaktív sugárzástól úgy, hogy bármely hatás a telephelyen belülré koncentrálódjék.

A létesítményeket úgy kell megtervezni, hogy amennyiben az összes a biztonságot biztosító tervezési megoldás és intézkedés ellenére olyan rendkívül kis valószínűségű esemény következik be, ami balesethez vezet, akkor a rendelkezésre álló eszközökkel (rendszerekkel és adminisztratív intézkedésekkel) a telephelyen belül lehessen tartani a káros következményeket, minél kevésbé veszélyeztetve a környezetet és a környéken élő lakosságot. Jó példa ennek a védelmi szintnek a működésére a Three Miles Island-i (1979.) baleset [67,68], amikor a reaktor aktív zónája megolvadt, azonban a környezetet, az üzemeltető személyzetet és a lakosságot nem érte káros mértékű radioaktív sugárzás.

Ötödik szint (az 1. 2. táblázatban: piros)

Az ötödik szint célja a súlyos baleset bekövetkezésekor a radiológiai következmények enyhítése az üzemeltető személyzet, a lakosság és a környezet megóvása érdekében.

A súlyos radioaktív kibocsátással járó balesetek kezeléséhez intézkedési tervet kell készíteni. Ennek végrehajtására a személyzetet és az érintett szervezeteket oktatják és rendszeresen gyakorlatoztatják. [21,22] Ebből következik, hogy ennek a szintnek a biztosítása már nem csak az üzemeltető felelőssége, hanem az erre az esetre kiépített állami szervezet foglalkoztató rendszer működése is elengedhetetlen hozzá. Ez az országos nukleárisbaleset-elhárítási rendszer, amelynek feladata a súlyos baleset következményeinek enyhítése, vagyis a környezeti hatás minimalizálása, valamint a lakosság és az üzemeltető személyzet megóvása a radioaktív sugárzás káros hatásaitól. A fukushimai baleset bekövetkezésekor Japánban a mélységi védelem ezen szintjére volt szükség, amely megfelelően működött, hiszen a radioaktív sugárzásnak nem voltak áldozatai. [10,26,27,28,29,30] Ugyanakkor az is megállapítható, hogy a csernobili baleset [69,70,71] idején is működött bizonyos mértékig ez a védelmi szint.

1.8 Sugárvédelem

Miután az atomenergia alkalmazásának veszélye a radioaktív sugárzásban és annak a környezetre gyakorolt hatásában testesül meg, szólni kell a sugárvédelemről, amely ezen hatások elleni védekezés tudománya. [14,17,18,31,32,33,34,35,36,72] Ez is igen széles terjedelmű terület, így csak bizonyos alapelveket villantok fel. A sugárvédelem célja, hogy az atomenergia alkalmazásának káros következményeit minimalizálja. Alapelve az ALARA (1.4. fejezet C pont).

A radioaktív sugárzás (α , β , γ és n^0) mellett számos más sugárzásfajta létezik (pl. hő, fény), ezek egy részét, bizonyos tartományban érzékelni-, más részüket mérni lehet, de ezen sugárzások nem minden esetben hasznosak az élő szervezet számára. [73] Jó példa erre a mindennapi életből, hogy a napozás káros mennyiségben akár súlyosabb egészségügyi problémákat is okozhat. A radioaktív sugárzás az élő szervezetre és az élettelen, szerkezeti anyagokra is hatást fejt ki. Az élő szervezetben ionizációt vagy elektrongerjesztést hoz létre (fizikai hatás), és a kötött elektronokat szabaddá teszi (kémiai hatás). A szerkezeti anyagok esetén a hatásmechanizmus fontos része, hogy a rácsszerkezetet alkotó atomok átalakulhatnak (transzmutáció), vagy gerjesztett állapotba kerülhetnek. Ezek az anyagszerkezet-módosító hatások az eredeti tulajdonságok (pl. rugalmasság – szakító szilárdság) megváltozásával járnak. [13, 15] A nukleáris biztonság fogalmából következik, hogy az élő szervezetet károsító ionizáló sugárzás elleni védelem az elsődleges kérdés, a szerkezeti anyagok megóvása, illetve a károsodás mértékének folyamatos követése az élő szervezetek káros mértékű besugárzásának megelőzését szolgálják. A káros mértékű sugárterhelés leglényegesebb eleme, hogy a meghatározott határértékeket meghaladó dózisértéket ne kaphasson a környezet és egyetlen élő szervezet sem. Az atomenergia felhasználásakor ezért ún. fizikai gátakat kell kiépíteni annak érdekében, hogy a radioaktív anyagot elzárjuk a környezettől.

Egy nukleáris létesítményben a radioaktív anyagok visszatartását biztosító fizikai gátak [12,13, 15,16,18,31,37] a következők:

- Az első fizikai gát az üzemanyagelem (az üzemanyag mátrix és a fűtőelem) maga, amely magában tartja a radioaktív anyagot.
- Az üzemanyagot tartalmazó aktív zónát hűtő közeg magával sodor korróziós termékeket, amelyek a reaktorban felaktiválódhatnak. Ezen felaktiválódott radioaktív izotópok részben áramlanak a hűtőközeggel, részben kirakódnak a csővezetékek, berendezések falára, illetve be is diffundálhatnak az anyagba. Ennek a felaktiválódott izotópokat magával ragadó közegnek, és szükség esetén az inhermetikussá váló

fűtőelemekből származó radioaktív anyagnak visszatartási funkcióját látja el az ún. primerkör, amely a következő fizikai gát.

- A harmadik fizikai gát az ún. konténment (a Paksi Atomerőműben hermetikus tér, vagy confinement), amely magába foglalja a primerkört és ilyen módon az aktív zónát is. Feladata, hogy primerköri inhermetikusság esetén elzárja a környezettől a radioaktív izotópokat (0,1 MPa-ra méretezve).

A sugárvédelem a környezetet a fizikai gátak segítségével védi. Az ionizáló sugárzó térrel szemben az ott tartózkodóknak, normál körülmények között elsősorban az atomenergiát alkalmazó személyzetnek három védekezési módja van:

1. Távolságvédelem. Általánosságban kijelenthető, hogy a távolsággal fordított arányban csökken az ionizáló sugárzás intenzitása, ugyanakkor meg kell jegyezni, hogy típustól függően ez a távolság más. Például az α és a β sugárzások 1-2 cm-t, illetve 10-15 cm-t haladva a légtérben elnyelődnek, míg a γ és a n^0 sugárzás rövidtávú elnyeléséhez már árnyékolás szükséges.
2. Védőeszközök (árnyékolás). Az előzőekből következik, hogy erre elsősorban a γ és a n^0 sugárzás esetén van szükség. A γ sugárzást nagy tömegszámú elemekből készült árnyékoló eszközök nyelik el hatékonyan (pl. ólom), míg a n^0 sugárzást a legjobban vízzel (betonnal) lehet árnyékolni.
3. Idővédelem. Minél rövidebb időt töltünk sugárzó térben, annál kisebb dózist kapunk.

Fontos kiemelni, hogy a sugárvédelem területén nagyon szigorú normákat kell betartani, és minden esetben alkalmazni kell az optimálás és az ALARA elvét (2.4. fejezet C pont). Az ezen a területen dolgozóknak rendszeres orvosi — vizsgálaton kell részt venniük, beleértve a rendszeres egészségteszt-számlást és a pajzsmirigy vizsgálatát is.

1.9 A biztonsági kultúra

Ha az atomenergia alkalmazásának biztonságáról ejtünk szót, akkor elengedhetetlen, hogy a „biztonsági kultúra” fogalma [12,13,31,38,39,40,41,42,43,44,45] is előkerüljön. A biztonsági kultúra – amely hasznos lehet más, veszélyes technológiát alkalmazó területeken is – a gyakorlatba nehezen áttehető fogalom. A NAÜ a következőképpen definiálja:

„The safety culture is an assembly of characteristics and attitudes in organizations and individuals which establishes that, as an overriding priority, nuclear plant safety issues receive the attention warranted by their significance.” vagyis

„A biztonsági kultúra az egyén viselkedésének és a szervezetek tulajdonságainak egységes felépítménye, amely alapján elsődleges prioritásként a nukleáris biztonság kérdései megkapják a jelentőségüknek megfelelő figyelmet.” [18,31,41]

A biztonsági kultúra valójában azt jelenti, hogy az üzemeltetők mind a végrehajtói, mind a vezetői szinten megfelelően viszonyulnak a nukleáris biztonsághoz, vagyis kellően elkötelezettek a nukleáris biztonság elsődlegességét illetően. A vezetőknek ebben a tekintetben példaadó szerepük van, és fontos az üzemeltető szervezet minden szintjén annak a megértése, hogy a nukleáris biztonság elsődlegességének biztosítása az egyetlen lehetőség az atomenergia rentábilis felhasználásához.

A biztonsági kultúra összetevői a következők:

- képzett és gyakorlott munkaerő (ebbe beletartozik a rendszeres szintentartó és a betanító képzés is), akik a tevékenységük során tisztában vannak a tevékenység biztonságra gyakorolt hatásával, és a végrehajtáskor ennek elsődlegességét szem előtt tartva tevékenykednek.
- A munkát írott utasítások alapján végzik, amely megfelelő integrált irányítási rendszerbe [18 2. melléklet,31,45,65,66] ágyazva állítandó elő és használandó.
- Amennyiben problémába ütköznek a tevékenységük során, akkor érvényesül a „kérdező attitűd”, amely azt jelenti, hogy a nukleáris biztonság elsődlegességét figyelembe véve akkor lehet a végrehajtásban tovább haladni, ha minden bizonytalanságot tükröző kérdésre világos válasz adható, vagy egyértelműen lehet a biztonság irányába dönteni, illetve a tevékenységet folytatni.
- A vezetők példát adnak azzal, hogy döntéseikben és tevékenységük során minden esetben, következetesen a nukleáris biztonság elsődlegessége jelenik meg, erősítve a munkavállalók kérdező attitűdjét, bátorítva a beosztottjaikat arra, hogy a problémákat feltárják azért, hogy ebből tanulni lehessen.
- Az üzemeltető szervezet minden szintjén, minden munkavállaló számára világosak a biztonsági célkitűzések, továbbá a feladatok és a felelőségek.

Fontos megjegyezni, hogy bár a biztonsági kultúra szintje közvetlenül nem mérhető, vannak egyrészt vizsgálati módszerek, amelyekkel az atomenergia felhasználóinak lehetőségük van rendszeresen vizsgálni a biztonsági kultúra szintjének változását, másrészt vannak olyan tényezők, amelyek indikátorként jelzik, ha a biztonsági kultúra szintje (valamely szegmense) változik. Ezeket az ún. biztonsági mutatókat (safety performance indicators) az üzemeltető és a hatóság [11] is rendszeresen, legalább évente értékeli [74÷79].

2 AZ ALACSONYABB BIZTONSÁGI KOCKÁZATÚ, NEM TERVEZETT NUKLEÁRIS ESEMÉNYEK SÚLYOZÁSA ÉS SZÁMSZERŰ ÉRTÉKELÉSI MÓDSZERE

2.1 Az események biztonsági értékelésének célja

Mielőtt az értékelési módszert ismertetném, fel kell tenni a kérdést, mi a célja az események értékelésének. Nem lehet eléggé hangsúlyozni a tapasztalatok visszacsatolásának [3,4,5,6,80] fontosságát, ezért nem véletlen, hogy értekezésem során több esetben visszatérek erre a folyamatra (az események értékelése is ennek a folyamatnak az egyik fontos példája). Egy létesítmény üzemeltetése, az atomenergia alkalmazása a potenciális környezeti hatás miatt veszélyes. Ezért alapvető elvárás, hogy minden lehetőséget megragadjunk a tevékenységünk javítására, a biztonság növelésére. Ennek a módszere a tapasztalatok gyűjtése, szisztematikus feldolgozása és visszacsatolása. A tapasztalatok hasznosítása és visszacsatolása segít megelőzni a súlyosabb eseményeket, baleseteket. Ugyanakkor tapasztalatot szerezni csak megtörtént események, tevékenységek elemzésével lehet. Így a biztonsági értékelés a már bekövetkezett események értékelésére alkalmas. A tapasztalatszerzés egyik fő forrása a „külső”, más országok tapasztalatainak hazai hasznosítása, de lehet hazai, más iparágból, vagy más típusú létesítményekből származó. Összefoglaló néven nevezzük külső tapasztalat-hasznosításnak. Nem kívánok erről részletesen írni, azonban fontosnak tartom megjegyezni, hogy tapasztalatom szerint a nukleáris iparban az egyik legerősebb és leghatékonyabb ez a tevékenység, figyelembe véve más veszélyes ipari tevékenységeket, iparágakat. Rengeteg nemzetközi fórum munkacsoport tűzte és tűzi zászlajára a közös, külső tapasztalat-hasznosítási folyamatot, illetve információcserét (pl. EU Clearinghouse¹¹, OECD NEA WGOE¹², MDEP¹³, VVER Forum¹⁴, NAÜ IRS, IRSRR, FINAS¹⁵).

A tapasztalatszerzés másik nagy csoportját a „belső”, vagy „saját” a tapasztalatok képezik. Ezek gyűjtését, értékelését minden létesítmény maga végzi, és a hasznosítás is ugyanabban a

¹¹ A Clearinghouse egy központi iroda, ahol nukleáris biztonsági szakértők dolgoznak, és a tagországokból származó, összegyűjtött információt elemzik, amely így széles alapú tapasztalat-hasznosítást tesz lehetővé. (<https://clearinghouse-oef.jrc.ec.europa.eu/>) [81]

¹² OECD NEA WGOE (<https://www.oecd-nea.org/>) [82]

¹³ OECD NEA MDEP (<https://www.oecd-nea.org/mdep/>) [83]

¹⁴ A VVER-t üzemeltető országok hatóságainak fóruma (<http://wverforum.org/>) [84]

¹⁵ NAÜ IRS, IRRS és FINAS (<https://www.iaea.org/resources/databases/irsni>) [85]

létesítményben történik. Ez – ha lehet – még fontosabb, hiszen ez a saját technológiából és tevékenységből származó információ közvetlenül hasznosítható. A tapasztalatait az iparág minden résztvevője feldolgozza valamilyen mértékben. Átfogó tapasztalathasznosítási folyamattal kell rendelkeznie az üzemeltetőnek (engedélyes) és a hatóságnak. A hatóság által feldolgozandó információ nagy részének az üzemeltetőtől kell származnia.

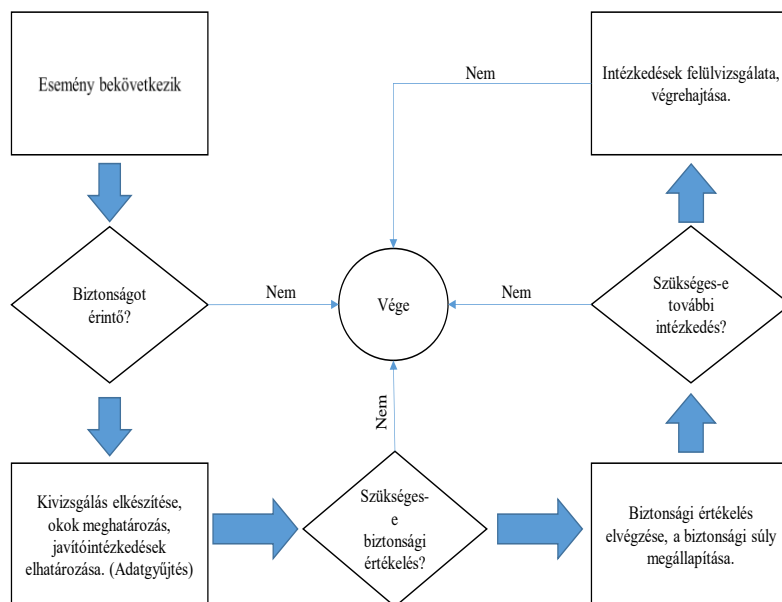
A hatósági „belső” tapasztalatok hasznosításához szükséges egyik információforrás az időszakos jelentések (minden létesítmény készít rendszeres időközönként jelentéseket, amelyeket részben maga dolgoz fel, részben megküldi a hatóságnak).

A másik forrás a hatósági tevékenységekből származó tapasztalat (engedélyezés, ellenőrzés, értékelés, érvényesítés tapasztalatai). [18 1. kötet, 23,24,86]

A harmadik forrás a bekövetkezett események kivizsgálása, értékelése.

A tapasztalatok hasznosításának folyamata:

- a) információgyűjtés,
- b) információrendszeresítés,
- c) értékelés,
- d) tapasztalatok leszűrése és
- e) visszacsatolás (javítóintézkedések elhatározása, végrehajtása).



2.1. ábra: Az eseményértékelés folyamata (forrás: saját ábra)

a) Információgyűjtés

Az adott területről, eseményről minden releváns információt össze kell gyűjteni, hiszen így lehet körültekintő, megalapozott értékelést készíteni (ez a rész megegyezik egy általános döntéshozatali folyamat [20] első lépésével).

b) Információrendszerezés

Az információt csoportosítani kell, mivel esetenként nagyon eltérő minőségű és mennyiségű információt kell kezelni. Ennek célja, hogy az értékelést el lehessen végezni, illetve lényegre-koncentráló legyen az értékelés és a tapasztalat-hasznosítás. Azokban az esetekben, amikor pl. valamilyen mutatókat képezünk, az információ megfelelő csoportosításának különösen hangsúlyos szerepe van. (Ez a rész megegyezik egy általános döntéshozatali folyamat második lépésével.)

c) Értékelés

Az értékelés módszere fontos (az esemény-értékelés egyik módszeréről kívánok szólni ebben a fejezetben), hiszen ez meghatározza a levonható következtetéseket minőségi és mennyiségi szempontból, így a legfontosabb a következtetések irányát és minőségét determinálja és ezzel a tapasztalat visszacsatolás hatékonyságát is befolyásolja.

d) Tapasztalatok megfogalmazása és visszacsatolás

A visszacsatolás a célja az egész folyamatnak, vagyis olyan javító intézkedések megfogalmazása és végrehajtása, amelyek biztonságnövelő hatásúak és több előnnyel járnak, mint hátránnyal. Tehát megéri a befektetett energiát.

Ezen tapasztalat-hasznosítási folyamat (operational experience feedback) [3,4,5,6,80] egyik eleme az események értékelése, kivizsgálása, amely a nukleáris iparban kötelező. Ezért a tapasztalat-hasznosítás folyamatából az eseménykivizsgálást emelem ki, mint értekezésem fő témáját. Korábban említettem, hogy ez az egyik legfontosabb tapasztalat-hasznosítási forrás, ugyanakkor ez a legszerteágazóbb és legnagyobb áttekintő-képességet, szakmai gyakorlatot igénylő értékelési tevékenység. Itt a leghatékonyabb a tapasztalat-visszacsatolás, az események (üzemzavarok) elemzése ugyanis közvetlenül rámutathat olyan hiányosságokra, amelyek felszámolása alapvetően javítja a biztonságos üzemeltetést. E hatékonyság mellett a megelőzés elvét figyelembe véve alapelv, hogy olyan javító intézkedéseket kell végrehajtani, hogy meg lehessen előzni a hasonló események későbbi bekövetkezését. Mielőtt a hasonló események kérdéskörébe mélyebben belemennék, szeretném megjegyezni, hogy ebben az iparágban

nemcsak a bekövetkezett meghibásodások, tehát a köznapi értelemben vett üzemzavarok (pl. eldurran egy tömítés, meghibásodik egy szivattyú) elemzése követelmény, hanem az ún. majdnem (near miss) eseményeké [18,87] is. Ez azt jelenti, hogy azokat a helyzeteket is elemezni, értékelni kell, amelyek során valós meghibásodás nem történt, de bizonyos forgatókönyvek esetén akár történhetett volna. Nyilván olyan eseményeket kell ide érteni, amelyek komolyabb konzekvenciákkal pl. veszélyes kibocsátással járhattak volna. Az e fejezetben tárgyalt értékelési módszer alkalmas ezen majdnem események értékelésére is, azonban – valós eltérések hiányában – ezek biztonsági súlya jóval kisebb lehet. Abban az esetben lehet nagyobb biztonsági súlya a majdnem eseménynek, ha a legsúlyosabb, feltételezett szcenárió szerint végezzük el az értékelést.

Visszatérve az eseményekhez: tehát fontos szempont, hogy egy létesítmény életében ne következzen be két hasonló esemény. Egy ismétlődő esemény [88] negatívan jellemzi a tapasztalathasznosítási folyamat hatékonyságát. A hasonló események meghatározása azonban nem könnyű feladat, hiszen nagyon sok szempontot lehet felsorolni egy köznapi témakörben is, ami kimerítheti a hasonlóság fogalmát, hát még egy bonyolult műszaki technológia esetén. Nem véletlen, hogy nincs a szakirodalomban általánosan elfogadott, a gyakorlatban jól alkalmazható hasonló esemény fogalom. A Paksi Atomerőmű szakembereivel közösen sikerült kialakítani egy fogalmat, amely az egyik eljárásrendjükben szerepel. *„Hasonlónak kell tekinteni azt az eseményt, amely hasonló az üzemeltetési gyakorlat, az esemény körülményei, személyi magatartás, szervezeti, vezetési hiba vagy nem megfelelés, az érintett berendezés, vagy rendszerelem szempontjából, ÉS alapvető oka – vagy annak hiányában a közvetlen oka – azonosnak tekinthető a vizsgált esemény alapvető (vagy közvetlen) okával. Az így beazonosítható események közül azokat kell hasonlóként értékelni, amelyek a tapasztalatok hasznosíthatósága szempontjából ésszerű időtávon belül történtek.”*¹⁶ Ez a meghatározás kellően nehézkes és néha nehéz minden értékelő számára egyformán azonosítani a hasonló eseményeket.

Mielőtt rátérnék a módszer ismertetésére felvezetnék néhány gondolatot arról, mire jó ez a módszer a gyakorlatban. Alapvető elvárás nemzetközi szinten is, hogy alkalmazzuk a fokozatos megközelítés elvét (graded approach). [12,13,18,31,89] Ez egyrészt azért szükséges, hogy olyan problémákra fókuszáljunk, arra áldozzunk jelentősebb erőforrást, amelyeknek nagyobb a biztonsági súlya. Tehát erőforrás-allokáció és költségtényező szempontjából lényeges ezen

¹⁶ A Paksi Atomerőmű FNU001_M04 számú eljárásrendje [90]

elv alkalmazása (1.3. számú fejezet C pont). Másrészt fontos a biztonság szempontjából is, hiszen a legnagyobb biztonsági súlyú, kockázató problémával kell kiemelten foglalkozni, erre kell a lehető legrövidebb idő alatt megoldást találni. Erre ez a módszer, amely számszerűsíti az események biztonsági súlyát alkalmas eszköz lehet. A módszer segítségével ugyanis ki lehet válogatni azokat az eseményeket, amelyek biztonsági súlya összességében akkora, hogy arra érdemes nagyobb erőforrást áldozni.

Ezért a hatósági munka korszerűsítése érdekében egy eseményértékelési módszert dolgoztam ki, amely segítségével meghatározható, hogy egy eseménynek milyen a biztonsági érintettsége, és, amely a lehető legobjektívabban mutatja meg egy esemény biztonsági súlyát.

Jelen fejezet célja ennek az esemény-értékelési módszernek a bemutatása. A kidolgozott módszerrel kapcsolatban meg kell jegyezni, hogy áttekintve az egyes országok hatóságainak gyakorlatát, valamint a nemzetközi fórumokat, – a fejlesztés időszakában – hasonló esemény-értékelési módszer nem volt használatos.

A módszer lényege, hogy az események részletes vizsgálatakor összegyűjtött információt felhasználva, az adott esemény biztonságát befolyásoló tényezőket kell számszerűsíteni. Így minden eseményhez rendelhető egy számérték, amelynek nagysága jelzi az adott esemény nukleáris biztonsági súlyát (minél magasabb az összpontszám, annál nagyobb a nukleáris biztonsági súly). Az értékelési módszer számszerűsíti az adott üzemzavar kialakulása és kezelése során, a biztonsági kultúra (1.4. fejezet G pont) szintjére utaló tényezőket is.

Bár az értékelő módszer kis biztonsági jelentőségű események értékelésére készült használható súlyosabb események értékelésére, de abban a tartományban jelenleg nincs tapasztalat, és azért kell dolgoznunk, hogy ne is legyen.

2.2 A módszer alkalmazásának feltételei

A módszer kialakításakor a nukleáris területen meglévő gyakorlatból indultam ki. Ennek a lényege, hogy minden a „normálistól eltérő” jelenséget alapos vizsgálatnak, értékelésnek kell alávetni. Az értékelésnek nagyon fontos eleme, hogy minden körülményt, részletet fel kell tárni az esemény kialakulása, lefolyása és következményeinek elhárítása kapcsán azért, hogy az esemény (hiba, jelenség) okát a lehető legpontosabban meg lehessen határozni. Ahogy korábban már említettem ezen a területen elsődleges szempont a tapasztalathasznosítás, a legapróbb hibákból is tanulni kell annak érdekében, hogy elkerüljük a környezetszennyezéssel járó eseményeket, de különösen a baleseteket. Például egy egyszerűnek mondható

szivattyúmeghibásodás, vagy az üzemviteli személyzet „mellényúlása” esetén is szükséges a hibák pontos behatárolása és a javítóintézkedések végrehajtása azért, hogy hasonló problémák ne fordulhassanak elő, a hibák ne eszkalálódhassanak tovább. Nem lehet eléggé hangsúlyozni a biztonsági kultúra szerepét, hiszen egy személyi hiba megállapítása esetén korántsem mindegy, hogy a hibát, a hibázás körülményeit teljes egészében fel lehet-e tárni, vagy nem. Az őszinte hibafeltárás csak akkor lehetséges, ha a nem szándékos hiba elkövetése (és beismerése) nem von maga után egzisztenciális fenyegetést. E nélkül ezen eseményekből nem lehet hasznosítható tapasztalatokat gyűjteni. Tehát a módszer csak akkor alkalmazható, ha ilyen részletes kivizsgálási rendszer alkalmazása napi gyakorlat. Ez a megállapítás fontos a módszer általánosítása szempontjából (3. fejezet).

Az előzőekből következik, hogy az események biztonsági értékelését tehát akkor lehet végrehajtani, amikor minden szükséges információt sikerült összegyűjteni, feltárni. Ugyanis az értékelési módszer arra épül, hogy minden elérhető adat rendelkezésre áll az egyes, a biztonságot befolyásoló tényezőkkel kapcsolatosan.

2.3 Az alacsony biztonsági kockázatú események súlyozását és számszerűsítését lehetővé tevő tényezők megválasztásának alapelvei

A tényezők meghatározása, amelyekkel számszerűsítjük egy-egy esemény biztonsági súlyát, tapasztalati úton történt. Ugyanakkor ezen tényezők kiválasztásához lényeges szempontok tartoznak, amelyek megalapozzák és determinálják a módszer használatát is. A tényezők kiválasztási szempontjai a következők:

1. Olyan tényezőt, mutatót kell meghatározni, amely számszerűsíthető. Ez a kritérium nem szorul magyarázatra, hiszen ez az egyik cél.
2. Világos, jól meghatározható legyen a tényező. Olyan adatokon kell alapulnia a tényezőknek, mutatóknak, amelyek az adatgyűjtést követően rendelkezésre állnak, valamint olyanokon, amelyeknek az értéke egyértelműen eldönthető, ez segíti az objektivitás magasabb szintjét.
3. A számérték meghatározása az értékelő személyétől függetlenül egy adott esetben ugyanazt az értéket vegye fel. A lehető legteljesebb mértékben objektív legyen, vagyis az értékek meghatározását – feltételezve, hogy az értékelő személyeknek hasonló a tudásszintje – az értékelő szubjektuma a lehető legkevésbé befolyásolja.

4. Minden, a nukleáris létesítményben bekövetkező esemény értékelhető legyen ezzel a módszerrel. Ebből a követelményből következik, hogy e módszernek a tényezők összességét kell tartalmaznia, így egy-egy esemény kapcsán nem kell mindegyik tényezővel számolni. Ezt meg lehet oldani úgy, hogy a tényezők, ha nem relevánsak az adott esemény kapcsán, zéró értéket vesznek fel.

A fenti szempontok alapján az alábbi területek határozzák meg egy esemény biztonsági súlyát. Az esemény értékelése során ezen területekre, és ezen belül jellemzőkre kell a számszerűsített tényezőket meghatározni.

Az esemény biztonsági súlyát befolyásolják az esemény kialakulásának körülményei (I.). Ide tartoznak a következő tényezők: Volt-e valós *kiinduló esemény*? Olyan eseményeket is vizsgálni kell, amelyek potenciális veszélyt jelentettek a létesítmény biztonságára. Egy meghibásodás (pl. szivattyú, vagy elzárószerelvény) önmagában nem feltétlenül ún. kiinduló esemény, azonban bekövetkezését egy valós kiinduló eseménynek elősegítheti. Kiinduló vagy kezdeti eseménynek nevezünk a tervezett normál üzemi állapottól eltérő olyan állapotot előidéző eseményt, amely a létesítményen belüli műszaki okok, a személyzet beavatkozása vagy a külső környezetből eredő mesterséges vagy természetes eredetű hatás következtében jön létre, és várható üzemi eseményekhez, tervezési üzemzavarokhoz vagy balesethez vezethet. A kiinduló vagy kezdeti események részei a tervezési alapnak és mind determinisztikus [13,18 3. kötet,97,98,99], mind valószínűségi elemzési módszerekkel [13,18 3.kötet,91,92,93,94,95,96] értékelni kell ezek kialakulásának körülményeit, feltételeit és hatását. Ugyanis a biztonságos tervezés lényege, hogy ezen események elviselésére, kezelésére felkészítsük a létesítményünket. Fontos kérdés, hogy mennyire degradálódott valamely *biztonsági funkció* az esemény bekövetkeztekor, és a biztonsági funkció mennyire fontos a létesítmény biztonsága szempontjából, vagyis az eseményben érintett rendszerelem mely *biztonsági osztályba* van besorolva, illetve ezen rendszerelem funkcióképességének csökkenése mennyire változtatta meg a biztonsági funkciót ellátó rendszer funkcióképességét. Az esemény kialakulásának körülményeit befolyásoló tényező, a biztonsági megítélésnek fontos összetevője, hogy a hiba indukált-e *védelmi működést*, vagyis szükség volt-e biztonságvédelmi rendszer automatikus üzembelépésére? Biztonságvédelmi rendszer alatt a reaktorvédelmi rendszert értjük. A láncreakció leállításának képessége, illetve a kritikusság megakadályozása elsődleges biztonsági kérdés ennél a technológiánál.

Egy esemény biztonsági megítélése függ attól, hogy hova „fajul”, milyen a lefolyása, illetve a lefolyást befolyásolja a személyzet ténykedése, vagyis az esemény kezelése (II.) is. A technológia szempontjából érdekes, hogy milyen a *hiba* jellege, a személyzet tekintetében, pedig a kiemelt jelentőségű *Műszaki Üzemeltetési Szabályzat* betartása és az írott utasítások szerinti tevékenység, továbbá az írott utasítások megfelelősége, vagyis volt-e adminisztratív hiba. Adminisztratív hiba alatt azt értjük, hogy az adott tevékenységet (esemény bekövetkezése és kezelése alatt) leíró írásos utasításban volt-e hiba, ami az esemény bekövetkezéséhez és lefolyásához hozzájárult. Alapvető követelmény, hogy minden tevékenységet írásos utasítás, technológia alapján kell végrehajtania a személyzetnek. A tévedés lehetőségét minimálisra kell csökkenteni.

Az esemény biztonsági jelentősége nagyban függ attól, hogy mi az esemény következménye (III.). Milyen környezeti hatással járt, a személyzet tagjai kaptak-e valamilyen besugárzást és milyen biztonsági kockázattal járt az adott meghibásodás, esemény. A legfontosabb kérdés a környezeti hatás: történt-e veszélyes kibocsátás (jelen esetben a kibocsátás nemcsak a létesítmény telephelyén kívülre kikerülő veszélyes anyagot jelenti, hanem az is lényeges, hogy ha olyan helyre került ki veszélyes anyag, ahol normál üzemben nem számolnak vele), vagy a személyzet az esemény kapcsán nem tervezett dózisterhelésnek volt kitéve. A személyzet dózisterhelését tervezni kell, érvényesítve a 1.4. fejezetben említett C és E elveket. A nem tervezett dózisterhelés biztonság szempontjából további kockázatot hordoz.

Az esemény biztonsági súlyának teljes meghatározásához az esemény értékelésekor (IV.) nyílik lehetőség. Az esemény okainak meghatározása kiemelten fontos tényező, hiszen, csak akkor tudjuk megelőzni egy esemény ismétlődését, ha hatékony javítóintézkedés(eke)t tudunk a megelőzés érdekében végrehajtani. Ehhez viszont pontosan tudnunk kell az esemény okait. Lényeges szempont az emberi tényező, emberi hiba az adott tevékenység kapcsán. Valóban rendkívül nehéz kiszámítani az emberi cselekvőkészséget, hiszen rengeteg tényező befolyásolja. Ugyanakkor minden, ami körülvesz bennünket, ami a civilizációnk terméke, az emberi találmány és készítmény a maga nagyszerűségével és fogyatékoságával együtt. Az automatikus működést is emberek programozzák és építik ki. A legfontosabb különbség egy adott üzemeltetési tevékenység végrehajtása és egy alkotási, tervezési és gyártási folyamat között, az időtényező. Ha nincs időkényszer, akkor végre lehet hajtani többszintű ellenőrzést, lehet apellálni a „közös bölcsességre”, minimalizálva az egyén által elkövetett hibák mennyiségét. Az idő rövidsége esetén ez nem lehetséges. Az automatika mindig azt az algoritmust hajtja végre, amelyre beprogramozták. Ez a kiszámíthatóság rendkívül nagy előny,

ugyanakkor azokat a helyzeteket, amelyeket nem sikerült pontosan prognosztizálni, csak részben, vagy egyáltalán nem tudja kezelni. Ezt viszont megoldhatja az emberi beavatkozás. Az ember cselekvőképességét ugyanakkor befolyásolja a tehetsége (képesség), felkészültsége (képzés) és az adott pillanatban a pszichikai állapota. Ezek nem pontosan kiszámítható tényezők. Tehát az emberi tényezőt kiemelten kell figyelni, vizsgálni és egy-egy hibát elemezni, hogy abból is lehessen tanulni, vagyis egy esemény kapcsán lényeges eleme a tapasztalatok hasznosításának. Fontos kérdés, hogy a hiba bekövetkezése rámutat-e a tervezési alap (1.5. fejezet) hiányosságaira. Ez a tervezési folyamat kulcsmomentuma a létesítmény biztonsága szempontjából.

Rendkívül fontos kérdés, hogy az esemény utal-e a biztonsági kultúra szintjének csökkenésére. Mutat-e az esemény bekövetkezése olyan hiányosságot, amely a biztonsági kultúrával (1.4. fejezet G pont és 1.9. fejezet) összefüggésbe hozható. A biztonsági kultúra fontos fogalom a biztonság értékelése tekintetében. Ugyanakkor a biztonsági kultúra szintjének számszerű meghatározására nincs eszközünk. Több vizsgálati módszer van, amely segítségével fel lehet térképezni a biztonsági kultúra jellemzőit egy szervezetben és a két felmérés eredményét (azonos módszer esetén) össze lehet vetni. A fent vázolt eseményértékelési módszer korlátozottan ugyan, de lehetővé teszi az egyes események kapcsán a biztonsági kultúra számszerű értékének a meghatározását. Az esemény-értékelési módszer kapcsolódó tényezőinek a csoportosításával a biztonsági kultúrát jellemző mérőszámot rendelhetünk az egyes üzemzavarokhoz. Ezeket az értékeket (csakúgy, mint az események biztonsági súlyát jellemző értékeket) összehasonlíthatjuk pl. évenként. Ezért érdemes külön csoportosítani az egyes eseményekkel kapcsolatban a következő, biztonsági kultúrát valamilyen módon befolyásoló jellemzők értékeinek összegét:

- a műszaki üzemeltetési szabályzat (MÜSZ), vagy „újkeletű” nevén az üzemeltetési feltételek és korlátok (ÜFK) követelményeinek mennyire sikerült megfelelni [100];
- a személyzet működése;
- ismétlődő események;
- tervezési okokból bekövetkező hiba.

Ezen jellemzők a biztonsági kultúrát ugyan teljes mértékben nem jellemezhetik, de az adott esemény kapcsán a biztonsági kultúra szintjének aktuális állapota ilyen módon számszerűsíthető.

Az esemény kialakulásának körülményei	Az esemény lefolyása, kezelése	Az esemény következményei	Az esemény értékelése
<p>Kiinduló/kezdeti esemény léte Nem volt valószínű esemény (csak potenciális)</p> <p>Volt kezdeti esemény</p> <p>Ilyen kezdeti esemény viszonylag gyakran bekövetkezhet. Gyakorisága $2 \cdot 10^{-4} < x$</p> <p>Ilyen kezdeti esemény viszonylag ritkán következik be. Gyakorisága $2 \cdot 10^{-4} < x < 3 \cdot 10^{-4}$</p> <p>Ilyen kezdeti esemény bekövetkezése valószínű. Gyakorisága: $x < 3 \cdot 10^{-4}$</p>	<p>MŰSZ korlátozás hatálya alá kerülés Nem következett be MŰSZ korlátozás hatálya alá kerülés</p> <p>Bekövetkezett a MŰSZ hatálya alá kerülés</p> <p>A MŰSZ-ben előírt intézkedések nem, vagy nem az előírt időhatáron belül kerültek végrehajtásra</p> <p>a MŰSZ-ben előírt intézkedések végrehajtásra kerültek, azonban a korlátozás átépítése a megadott időkorlátot túl áll vagy állt fenn</p> <p>MŰSZ hatálya alá kerülés történt, de azért, mert a felfedezés lényegében a beavatkozás megőrzését a MŰSZ sértés elkerülése. A MŰSZ hatálya alá kerülés lényegében azonos nem állapítható meg, vagy teljes egyetemes figyelembe véve MŰSZ sértést eredményezve</p>	<p>Radioaktív kibocsátás/szennyezés</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nem történt közeg kikerülése a normál üzemi állapotban, és a kibocsátás lehetősége sem állt fenn</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során került ki közeg a normál üzemi állapotban</p> <p>A kibocsátás közeg nem volt radioaktív, és radioaktív kibocsátás lehetősége nem volt lehetséges</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során radioaktív közeg kikerülése potenciálisan létrejött</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során került ki radioaktív közeg</p>	<p>Ismétlődő események Az esemény nem ismétlődő jellegű</p> <p>Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során nem sikerült, vagy nem sikerült jól meghatározni az esemény alapvető okát</p> <p>Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során elhatározott javító intézkedés nem volt elég hatékony (az alapvető okot az intézkedés végrehajtásával nem sikerült "elhárítani/megszüntetni")</p> <p>Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során elhatározott javító intézkedést előirányozták, de nem sikerült időben végrehajtani (az ismétlődő esemény előző következtetése, minthogy a határidő lejárt volna)</p> <p>Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során elhatározott javító intézkedést előirányozták, de nem hajtották végre (nem határidőre, vagy egyáltalán nem hajtották végre)</p>
<p>A biztonsági funkciók degradációja Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során biztonsági funkció degradációja nem következett be</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során valamely másodlagos rendszerem meghibásodása miatt következett be a biztonsági funkció degradációja</p> <p>Az esemény során csak egy biztonsági funkció részleges degradációja következett be</p> <p>Az esemény során több biztonsági funkció részleges degradációja következett be</p>	<p>MŰSZ sértés Nem következett be MŰSZ sértés</p> <p>Bekövetkezett MŰSZ sértés</p> <p>A MŰSZ sértése nem tudatosan történt</p> <p>A MŰSZ sértése tudatosan történt</p>	<p>Dózisterhelés Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet dózisterhelése nem haladta meg a normál üzemi, tervezett értéket</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet dózisterhelése meghaladta az előírt értéket</p> <p>A dózisterhelést elszervezett személy nem tudott a határérték túllépéséről</p> <p>A dózisterhelést elszervezett személy tudott a határérték túllépéséről</p>	<p>Az esemény alapvető okának ismerete Az esemény alapvető oka meghatározott, és megfelelő javító intézkedést irányoztak elő a hasonló események bekövetkezésének elkerülésére</p> <p>Az esemény alapvető okát nem sikerült meghatározni</p>
<p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során valamely elsődleges rendszerem meghibásodása miatt következett be a biztonsági funkció degradációja</p> <p>Az esemény során csak egy biztonsági funkció teljes degradációja következett be</p> <p>Az esemény során több biztonsági funkció teljes degradációja következett be</p>	<p>Közös okú hibák Az esemény során előforduló meghibásodás(ok)ra a közös okú hiba nem jellemző</p> <p>Az esemény során előforduló meghibásodás(ok)ra a közös okú jelleg megállapítható</p> <p>Az esemény során előforduló meghibásodás(ok)ra a közös okú jelleg megállapítható, és ez kettőnél több, különböző biztonsági funkciót érintő rendszerhez tartozó rendszerelemet érintett</p> <p>Az esemény során előforduló meghibásodás(ok)ra a közös okú jelleg megállapítható, és redundáns biztonsági rendszerhez tartozó rendszerelemeket érintett</p>	<p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet dózisterhelése meghaladta a dózimétriailag engedélyezett meghatározott értéket</p> <p>A dózisterhelést elszervezett személy nem tudott a határérték túllépéséről</p> <p>A dózisterhelést elszervezett személy tudott a határérték túllépéséről</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet dózisterhelése meghaladta valamely hatósági dóziskorlátot</p>	<p>A biztonsági elemzés hiányosságai miatt bekövetkező hibák Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nem derült fény biztonsági elemzés hiányosságára</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során fény derült biztonsági elemzés hiányosságára</p>
<p>Védelmi működés Nem következett be védelmi működés</p> <p>Védelmi működés bekövetkezett</p> <p>A védelmi működés olyan teljesítményzinten következett be, ahol erre a védelmi funkcióra nincs szükség</p> <p>Éles védelmi működés következett be nem valós jele</p> <p>Éles védelmi működés következett be valós jele</p> <p>A védelmi működés nem a tervezetnek megfelelően ment végbe</p>	<p>Az emberi hibák szerepe az esemény lefolyása során Emberi hiba nem történt az esemény lefolyása során</p> <p>Emberi hiba történt az esemény lefolyása során</p> <p>Emberi hiba történt az esemény lefolyása során</p> <p>Emberi hiba történt az esemény lefolyása során, és ez újabb eseményt indukált</p>	<p>Zónaolvasási kockázat Nem volt zónaolvasási kockázat</p> <p>Az esemény során olyan technológiai konfiguráció állt elő, hogy volt zónaolvasási kockázata, de</p> <p>valószínűsége $P < 10^{-4}$</p> <p>valószínűsége $10^{-4} < P < 10^{-3}$</p> <p>valószínűsége $10^{-3} < P$</p>	<p>Emberi hibák a hasonló események bekövetkezésének elkerülésére tett javító intézkedésekkel kapcsolatban Nem történt emberi hiba, mert a hasonló esemény bekövetkezésének elkerülésére tett javító intézkedéseket megfelelő módon végrehajtották</p> <p>Történt emberi hiba, mert a hasonló esemény bekövetkezésének elkerülésére tett javító intézkedéseket nem megfelelő módon hajtották végre</p> <p>A végrehajtás a kijelölt határidőre képest késve történt, vagy a végrehajtási határidőt nem megfelelően jósolták ki</p> <p>A hasonló esemény bekövetkezésének elkerülésére tett javító intézkedés(ek) nem hajtották végre</p>
<p>Az érintett rendszerek, rendszerelemek ABOS osztálya Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nincs biztonsági osztályba sorolt rendszer, rendszerelem érintve</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során érintve vannak biztonsági osztályba sorolt rendszerek, rendszerelemek/alkatrészek</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során 3. biztonsági osztályba sorolt rendszer, rendszerelem van érintve</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során 2. biztonsági osztályba sorolt rendszer, rendszerelem van érintve</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során 1. biztonsági osztályba sorolt rendszer, rendszerelem van érintve</p>	<p>Az emberi hibák szerepe az esemény következményeinek elhárítása során Emberi hiba nem történt az esemény lefolyása során</p> <p>Emberi hiba történt az esemény lefolyása során</p> <p>Emberi hiba történt az esemény lefolyása során</p> <p>Emberi hiba történt az esemény lefolyása során, és ez újabb eseményt indukált</p>	<p>Adminisztratív okból bekövetkező hibák Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nem okozott problémát a definíció szerinti adminisztratív hiba</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során problémát okozott a definíció szerinti adminisztratív hiba</p>	<p>Az emberi hibák jellege Emberi hiba nem következett be</p> <p>Emberi hiba történt az esemény lefolyása során</p> <p>Az emberi hiba mellényülés miatt történt (amikor pontosan tudjuk, hogy mit akarunk csinálni)</p> <p>Az emberi hiba emlékeztetlenség miatt történt</p> <p>Az emberi hiba ismeretlenség miatt történt (amikor nem tudjuk pontosan, hogy mit kell lennünk)</p> <p>Az emberi hiba eljárásrend megsértése miatt történt</p>
			<p>A tervezési alap hiányosságai miatt bekövetkező hibák Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nem derült fény a tervezési alap hiányosságára</p> <p>Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során fény derült a tervezési alap hiányosságára</p>
			<p>Az emberi hibák szerepe az esemény okainak körében Emberi hiba nem játszott szerepet az esemény kialakulásában</p> <p>Az esemény okai között emberi hibák is szerepet játszottak</p> <p>Emberi hiba az esemény alapvető oka</p> <p>Emberi hiba az esemény kiváltó oka</p> <p>Emberi hiba az esemény hozzájáruló oka</p>

2.2. ábra: Az esemény biztonsági súlyát befolyásoló tulajdonságok, tényezők áttekintő táblázata (forrás: saját ábra)

2.4 Az alacsony biztonsági kockázatú események biztonsági értékeléséhez szükséges tényezők meghatározásának menete

A fentiekben bemutatott tényezők az adott eseményt előidéző hibát, eltérést és a hibának egy-egy aspektusát vizsgálják. Ahhoz, hogy az események biztonsági súlyát számszerűsíteni tudjuk, minden a nukleáris biztonságot befolyásoló tényezőhöz valamilyen értéket kell rendelni. [102] A módszer szerint az összes tényezőt külön-külön értékelni kell, és meg kell határozni az esemény kapcsán jellemző számértékét. Ezen értékeket összeadva adódik az esemény biztonsági súlya (2.4.1. fejezet). Így az egyes eseményekhez az értékelés alapján egy pontszám párosul. A legmagasabb pontszámú esemény a legsúlyosabb a nukleáris biztonság szempontjából.

Az esemény kivizsgálása során össze kell gyűjteni az összes, az eseményre jellemző információt. Az esemény biztonsági értékeléséhez meg kell határozni azokat a tényezőket, amelyek relevánsak, és azok a tényezők, amelyek nem jellemzik az esemény kapcsán kialakuló helyzetet. Ezek zéró értéket vesznek fel (ezeket az egyes táblázatoknál feltüntettem). Ugyanakkor vannak olyan tényezők, amelyek minden esemény kapcsán értékelendők, vagyis minden esetben valamilyen értéket felvesznek.

Összesen 14 tényezőt határoztam meg (2.2. ábra). A 14 tényezőt tovább bontottam, és minden egyes „altényezőhöz” pontszámot rendeltem. A tényezők sorrendje nem követi a 2.2. ábrán láthatót, mivel az ábrán a közös jellemzői alapján csoportosítottam a tényezőket, alább viszont az értékelés elvégzéséhez, praktikusán adtam meg a sorrendet.

A tényezők a következők:

- 1) Radioaktív kibocsátás/szennyezés;
- 2) A személyzet dózisterhelése;
- 3) Védelmi működés;
- 4) Az érintett rendszerek, szerelemek ABOS osztálya;
- 5) Zónaolvadási gyakoriság;
- 6) MŰSZ betartása;
- 7) Közös okú, módusú hiba;
- 8) Ismétlődő események;
- 9) Biztonsági funkció degradációja;
- 10) Adminisztratív okból bekövetkező hiba;

- 11) Tervezési okokból bekövetkező hiba;
- 12) Kiinduló/kezdeti esemény;
- 13) A személyzet tevékenysége;
- 14) Az esemény alapvető oka.

A tényezők különböző tulajdonságúak. A számértékek meghatározásánál a következő megfontolások segítenek:

a) Vannak kétállapotú jellemzők, a „vagy megtörtént, vagy nem” típusú:

- 1) Kiinduló/kezdeti esemény (valós, potenciális);
- 2) Védelmi működés;
- 3) MŰSZ hatálya/sértés;
- 4) A személyzet működése;
- 5) Az esemény kialakulásának egyéb tényezői (közös modulusú hiba, közös okú hiba, ismétlődő esemény, biztonsági kultúra hiányosságai, tervezési alap, biztonsági elemzés hiányossága, biztonsági funkció részleges, teljes degradációja);
- 6) A személyzet dózisterhelése;
- 7) Veszélyes kibocsátás/szennyezés.

b) Néhány további tényező többállapotú lehet:

- 1) Az esemény oka;
- 2) Az érintett rendszerek, rendszerelemek ABOS osztálya.

c) Vannak olyan jellemzők, melyeknél az igen/nem eldöntendő kérdés után az esemény jellemző értéke is fontos, mint nukleáris biztonságra gyakorolt hatásának egyik ismérve:

- 1) A személyzet dózisterhelése;
- 2) Veszélyes kibocsátás/szennyezés.
- 3) Az esemény során a zónaolvadási kockázat;

A továbbiakban részletesen jellemzem az alacsony biztonsági kockázatú események biztonsági értékeléséhez szükséges tényezőket.

1. Radioaktív kibocsátás/szennyezés

A kibocsátás mértéke alapeleme egy bekövetkezett esemény, baleset [102] megítélésének. A vizsgált eseményekkel kapcsolatosan felmerül nemcsak a környezeti kibocsátás kérdése, hanem az ellenőrzött és a szabad zónába történő kibocsátás is. Tehát olyan események, melyek során az atomerőművi biztonsági intézkedések hatására környezeti sugárterhelés a

kibocsátásból adódóan nem történik, de például tömörtelenség kapcsán veszélyes közeg kerül ki az ellenőrzött zónába, normál üzemben nem tervezett helyre (helyiségbe).

A tényezőt úgy bontjuk fel, hogy a kibocsátás veszélyes közeg volt, vagy nem. Figyelman kívül hagyjuk az aktivitáskoncentráció értékét, hiszen ha a személyzet dózisterhelése nő, akkor azt a 2. tényezőnél kell súlyozni. Az ezen felüli biztonsági tényező pedig maga a tömörtelenség ténye, illetve a veszélyes anyag kikerülésének kockázata.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.1. táblázat tartalmazza:

$$e_1 = \sum_{i=1}^6 \xi_i \cdot a_i \quad (1)$$

ahol

e_1 — az 1. tényező (radioaktív kibocsátás/szennyezés) pontértéke

ξ_i — az 1. tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

a_i — az 1. tényező i -edik változatának pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (a_i)
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nem történt közeg kikerülése a normál üzemtől eltérő módon, és a kikerülés lehetősége sem állt fenn.	0
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során közeg kikerülése történt a normál üzemtől eltérő módon, azonban a közeg nemvolt veszélyes és veszélyes közeg kikerülése potenciálisan sem volt lehetséges.	1
3.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során veszélyes közeg kikerülése potenciálisan létrejöhett volna.	2
4.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során veszélyes közeg kikerülése történt az ellenőrzött zónában.	4
5.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során veszélyes kibocsátás történt a telephelyen belülre, szabad zónába.	10
6.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során veszélyes kibocsátás történt a telephelyen kívülre.	20

2.1. táblázat: A radioaktív kibocsátás, szennyezés tényező értékelő táblázata

A 2.1. táblázatban felsorolt jellemzők egymást kizárók. Veszélyes közegnek olyan közeget kell tekinteni, melynek hatására bármely mértékben megemelkedik a kibocsátás környezetében a dózisteljesítmény.

A veszélyes közeg potenciális kikerülése azt jelenti, hogy az eseménnyel olyan rendszer, rendszerelem volt érintve, amelyből, vagy amely közvetítésével veszélyes közeg kibocsátása létrejöhetett volna.

2. A személyzet dózisterhelése

A személyzet dózisterhelésével kapcsolatosan több mutatót alkalmaznak szerte a világon és Magyarországon is. Jelen értekezésben az események biztonsági értékeléséhez határozottam meg a tényezőket.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.2. táblázat tartalmazza:

$$e_2 = \sum_{i=1}^6 \eta_i \cdot b_i \cdot \xi_i \quad (2)$$

ahol

e_2 — a 2. tényező (a személyzet dózisterhelése) pontértéke

ξ_i — az 2. tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

η_i — a 2. tényező i -edik jellemzőjénél az érintett személyek száma

b_i — a 2. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (b_i)	Megjegyzés (η_i)
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet dózisterhelése nem haladta meg a tervezett értéket.	0	$\eta_1=0$
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet dózisterhelése meghaladta az ellenőrzési szintet.	2	η_2 azon személyek száma, akiknek dózisterhelése meghaladta az ellenőrzési szintet.
3.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet dózisterhelése meghaladta a dozimetriai engedélyben megadott határértéket.	4	η_3 azon személyek száma, akiknek dózisterhelése meghaladta a dozimetriai engedélyben megadott határértéket.
4.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet dózisterhelése meghaladta az éves dózismegszorítás értékét.	8	η_4 azon személyek száma, akiknek dózisterhelése meghaladta az éves dózismegszorítás értékét.
5.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet dózisterhelése meghaladta a hatósági dóziskorlátot.	10	η_5 azon személyek száma, akiknek dózisterhelése meghaladta a hatósági dóziskorlátot.
6.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet dózisterhelése meghaladta az egészségügyi határértéket.	15	η_6 azon személyek száma, akiknek dózisterhelése meghaladta az egészségügyi határértéket.

2.2. táblázat: A személyzet dózisterhelése tényező értékelő táblázata

Az ellenőrzési szint a Paksi Atomerőműben használatos fogalom, amely a dozimetriai engedély nélkül kapható dózis: 0.2 mSv. Különböző szintű dozimetriai engedélyek léteznek a szabályozás szerint, melyeket a tevékenység megkezdése előtt különböző vezetői szintű jóváhagyással kell ellátni. Maximum 4 mSv engedélyezhető. A dózismegszorítás a jogszabály szerint évente 20 mSv, a hatósági korlát 50 mSv, továbbá szervdózis esetén az egészségügyi határérték szervekre vonatkoztatott korlátokat kell érteni. Egész testre vonatkoztatva a 6. sor akkor választható, ha 250 mSv-nél nagyobb dózist kap az illető. Ez a választás önkényes, és

elég alacsony (ez a baleseti korlát, amely önként vállalható) ahhoz, hogy az egészségügyi hatás kockázata kellően alacsony legyen.

3. Védelmi működés

Védelmi működésnek tekintjük, amikor egy bekövetkező (kezdeti) esemény indukálta-, vagy téves védelmi jel hatására biztonságvédelmi rendszer lép működésbe. [13,15,63]

Biztonságvédelmi rendszer: azok a biztonsági rendszerek, amelyek valamely normál üzemi rendszer, rendszerelem meghibásodása esetén, a normál üzemi rendszertől, rendszerelemtől függetlenül képesek az atomreaktor leállítására és szubkritikus állapotban tartására, az atomreaktor remanens hőjének elvitelére, a veszélyes anyagok környezetbe kikerülésének megakadályozására, és a bekövetkezett üzemzavarok vagy balesetek következményeinek korlátozására.

Fontos, hogy a működési definíció nem tesz különbséget a kézzel indított, vagy jelre indult működés között, valamint a valós- vagy nem valós jelre indult működés között. (Az átalakított reaktorvédelmi rendszerben az ÜV1¹⁷ indító jelei között, néhány esetben diverz párként szerepel a nyomógombos ÜV1.)

Védelmi működésnek nevezzük, amikor egy biztonságvédelmi rendszer működésbe lép, kivéve a tesztüzemet, a próbafuttatásra indított működéseket.

- *ÜV-1* (nyomógombos, vagy valós, illetve nem valós jelre indult, bármely teljesítménytartományban);
- *ZÜHR működés*¹⁸ (valós, illetve nem valós jelre indult, bármely teljesítménytartományban);
- *LIP működés*¹⁹ (valós, illetve nem valós jelre indult, bármely teljesítménytartományban).

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.3. táblázat tartalmazza:

¹⁷ Üzemzavari védelem (ÜV) feladata a láncreakció leállítása, a reaktor (aktív zóna) teljesítményének korlátozása. Az 1-es fokozat (létezik még ÜV-3 és ÜV-4) azt jelenti, hogy a láncreakciót a lehető leggyorsabban le kell állítani, vagyis a biztonságvédelmi rudak szabadeséssel zuhannak be a reaktorba. [14,16,63]

¹⁸ A Zóna Üzemzavari Hűtőrendszer (ZÜHR) működése azt jelenti, hogy a normál üzemi aktív zóna hűtés meghibásodott, ezért biztonsági rendszer látja el ezt a feladatot. [14,16,63]

¹⁹ A lépcsőzetes indítási program (LIP) akkor indul, ha a normál energiaellátás meghibásodik. Ebben az esetben a dízelgenerátorok indulnak és a biztonsági fogyasztókat ellátják árammal. [14,16,63]

$$e_3 = \sum_{i=1}^5 \xi_i \cdot c_i \quad (3)$$

ahol

e_3 — a 3. tényező (védelmi működés) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

c_i — a 3. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (c_i)
1.	Nem következett be védelmi működés.	0
2.	A védelmi működés olyan teljesítményszinten következett be, ahol erre a védelmi funkcióra nincs szükség.	1
3.	Éles védelmi működés következett be nem valós jelre.	2
4.	Éles védelmi működés következett be valós jelre.	3
5.	A védelmi működés nem a tervezettnek megfelelően ment végbe.	6

2.3. táblázat: A védelmi működés tényező értékelő táblázata

Nem kívánom részletezni a védelmek felépítését és működését. Azonban magyarázatra szorul a 2.3. táblázat néhány eleme:

A 2. sorban olyan működésre utalok, ahol a blokk üzemállapota szerint nincs szükség az adott védelmi funkcióra: például $-G-^{20}$ jelű üzemállapotban a reaktor leürített állapotban van, ezért a reaktorfizikai korlátok elérésekor bekövetkező védelmi működésre nincs szükség, azonban a detektorok elektromágneses impulzus (pl. a közelben hegesztenek) hatására védelmi jelet generálhatnak.

A 3. sorban tárgyalt nem valós jelet a mérőkör valamely elemének meghibásodása generálhat: például az ellenállás-hőmérsékletmérés hidegpontja „elmászik”.

A 4. sor arra utal, amikor a védelmi működést valós fizikai változás indukálja.

Az 5. sorban levő altényező arra utal, hogy tervezési, kivitelezési, vagy a védelmi rendszer valamilyen hibájából adódóan a védelmi működés, vagyis a beavatkozásszervek sorrendisége, időbelisége, vagy hatékonysága nem megfelelő.

²⁰ Ebben az üzemállapotban a reaktor és hűtőköre leürített, nyomásmentes állapotban van, vagyis a reaktorban nincs üzemanyag. [63]

4. Az eseménnyel érintett rendszerek, rendszerelemek ABOS osztálya

Az atomenergiát alkalmazó létesítmények rendszerlemeit osztályozni kell biztonság szempontjából, ez a biztonsági osztályba sorolás. [103,104] Ez azt jelenti, hogy minden egyes rendszerelmet a biztonsági funkciója alapján osztályokba sorolunk. Ez az egyik és legfontosabb alapja a már említett „graded approach” [18,31,37,89] elv alkalmazásának, mivel a különböző osztályokban szereplő rendszerlemek esetén különböző szintű előírásokat kell alkalmazni. A besorolás módszertanát a NAÜ vonatkozó útmutatóján alapul a magyar szabályozás. [18,105] A besorolás alapelve, hogy az adott rendszer osztályát a biztonsági funkciójának fontossága alapján határozzuk meg. Ilyen módon az atomerőműben 3 biztonsági és egy (4.) nem biztonsági osztályt alakítottunk ki.

Első biztonsági osztály:

Azon biztonsági funkciók és az azokat megvalósító rendszerek és rendszerlemek, amelyek meghibásodása vagy hibája olyan eseményhez vezethet, amely közvetlenül veszélyezteti a reaktor azonnali szubkritikus állapotba vitelét vagy hűtését, és megkívánja a biztonságvédelmi rendszerek azonnali indítását vagy működtetését. Ez atomerőmű esetén a fővízkör és annak elemei.

Második biztonsági osztály:

Azon biztonsági funkciók és az azokat megvalósító rendszerek és rendszerlemek, amelyek

- kellő időben történő üzembe lépése vagy folytonos működése szükséges a normál üzemtől eltérő események bekövetkezésének esetén a reaktor szubkritikuságának és hűtésének biztosításához, vagy a konténment belsejében bekövetkezett normál üzemtől eltérő esemény hatására a reaktorból felszabaduló veszélyes anyagok kikerülésének megakadályozásához,
- meghibásodása vagy hibája megakadályozza a reaktor folyamatos üzemét, és ezzel egy időben megakadályozza a reaktor hűtését és a remanens hő elvezetését az erre a célra szolgáló normál üzemi rendszerekkel;
- működési hibája megnöveli az ellenőrizetlen kritikusság létrejöttének kockázatát;
- az 1. és 2. biztonsági osztályba sorolt rendszerek, rendszerlemek villamos ellátása;
- a 2. biztonsági osztályba sorolt rendszerek, rendszerlemek helyiségei.

A felsorolás jelzi, hogy a 2. biztonsági osztályba tartozó rendszerek a “mitigatív” beavatkozó, elsősorban biztonságvédelmi rendszerek.

Harmadik biztonsági osztály:

Azon biztonsági funkciók és az azokat megvalósító rendszerek, rendszerelemek, amelyeknek alapvető hatása van a következő funkciók megbízhatóságára:

- a reaktor leállítása és szubkritikus állapotban tartása;
- a reaktor hűtése és a remanens hő eltávolítása;
- a reaktoron kívül tárolt kiégett üzemanyag hűtése
- a veszélyes anyagok terjedésének megakadályozása;
- a balesetek következményeinek csökkentése.

A harmadik biztonsági osztályba a “preventív”, megelőző, illetve a segéd, kiszolgáló rendszerek tartoznak.

A 4. nem biztonsági osztályba a fennmaradó, biztonság szempontjából nem meghatározó rendszerek és elemek tartoznak.

Egy esemény során több biztonsági osztályba tartozó rendszer, rendszerelem játszhat szerepet.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.4. táblázat tartalmazza:

$$e_4 = \max \{ \xi_i \cdot d_i \} i = 1, \dots, 4 \quad (4)$$

ahol

e_4 — a 4. tényező (érintett rendszerek ABOS osztálya) pontértéke

ξ_i — tényező i-edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

d_i — a 4. tényező i-edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (d_i)
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nincs biztonsági osztályba sorolt rendszer, rendszerelem érintve.	0
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során 1. biztonsági osztályba sorolt rendszer, rendszerelem érintett.	3
3.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során 2. biztonsági osztályba sorolt rendszer, rendszerelem érintett.	2
4.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során 3. biztonsági osztályba sorolt rendszer, rendszerelem érintett.	1

2.4. táblázat: Az érintett rendszerek ABOS osztálya tényező értékelő táblázata

5. A zónaolvadási kockázat

Az olyan eseményeket, melyek biztonsági rendszerek, rendszerelemek funkcióvesztését okozzák, valószínűségi alapon is lehet vizsgálni. Az ún. PSA a valószínűségi biztonsági elemzés [13,18 3.kötet,91,92,93,94,95,96], amelynek segítségével lehet elemezni a funkcióvesztés miatt bekövetkező biztonsági szint változását. Egy adatbázis alapján meghatározzák az egyes történések gyakoriságát és ezen történéseket hibafákba rendezik. A számítás végeredménye a különböző konfigurációk hatása a zónakárosodás (Core Damage Frequency) kockázatára. Meg kell jegyezni, hogy a szükséges input adatok miatt ez az elemzésfajta hordoz magában némi bizonytalanságot.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.5. táblázat tartalmazza:

$$e_5 = \max \{ \xi_i \cdot f_i \} i = 1, \dots, 6 \quad (5)$$

ahol

e_5 — az 5. tényező (zónaolvadási kockázat) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

f_i — az 5. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (f_i)
1.	Az esemény során olyan technológiai konfiguráció állt elő, hogy a zónakárosodás gyakorisága $<10^{-5}/\text{év}$.	0
2.	Az esemény során olyan technológiai konfiguráció állt elő, hogy a zónakárosodás gyakorisága $>10^{-5}/\text{év}$.	1
3.	Az esemény során olyan technológiai konfiguráció állt elő, hogy a zónakárosodás gyakorisága $>10^{-4}/\text{év}$.	2
4.	Az esemény során olyan technológiai konfiguráció állt elő, hogy a zónakárosodás gyakorisága $>10^{-3}/\text{év}$.	3
5.	Az esemény során olyan technológiai konfiguráció állt elő, hogy a zónakárosodás gyakorisága $>10^{-2}/\text{év}$.	5
6.	Az esemény során olyan technológiai konfiguráció állt elő, hogy a zónakárosodás gyakorisága $>10^{-1}/\text{év}$.	6

2.5. táblázat: A zónaolvadási kockázat tényező értékelő táblázata

Egy esemény során több technológiai konfiguráció is létrejöhet egymás után. Mindig a eseménnyel közvetlenül összefüggésbe hozható legmagasabb zónaolvadási kockázatot kell figyelembe venni. A 2.5. táblázat első sorának meghatározásába értjük az összes olyan eseményt, ahol a zónaolvadás kockázatát nem tudjuk meghatározni, illetve az eseménnyel kapcsolatosan nem volt olyan változás a technológiában, hogy jelentősebb, valószínűségi alapú változás kimutatható lenne.

6. A MŰSZ betartása

A MŰSZ, illetve ÜFK²¹ [63,100] az üzemviteli személyzet legfontosabb dokumentuma, mely a biztonsági elemzések alapján összeállított olyan, az üzemeltetésre vonatkozó műszaki kritériumgyűjtemény, amely betartása szavatolja, hogy a blokk nem fog kilépni a normál üzemállapotából (nem lesznek üzemzavarok). Ez a dokumentum nemcsak a műszaki feltételeket és korlátokat tartalmazza, hanem utasításokat a személyzet részére, ha ezen feltételeket, korlátokat átlépnék. Belátható, hogy ezen kritériumok betartása rendkívül fontos a biztonság szempontjából. Megjegyezném, hogy a személyzetnek a kezelési utasítások alapján kell tevékenykedni, ha az ott leírtakat pontosan betartja, akkor nem kerülhet sor a MŰSZ-ben szereplő korlátok átlépésére, mivel a KU²² megfelelő biztonsági tartalékkal van felépítve.

Az előzőekből következik, hogy a MŰSZ sértés²³ súlyos következményekkel járhat, ezért meghatározó egy esemény biztonsági érintettségét illetően.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.6. táblázat tartalmazza:

$$e_6 = \sum_{i=1}^5 \xi_i \cdot g_i \quad (6)$$

ahol

²¹ Műszaki Üzemeltetési Szabályzat (MŰSZ), újabban Üzemeltetési Feltételek és Korlátok (ÜFK) a biztonságos üzemeltetés alapidokumentuma. A hatóság ennek teljesülését kiemelten ellenőrzi.

²² Kezelési Utasítás (KU) – az üzemvitelhez szükséges összes tevékenység leírása „step by step” módon. Ha e szerint tevékenykedik az üzemviteli személyzet, akkor az ÜFK sem sérül.

²³ MŰSZ sértés: MŰSZ sértésnek tekintendő minden olyan esemény, amely során a MŰSZ korlátozás hatálya alá kerülés történik, és

- a MŰSZ-ben előírt intézkedések nem, vagy nem az előírt időhatáron belül hajtották végre, vagy
- a MŰSZ-ben előírt intézkedések végrehajtásra kerültek, azonban a korlátozás átlépése a megadott időkorláton túl áll vagy állt fenn.

e_6 — a 6. tényező (MŰSZ betartása) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

g_i — a 6. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (g_i)
1.	Nem következett be MŰSZ hatálya alá kerülés/sértés.	0
2.	MŰSZ hatálya alá kerülés ²⁴ történt.	1
3.	MŰSZ hatálya alá kerülés történt, de azért, mert a felfedezés ténye után a beavatkozás megtörtént a MŰSZ sértés elkerülésére. A MŰSZ határérték túllépés tényleges ideje azonban nem állapítható meg, vagy teljes egészében figyelembe véve MŰSZ sértést eredményezne.	6
4.	MŰSZ sértés (nem tudatos).	8
5.	MŰSZ sértés (tudatos).	12

2.6. táblázat: A MŰSZ betartása tényező értékelő táblázata

A MŰSZ sértés súlyozandó a feltételezhetően tudatos, vagy a feltételezhetően nem tudatos jelzőkkel. Mindkét esetre van gyakorlati példa, azonban a “feltételezhető” kifejezés szükséges, mert a kivizsgálás a legtöbb esetben csak feltételezni tudja, amennyiben erre utaló jelek vannak. A MŰSZ sértés, különösen a tudatos kategóriájú, igen súlyos elbírálás alá esik, mivel a MŰSZ az alapvető, biztonsági garanciákat tartalmazó műszaki kritériumgyűjtemény. Ennek a tényezőnek (2.6. táblázat) az is specialitása, hogy a különböző állapotok egyszerre nem következhetnek be, vagyis „kizáró vagy” kapcsolat van az egyes jellemzők között.

7. Közös okú, modusú hiba

A hiba fogalma²⁵: „*egy rendszer, rendszerelem bármely nem tervezett, a meghatározott üzemi állapottól való eltérése, a rendszerben, rendszerelemben külső vagy belső okból bekövetkező meghibásodás, illetve hibás kezelői tevékenység miatt.*” [31,37]

²⁴ MŰSZ korlátozás hatálya alá kerülés: MŰSZ korlátozás hatálya alá kerülésnek nevezünk minden olyan eseményt, mely során a MŰSZ valamely korlátozása nem teljesül, és az előírt intézkedések végrehajtásával a korlátozásokon belüli állapotot visszaállították. A MŰSZ korlátozás hatálya alá kerülés kezdetének a korlátozáson kívülre kerülés felismerésének időpontját kell tekinteni.

²⁵ 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 10. melléklet [37 74.1]

Közös okú meghibásodás [31,37] alatt azt értjük, ha több eszköz vagy komponens egy bizonyos, minden berendezést érintő esemény, vagy ok miatt nem teljesíti funkcióját. Ez azt jelentheti, hogy az egész biztonsági funkció teljesülésének megbízhatósága alacsonyabb lehet a vártnál. Közös modusú hibára vezető körülmény lehet:

- berendezések konstrukciós hasonlósága;
- azonos gyártó;
- hasonló üzemi, üzemeltetési körülmények;
- külső tényezők, mint pl. természeti hatások.

Egy hibáról gyakran nem egyszerű megállapítani, hogy valójában közös okú-e, hiszen a konstrukciós hasonlóság igen tágan értelmezhető. Az azonos gyártó egyértelmű hibaoknak tűnik, de az azonos adagszámból való berendezések, elemek, vagy az azonos telephelyen gyártottak, stb. mind befolyásoló tényezők lehetnek. A hasonló üzemeltetési körülmények egyértelműbben állapíthatók meg, hiszen több paraméter (külső- és belső üzemeltetési és üzemi paraméterek: hőmérséklet, nyomás, közeg, páratartalom, elhelyezés, funkció) befolyásolja ezt a kérdést. A külső tényezők – pl. elárasztás – vizsgálatánál külön kell vizsgálni azt a körülményt, hogy ugyanolyan mértékben érte-e a berendezéseket, vagy alkatrészeket a külső hatás. Ez függhet elsősorban a berendezés, alkatrész elhelyezkedésétől, illetve a külső hatás hatósugarától, intenzitásától, stb.

Belátható, hogy komoly biztonsági jelentősége lehet, ha különböző beépítési helyen üzemelő berendezések biztonsági funkciójának végrehajtása egyidőben ellehetetlenül, illetve ha nagyobb számú berendezést ér káros hatás, ahol szintén egyszerre több biztonsági funkció degradációja is lehetséges. Az ilyen hatás ellen kell védekezni a redundancia alkalmazásával és a fizikai szeparációval. (1.6. fejezet C pont)

Az ilyen jellegű meghibásodásoknál gondos, általában átfogó jellegű intézkedés(ek)re van szükség a hasonló jellegű események bekövetkezésének elkerülése érdekében.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.7. táblázat tartalmazza:

$$e_7 = \sum_{i=1}^3 \xi_i \cdot h_i \quad (7)$$

ahol

e_7 — a 7. tényező (közös okú, modusú hiba) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

h_i — a 7. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (h_i)
1.	Az esemény során előforduló meghibásodás(ok)ra a közös okú hiba nem jellemző.	0
2.	Az esemény során előforduló meghibásodás(ok)ra a közös okú jelleg megállapítható, és ez kettőnél több, különböző biztonsági funkciót ellátó rendszerhez tartozó rendszerelemet érintett.	2
3.	Az esemény során előforduló meghibásodás(ok)ra a közös okú jelleg megállapítható, és redundáns biztonsági rendszerhez tartozó rendszerelemeket érintett.	4

2.7. táblázat: A közös okú, modusú tényező értékelő táblázata

A 2.7. táblázat 2. és 3. jellemzője egyszerre is bekövetkezhet. A tényező abban az esetben, ha redundáns biztonsági rendszereket érint, egyben a fizikai elválasztás megfelelőségének megítéléséhez is ad információt. Az “érintett” kifejezés jelen esetben azt jelenti, hogy a biztonsági rendszer, rendszerelem a biztonsági funkció ellátóképessége az eseményből következően nem teljes értékű.

8. Ismétlődő események

Az események kivizsgálásának [2] egyik fő szempontja, hogy megállapítsuk az esemény bekövetkezésének alapvető-, kiváltó- és járulékos okait, majd a hibák ismétlődésének megakadályozására olyan javító intézkedéseket irányozunk elő, amelyek végrehajtása után, a lehető legnagyobb mértékben kiküszöbölhetők a hibák. Miután az események megelőzése a legfőbb feladat, azaz ne következessen be baleset, az események ismétlődését meg kell akadályozni. Az esemény ismétlődését [88] akkor akadályozhatjuk meg, ha sikerül az alapvető okát pontosan feltárni és arra hatékony javítóintézkedést tudunk végrehajtani.

Amennyiben mégis bekövetkezik hasonló jellegű esemény, tehát az esemény ismétlődik, akkor a folyamatot nem sikerült megfelelően végig vinni, és ez külön figyelmet igényel. A probléma a következő lehet:

- a. nem sikerült-, vagy nem sikerült jól meghatározni az esemény alapvető okát, vagy
- b. az elhatározott javító intézkedés nem volt elég hatékony (az alapvető okot az intézkedés végrehajtásával nem sikerült „elhárítani/megszüntetni”), vagy
- c. a javító intézkedést elhatározták, de nem hajtották végre, vagy nem sikerült időben végrehajtani (ez utóbbi eset határidő kijelölési probléma is lehet).

Mindhárom ok olyan vizsgálandó problémákat vet fel, amelyek az esemény biztonságra gyakorolt hatását növelik, mivel az üzemeltető szervezet képzettségét, a szervezeten belüli biztonsági kultúrát, esetleg a munkavégzés körülményeit érinthetik. Ezért akár más, további események bekövetkezésének is lehetnek kiinduló problémái.

Látható, hogy ez a tényező is kétállapotú jellemző, vagyis vagy ismétlődő az esemény, vagy nem. Az is megállapítható, hogy nem mindegy, milyen okból következett be hasonló jellegű esemény, tehát a tényezőt szükséges tovább árnyalni.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.8. táblázat tartalmazza:

$$e_8 = \sum_{i=1}^5 \xi_i \cdot k_i \quad (8)$$

ahol

e_8 — a 8. tényező (ismétlődő események) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

k_i — a 8. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (k_i)
1.	Az esemény nem ismétlődő jellegű.	0
2.	Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során nem sikerült-, vagy nem sikerült jól meghatározni az esemény alapvető okát.	3
3.	Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során elhatározott javító intézkedés nem volt elég hatékony (az alapvető okot az intézkedés végrehajtásával nem sikerült “elhárítani/megszüntetni”).	3
4.	Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során elhatározott javító intézkedést előirányozták, de nem sikerült időben végrehajtani (az ismétlődő esemény előbb következett be, minthogy a határidő lejárt volna).	3
5.	Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során elhatározott javító intézkedést előirányozták, de nem hajtották végre (nem határidőre-, vagy egyáltalán nem hajtották végre).	5

2.8. táblázat: Az ismétlődő események tényező értékelő táblázata

A 2.8. táblázat 4, 5. sorában leírt jellemzők egymást kizárók, azonban a 3. sor jellemzőjével együtt külön-külön előállhatnak.

A 2. sorban feltüntetett jellemző lehet kivizsgálási folyamatból eredő probléma (információ hiány). Ugyanilyen lehet a 3. sorban levő jellemző, vagy vezetési hiányosság, hiszen egy problémára több, esetenként alapvetően eltérő javító intézkedés valósítható meg. Lehetséges a „könnyebb út” verzió, amikor nem az alapvető ok megszüntetése volt a cél. A 4. jellemző vagy véletlenszerű, vagy helytelen, „kényelmes” határidő megállapítás miatt jöhetett létre. E két utóbbi (3., 4.) jellemzőnél a két feltételezés nem ugyanolyan súlyú, ugyanakkor ennek későbbi megállapítása komolyabb nehézségekbe ütközhet, ezért nem bontottam tovább a jellemzőket.

Az 5. jellemző egyértelmű biztonsági kultúra és menedzsment problémára utalhat, ezért ez súlyosabb kategóriába esik.

Megállapítható, hogy ez a tényező szorosan kapcsolódik nem csak az említett biztonsági kultúra fogalmához, hanem az emberi tényezőhöz és a vezetési hiányosság problémaköréhez egyaránt.

9. Biztonsági funkció degradációja

A létesítményünk tervezési alapjába tartozó események kezelésére biztonsági funkciót ellátó rendszereket, rendszerelemeket kell tervezni. [13,18 3.kötet,46,47,63] Ezek segítségével lehet megakadályozni az adott esemény eszkalálódását, balesetté fejlődését. [102] Egy esemény kapcsán lényeges vizsgálni, hogy milyen mértékben álltak rendelkezésre az adott esemény kezeléséhez szükséges, az esemény továbbfejlődését megakadályozó biztonsági funkciók. A biztonsági funkció alatt a következőt kell érteni: *„Várható üzemi esemény, üzemzavar vagy baleset, atomerőművek esetében a súlyos baleset kialakulásának megelőzésére vagy következményeinek korlátozására előirányzott funkciók, amelyek hozzájárulnak, vagy hozzájárulhatnak az alapvető biztonsági funkciók teljesüléséhez.”* [18 3. kötet.]

Lehetséges a biztonsági funkció részleges vagy teljes elvesztése. A részleges elvesztés azt jelenti, hogy a funkciót teljesítő rendszerben hiba keletkezett, de ez a hiba olyan rendszerelemet érint, illetve olyan mértékű, hogy a funkció rendelkezésre áll, de nem teljes értékű (pl. kisebb mértékű inhermetikusság miatt csökken egy szivattyú által szállított közegmennyiség).

Figyelembe kell venni a potenciális meghibásodás lehetőségét, hiszen a veszélyeztetés is olyan hatás, amellyel biztonsági szempontból számolni kell.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.9. táblázat tartalmazza:

$$e_9 = \sum_{i=1}^3 \mu_i \cdot l_i \cdot \xi_i \quad (9)$$

ahol

e_9 — a 9. tényező (biztonsági funkció degradációja) pontértéke

μ_i — a 9. tényező i -edik jellemzőjénél az érintett személyek száma

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

l_i — a 9. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (l_i)	Megjegyzés (μ_i)
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során biztonsági funkció degradációja nem következett be.	0	$\mu_1=0$
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során biztonsági funkció részleges degradációja következett be, elsődleges rendszerelem meghibásodása miatt.	3 X	μ_2 azon elsődleges rendszerelemek számát, amelyek részlegesen degradálódtak.
3.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során biztonsági funkció teljes elvesztése következett be.	5 Y	μ_3 azon elsődleges rendszerelemek számát, amelyek funkcióképtelenné váltak.

2.9. táblázat: A biztonsági funkció degradációja tényező értékelő táblázata

A 2.9. táblázat 1. jellemzője egyszerre nem következhet be a 2-kal és a 3-kal. Ugyanakkor több funkció is degradálódhat részlegesen, vagy teljes mértékben.

10. Adminisztratív okból bekövetkező hiba

A nukleáris területen alapkövetelmény, hogy a személyzet minden tevékenységét írott utasítás alapján hajtsa végre. A személyzettel szemben támasztott követelmények jóval számosabbak, mint egy átlagos munkahelyen, pl. időszakosan be kell számolni a tudásukról (a kulcspozíciókban a hatóság [18 1.kötet] előtt kell vizsgáznuk). A felkészülés alkalmával nemcsak az a követelmény, hogy széleskörű ismeretekkel rendelkezzenek, hanem az is, hogy

az írott utasítást használják. Ezért jellemzőek az ún. „step by step” utasításformák, valamint a szükséges tevékenységek lebontása a lehető legegyszerűbb műveletekre (pl. egy szerelvény lezárása), amelyek szükségességét valamilyen paraméter értéke határozza meg. Ennek az elvnek a háttérében az áll, hogy az utasítás kidolgozására jóval több idő áll rendelkezésre, mint egy adott helyzetben a döntés meghozatalára. Természetesen a technológia kialakítása segíti ezt az elvet azzal, hogy ahol nincs idő utasítás szerint tevékenykedni, ott vagy automatikus a technológia működése, vagy csak alaposan begyakorolt, egyszerű rutinműveletekre lehet szükség. Ezért lényeges, hogy az írott utasítások megfelelőségét egy esemény során külön vizsgáljuk. Fontos megjegyezni, hogy a szakma sem egységes abban, hogy az adminisztratív hiba az emberi hibák egyik „alfaja”, vagy sem. Mivel eltér a közvetlen üzemeltetői hibáktól, ezért külön választom a személyi hibától.

Tehát ezzel a tényezővel azt vizsgáljuk, hogy a körütekintően, többszörös ellenőrzésen átesett dokumentum (pl. kezelési utasítás - KU) hibás, vagyis az adott írásos utasítás pontos végrehajtása hibát okozott. További hibalehetőség, hogy nincs előírás az adott tevékenység végrehajtásához, vagy több utasítás rendelkezik az adott tevékenységről, de nem azonos módon. Végül soron egy rosszul végiggondolt, illetve papírra vetett, és nem kellő mértékben verifikált, validált folyamat utasításának végrehajtása váltotta ki az eseményt.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.10. táblázat tartalmazza:

$$e_{10} = \sum_{i=1}^2 \xi_i \cdot p_i \quad (10)$$

ahol

e_{10} — a 10. tényező (adminisztratív okból bekövetkező hiba) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

p_i — a 10. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (p_i)
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nem okozott problémát a definíció szerinti adminisztratív hiba.	0
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során problémát okozott a definíció szerinti adminisztratív hiba.	1

2.10. táblázat: Az adminisztratív okból bekövetkező hiba tényező értékelő táblázata

A 2.10. táblázatban látható, hogy kétállapotú a tényező, vagy azonosítható ilyen probléma, vagy nem. A fentiekben felsorolt hiányosságokat egy kalap alá vettem. Lényeges, hogy a személyzet rendszeres képzéséből adódóan a végrehajtóknak, vagy a végrehajtást ellenőrzőknek – különösen, ha tapasztaltak – fel kellene ismerni, ha hibás az utasítás, tehát a probléma az irányítási rendszer hibájából adódik.

11. Tervezési okokból bekövetkező hiba

Különösen súlyosnak minősíthető az az eset, amikor egy esemény kapcsán fény derül arra, hogy a tervezési alap, illetve egy biztonsági elemzés hibás megállapításokat tartalmaz, nem megfelelő következtetéseket von le, vagy rossz kiinduló paramétereket, feltételezéseket vesz alapul. Ez alapvetően megkérdőjelezi a biztonságosság tényét, mivel ez egyrészt feltételezi, hogy régebb óta fennálló hibáról van szó, másrészt megkérdőjelezi a minőségügyi rendszer megfelelő működését a tervezőnél, a kivitelezőnél és az üzemeltetőnél egyaránt.

Biztonsági elemzésnek nevezzük a tervezésre vonatkozó általános biztonsági követelmények teljesülését – egy létesítmény tervezése, létesítése, üzembe helyezése és üzemeltetése folyamán – különböző módszerekkel értékelő és igazoló dokumentumokat, eljárásokat. Ezek összességét biztonsági jelentésnek nevezzük. [63,106] A biztonsági jelentés alapozza meg, bizonyítja a létesítmény biztonságosságát egy-egy életciklusa alatt. A biztonsági jelentés a tervezési fázisban készítenendő el, majd evolúción esik át, és élő dokumentumként végigkíséri a létesítmény teljes életét. Amikor egy esemény bekövetkezési okait kell vizsgálni, esetenként vissza kell nyúlni az eredeti tervekhez, elemzésekhez. Miután minden tevékenységet ezekre alapozva kell megtervezni és végrehajtani, érzékelhető, hogy az alapokban felfedezett hiányosság bizony komoly biztonsági kockázatot rejt magában.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.11. táblázat tartalmazza:

$$e_{11} = \sum_{i=1}^3 \xi_i \cdot q_i \quad (11)$$

ahol

e_{11} — a 11. tényező (tervezési okokból bekövetkező hiba) pontértéke

ξ_i — tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

q_i — a 11. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (q_i)
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nem derült fény biztonsági elemzés és/vagy tervezési alap hiányosságára.	0
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során fény derült biztonsági elemzés hiányosságára.	3
3.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során fény derült a tervezési alap hiányosságára.	6

2.11. táblázat: A tervezési okból bekövetkező hiba tényező értékelő táblázata

A 2.11. táblázatban látható, hogy a tényező itt is kétállapotú, ugyanakkor a tervezési alap hiányossága bekövetkezhethet egyszerre a biztonsági elemzés nem megfelelőségével.

12. Kiinduló/kezdeti esemény

A biztonsági elemzések két nagy csoportra oszthatók: determinisztikus (DSA) [13,18 3. kötet,97,98,99] és valószínűségi (PSA) elemzésekre. [13,18 3. kötet,91,92,93,94,95,96] Ez utóbbiról már írtam a 2.4. számú fejezetben, az 5. tényezőnél. A tervezési alap előállításához meg kell határozni azokat a kezdeti eseményeket, amelyek bekövetkezésének kezelésére fel kell készíteni a létesítményt, biztonsági funkciókat megvalósító rendszereket kell kiépíteni.

A kiinduló események körét szűrni kell, hiszen ha nagyon széleskörűen értelmezzük a kiinduló események körét, akkor szinte lehetetlen lenne megépíteni a létesítményt (például, ha meteoritbecsapódásra is kell méretezni a konténmentet). Ezért a kiinduló eseményeket szűrni kell. A szűrést a bekövetkezési gyakoriságuk alapján kell elvégezni. A szűrési határt a szabályozás [18 3. kötet] adja meg (jelenleg a 10^{-6} /év gyakoriság alatti események kiszűrhetők). Annak a kiinduló eseménynek lehet nagyobb biztonsági súlya, amelynek bekövetkezési gyakorisága kisebb. Minél gyakoribb egy kiinduló esemény, annál nagyobb a rutin a kezelését illetően, viszont a ritkábban bekövetkező kezdeti események sokkal nagyobb kárt okozhatnak (pl. kisebb földrengések gyakrabban, a nagy erejű földrengések ritkábban következnek, be, de a hatása ez utóbbiaknak jóval nagyobb). Az esemény biztonsági megítélésének szempontjából az is fontos, hogy valós kiinduló esemény következett be, vagy „csak” potenciális veszélyeztetés volt. Előfordulhat például, hogy bár egy biztonsági funkció degradálódott, de nem volt szükség erre a funkcióra az esemény során, mivel nem volt valós kiinduló esemény. Ebben az esetben potenciálisnak nevezzük a kiinduló eseményt, és ehhez viszonyítjuk az esemény biztonsági súlyát. Belátható, hogy ha egy valóban bekövetkező kiinduló esemény

indítja az üzemzavart, az biztonság szempontjából súlyosabb eset, mint ha egy rendszerem meghibásodik (valós kezdeti esemény nélkül), és ezt a hibát nem akkor fedezik fel, ha az éles működésére szükség lenne, hanem a hibát tervezett próba, vagy ellenőrzés tárja fel).

A kiinduló esemény bekövetkezési gyakoriságának határértékei követik a magyar szabályozásban használt fogalmaknak (várható üzemi események, üzemzavarok, balesetek) megfelelő szűrési értékeket.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.12. táblázat tartalmazza:

$$e_{12} = \sum_{i=1}^5 \xi_i \cdot r_i \quad (12)$$

ahol

e_{12} — a 12. tényező (kiinduló/kezdeti esemény) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

r_i — a 12. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (r_i)
1.	Nem volt valós kezdeti esemény (csak potenciális).	1
2.	Volt valós kezdeti esemény.	4
3.	A valós vagy potenciális kezdeti esemény bekövetkezési gyakorisága: <i>várható</i> ($>10^{-2}$).	1
4.	A valós vagy potenciális kezdeti esemény bekövetkezési gyakorisága: <i>lehetséges</i> ($10^{-2} < x < 10^{-4}$).	2
5.	A valós vagy potenciális kezdeti esemény bekövetkezési gyakorisága: <i>valószínűtlen</i> ($< 10^{-4}$).	3

2.12. táblázat: A kiinduló/kezdeti esemény tényező értékelő táblázata

A gyakorlat szerint minden eseményhez kell társítani egy kiinduló eseményt, így ez a tényező (2.12. táblázat) minden esetben kap valamilyen nullától különböző értéket.

13. A személyzet tevékenysége

A fentiekben ejtettem szót az emberi hiba jelentőségéről. Hatósági szemüveggel ez az egyik leglényegesebb tényező, mert a pontos okainak felderítése és a kezelése is egyaránt

nehézségekbe ütközik. Az emberi hibák feltárása és az abból adódó tapasztalatok visszacsatolása rendkívül lényeges eleme az események kivizsgálásának. Lényeges, hogy az esemény kezelésének melyik szakaszában történt a hiba.

Az emberi hiba lehet alapvető-, kiváltó-, vagy hozzájáruló oka az eseménynek, de bekövetkezhet az esemény lefolyása, elhárítása során is, sőt a hasonló események bekövetkezésének elkerülésére tett javító intézkedések végrehajtása is lehet emberi hibával terhelt. Ez utóbbira példa az, amikor egy intézkedés végrehajtását halogatják, és ezalatt egy hasonló esemény bekövetkezik. Ez tipikus vezetési (menedzsment) probléma, mivel ilyen esetekben rendszerint a szükséges erőforrás biztosítása nem volt gördülékeny.

Az emberi hibák egyszerre is bekövetkezhetnek, vagyis szuperponálódhatnak egymásra.

Az előzőekből is látszik, hogy a kritériumok megállapítása nem egyszerű feladat, különösen nem a pontértékek meghatározása. Ez a legkényesebb, legnagyobb pontértéket eredményező része az események biztonsági értékelésének.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.13.a táblázat tartalmazza:

$$e_{13}^{(a)} = \sum_{i=1}^{11} \xi_i \cdot s_i^{(a)} \quad (13)$$

ahol

$e_{13}^{(a)}$ — a 13.a. tényező (a személyzet tevékenysége) pontértéke

ξ_i — a tényező i-edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

$s_i^{(a)}$ — a 13.a. tényező i-edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték ($s_i^{(a)}$)
1.	Emberi hiba nem következett be.	0
2.	Emberi hiba az esemény alapvető oka.	7
3.	Emberi hiba az esemény kiváltó oka.	5
4.	Emberi hiba az esemény hozzájáruló oka.	4
5.	Emberi hiba történt az esemény lefolyása során.	3
6.	Emberi hiba történt az esemény lefolyása során, és ez újabb eseményt indukált.	5
7.	Emberi hiba történt az esemény következményeinek elhárítása során.	3
8.	Emberi hiba történt az esemény következményeinek elhárítása során, és ez újabb eseményt indukált.	5
9.	Emberi hiba történt, mivel a hasonló esemény bekövetkezésének elkerülésére tett javító intézkedés(ek) nem voltak kellően hatékonyak.	6
10.	Emberi hiba történt, mivel a hasonló esemény bekövetkezésének elkerülésére tett javító intézkedés(ek)e)t nem megfelelő időben hajtották végre (a végrehajtás a kijelölt határidőhöz képest késve történt a végrehajtás, vagy a végrehajtási határidőt nem megfelelően jelölték ki).	7
11.	Emberi hiba történt, mivel a hasonló esemény bekövetkezésének elkerülésére tett javító intézkedés(ek)e)t nem hajtották végre.	9

2.13.a táblázat: A személyzet tevékenysége tényező értékelő táblázata

A 2.13.a táblázatban az 5, 6, illetve a 7, 8. jellemző egyszerre nem következhet be, kivéve akkor, ha több emberi hiba jellemzi a tényezőt. Ebben az esetben össze kell adni a pontszámokat.

Az emberi hibák más szempontból is vizsgálандók. Mi lehet az oka a hiba bekövetkezésének. Hatékony javítóintézkedést csak úgy lehet előírni, ha pontosan ismerjük a hiba okát. Ezért egy másik kategorizálási lehetőséget, formát is figyelembe kell venni a pontértékek kialakításánál:

- „mellényúlás” (amikor tisztában vagyunk azzal, hogy mit akarunk csinálni);
- a szükséges eljárás elfelejtése;
- ismerethiány (amikor nem tudjuk pontosan, hogy mit kell tennünk);
- az eljárásrend megsértése.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.13.b táblázat tartalmazza:

$$e_{13}^{(b)} = \sum_{i=1}^5 \xi_i \cdot s_i^{(b)} \quad (14)$$

ahol

$e_{13}^{(b)}$ — a 13.b tényező (az emberi hiba okai) pontértéke

ξ_i — a tényező i-edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

$s_i^{(b)}$ — a 13.b tényező i-edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték ($s_i^{(b)}$)
1.	Emberi hiba nem következett be.	0
2.	Az emberi hiba mellényúlás (amikor tisztában vagyunk azzal, hogy mit akarunk csinálni) miatt történt.	1
3.	Az emberi hiba a szükséges eljárás elfelejtése miatt történt.	2
4.	Az emberi hiba ismerethiba (amikor nem tudjuk pontosan, hogy mit kell tennünk) miatt történt.	3
5.	Az emberi hiba a szabályozás tudatos megsértése miatt történt.	4

2.13.b táblázat: Az emberi hiba okai tényező értékelő táblázata

A 2.13.b táblázat jellemzői egymást kizárók, egyszerre nem következhetnek be, kivéve akkor, ha több emberi hiba jellemzi az eseményt, ezért a táblázat minden sora szóba kerülhet.

14. Az esemény alapvető oka

Az előzőekben látható volt, hogy nagy jelentősége van annak, hogy az események ismétlődését megakadályozzuk. Az ismétlődést akkor akadályozhatjuk meg, ha sikerült az esemény alapvető okát²⁶ pontosan meghatározni (erre léteznek elemzési technikák [107] és hatékony javítóintézkedést tudunk végrehajtani. Könnyen belátható, hogy ha nem sikerült az alapvető okot feltárni, akkor a hasonló események bekövetkezését megelőző intézkedések

²⁶ Alapvető ok az esemény azon oka, amelyet hatékony javítóintézkedés végrehajtásával megszüntetve kizárható hasonló esemény bekövetkezése.

meghatározása, illetve hatékonysága nem lehet teljes értékű, vagy legalábbis megkérdőjelezhető.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 2.14. táblázat tartalmazza:

$$e_{14} = \sum_{i=1}^2 \xi_i \cdot z_i \quad (15)$$

ahol

e_{14} — a 14. tényező (az esemény alapvető oka) pontértéke

ξ_i — tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

z_i — a 14. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Pontérték (z_i)
1.	Az esemény alapvető oka meghatározott, és megfelelő javító intézkedést irányoztak elő a hasonló események bekövetkezésének elkerülésére.	0
2.	Az esemény alapvető okát meghatározni nem sikerült.	3

2.14. táblázat: Az esemény alapvető oka tényező értékelő táblázata

A 2.14. táblázatban levő két jellemző egyszerre nem állhat elő.

2.4.1 Az esemény biztonsági súlya

Miután sikerült meghatározni az egyes tényezők biztonsági szempontjából releváns értékét, az alábbi összegző képletbe helyettesítéssel lehet kiszámítani az értékelt esemény biztonsági súlyát:

$$B_{NBS} = \sum_{i=1}^{14} e_i \quad (15)$$

ahol

B_{NBS} — az esemény nukleáris biztonsági súlyát jellemző érték

2.5 Az események biztonsági értékelése módszerének alkalmazási területei és korlátai

A fent bemutatott értékelési módszer alkalmazásakor lényeges szempont, hogy tisztában legyünk alkalmazásának előnyeivel és korlátaival. A fentiekben már említettem a módszer néhány tulajdonságát, azonban az alábbiakban összefoglalóan kiemelem e módszer legfontosabb általános tulajdonságait.

Az események értékelése alapján meghatározott biztonsági súly nem abszolút érték. A meghatározott értékek csak az egyes események összehasonlítását teszik lehetővé, így meghatározva egy időszak alatt bekövetkezett események biztonsági szempontú sorrendjét. Ugyanakkor az események értékeléséből származó megállapításokat egymással és a korábbi évek eredményeivel is össze lehet vetni, megállapítva az egyes események és évek vonatkozásában a változás mértékét, tendenciáját. Ebből következik, hogy csak azon események biztonsági súlya hasonlítható össze egymással, amelyeket nemcsak ugyanezzel a módszerrel, hanem ezen belül az egyes tényezőket azonos pontértékkel és azonos definícióval vettük figyelembe.

A tényezők olyan módon vannak meghatározva és kibontva, hogy számértékük egyértelműen meghatározható, vagyis az értékelés során a szubjektivitást a lehető legnagyobb mértékben kizárják. Az adatok bevitele 1-esek vagy 0-k táblázatba írását jelenti azokon a helyeken, amely körülmények az adott eseményre "igazak"/ "nem állnak fenn". A tényezők rögzített pontértéke alapján pedig ki kell számolni az adott tényező értékét. A tapasztalatok alapján kiemelt figyelmet érdemlő (kiemelkedően fontos) eseménynek a 30 pontot meghaladó eseményeket tekinthetjük, a figyelmet érdemlő (fontos) események pedig a 20 pont feletti lehetnek. Ezek értelemszerűen önkényesen szabott határértékek. Felmerül a kérdés, hogy mi alapján határoztam meg az egyes tényezők számértékét. Induljunk ki abból, hogy egy esemény sok összetevőből áll. A különböző események természetükből adódóan nyilvánvalóan nem hasonlíthatók össze (nem mondhatjuk meg, hogy melyik a súlyosabb vétség: ha a munkavállaló nem nézte meg a doziméterét, vagy ha nem kapcsolta be a szivattyút). A módszerem szerint azonban a bonyolult eseményeket sikerült olyan elemi eseményekre bontani, melyeknek az egymáshoz viszonyított súlya a tapasztalat és a műszaki megfontolások alapján megítélhető (amelyik elemi esemény nagyobb súlyú, az nagyobb számértéket kapott). Míg az elemi események súlya józan műszaki megfontolás alapján megítélhető, az azokból felépített összetett esemény már nyilvánvalóan nem. Az általam javasolt módszer viszont az elemi

események megfelelően megválasztott, korábban bemutatott számértéke segítségével az összetett esemény biztonsági súlya megítélhető és két összetett esemény biztonsági súlya kis szubjektivitással összevethető. Az elemi tényezők különböző variációban az összes eseményt jellemzik.

Vannak olyan tényezők, amelyek nem értelmezhetők minden eseménynél. Ezeket az eseteket valamilyen módon kezelni kell (minden tényezőnél, amely nem jellemző minden eseményre kell lennie „zéró” értéknek).

Az értékelő módszer előnye

- az események biztonsági szintjét számszerűsíti;
- összehasonlíthatóvá teszi a különböző eseményeket;
- az értékelés során nagymértékben kiküszöböli a szubjektivitást;
- lehetővé teszi a biztonsági kultúra, illetve az emberi hibák értékelését, számszerű megjelenítését;
- jól hasznosítható az erőforrásgazdálkodásnál,
- egy további eszközt nyújt az események értékeléséhez.

Az értékelő módszer korlátai

- nem tesz lehetővé gyors értékelést (az esemény alapos kivizsgálása, értékelése szükséges, az értékeléshez szükséges adatok az esemény bekövetkezése után állnak rendelkezésre),
- elsősorban alacsonyabb biztonsági kockázatú események értékelésére alkalmas,
- a kapott biztonsági számszerű szint relatív, az események egymáshoz viszonyított értékelését teszik lehetővé,
- az eredmények a biztonsági súlyuk alapján nem konvertálhatók konkrét intézkedéssé.

2.6 Az értékelő módszer alkalmazásának bemutatása

Ahogy korábban említettem, az események értékelése az egyes eseményjellemzők besorolásán és a jellemzőkhöz rendelt számértékek számításán alapul. Az esemény kivizsgálása során összegyűjtött információkat a fentiekben részletezettek szerint kell csoportosítani. Aztán az összes tényezőt külön-külön értékelni kell, és meg kell határozni tényezőnként az adott eseményre jellemző táblázat szerinti értéket. Ezen értékeket összeadva adódik az esemény biztonsági súlya (2.4.1. fejezet). A táblázatokban meghatározott számértékek változtathatók attól függően, hogy mely tényező a meghatározó az értékelés számára, mely tényező

változására kívánja érzékennyé tenni a modellt az értékelő. Jelenleg a táblázatokban szereplő értékek több éves munka tapasztalatát tükrözik és a lényeges, érzékeny elemei azok, amelyek a biztonsági kultúra, az emberi tényező köré csoportosíthatók, mivel ez a legnehezebben kezelhető, legösszetettebb rész a biztonság területén. Ez az a terület, amelynek javítása egyrészt jelentős befektetést igényel, másrészt az eredmény csak bizonyos idő elmúltával jelentkezik és akkor sem jól mérhető módon. A módszert több éve alkalmazzuk a hatósági értékelés részeként. Az éves értékelésben jelenik meg az összefoglalója az adott évben bekövetkező eseményeknek. Ezen események publikálása teljes egészében egyrészt meghaladja e munkának a kereteit (több száz esemény érintett), másrészt a nemzetközi fórumokon, a szakmai közönség részére közzétett események sem hozzáférhetők minden érdeklődő számára, mivel ezek szenzitív adatok. Ezért itt csak két példát hozok a módszer alkalmazására.

Korábban említettem, hogy az esemény-értékelési módszer alkalmazhatósága függ az információ mennyiségétől és minőségétől. A nukleáris létesítmények és radioaktív hulladéktárolók esetén részletes útmutatót bocsátott ki az OAH az ún. eseti jelentések végrehajtásának szabályairól. [108] Ezekben az útmutatókban az is részletezett, hogy az egyes események kivizsgálási jelentését hogyan kell előállítani. Tehát a kivizsgálási jelentés, amelyet az engedélyes készít kötött formátumú és tartalmú. A következőkben két eseményt ismertetek, amelyek alapján bemutatom az értékelési módszer alkalmazását. Alább e jelentéseknek csak azokat a részeit kivonatolom, melyek az események számszerű értékelési módszerének bemutatásához szükségesek.

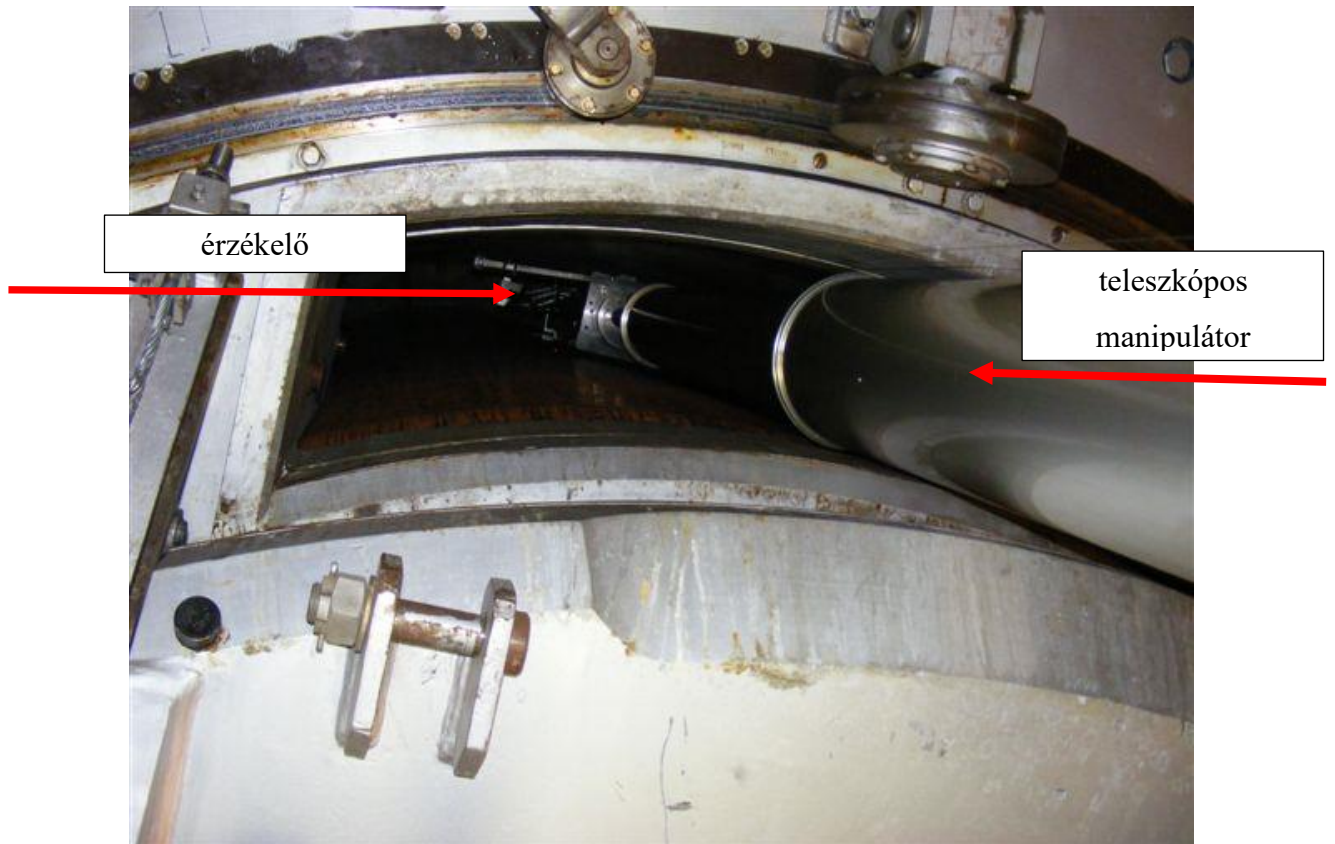
2.6.1 Az 1584. számú esemény (engedélyezett dózisterhelés-szint túllépése)²⁷

Az esemény ismertetése

Egy alvállalkozó munkatársai a reaktor tartály akusztikus emissziós vizsgálatát végezték el a 4. blokki fővízkör nyomáspróbája során. A vizsgálat végrehajtásához szükséges 16 db detektort 2010. 06. 15-én helyezték fel a reaktor tartály 5/6-os varratnál „A Paksi Atomerőmű Zrt. IV. blokki fővízköri nyomáspróbája során végzendő akusztikus emissziós vizsgálat mérési programja” című dokumentáció alapján. Az érzékelőket a biológiai védelem részleges nyitása mellett, manipulátor segítségével (2.3. ábra) mágnesekkel rögzítik a reaktortartály falára. Az érzékelők eltávolítását úgynevezett lehúzókábelekkel végzik, amelyek ezekhez a rögzítő

²⁷ Az esemény leírása ugyan nem idézet, de szöveghű leírása a Paksi Atomerőmű 1584. naplószerű eseménykivizsgálási jelentésének, ezért a függelékbe az eredeti jelentést nem csatoltam.

mágnesekhez csatlakoznak. Az esemény az érzékelők eltávolítása során történt 2010. 06. 21-én.



2.3. ábra: Az érzékelők felhelyezése teleszkópos manipulátorral (forrás: PAE kivizsgálási dokumentum)

A munkavállalók dozimetriai engedélyes munkát végeztek, amelyhez 1 mSv engedélyezett dózisterhelés szintre beállított elektronikus dózismérőt vettek fel. A dozimetriai engedélyen 5 munkavállaló szerepelt. A dózismérők dózisteljesítmény riasztási szintje 1 mSv/h volt.

A kigyűjtött adatok alapján a munkavállaló 03:25-kor rendelt össze az elektronikus dózismérővel. Az elektronikus dózismérő archív adatai alátámasztják a felelős munkavezető által (is) elmondottakat, vagyis az érzékelők leszerelésének kezdete 4:00 óra körüli időpontra tehető. Ekkor kezdett a biológiai védelemhez közelebb elhelyezkedő, az érzékelők lehúzását végző munkavállaló dózisterhelése szinte egyenletesen növekedni.

Az érzékelők leszedésénél az első művelet a biológiai védelem nyitása volt. Ezt követően kezdődhetett meg az érzékelők lehúzása. Az eltávolításhoz a forgóasztallal vissza kellett állni „x” koordináta szerint a detektor pozíciójába, és ki kellett választani a kábelkötegből az adott detektor mágneséhez tartozó lehúzókábel. A művelet végrehajtásához pontosan a nyitott biológiai védelem alatt kellett állni, hogy az érzékelők lehúzása lehetőleg függőlegesen történjen. A lehúzásnál figyelni kell arra, hogy a mágnes a detektorral együtt le ne essen, végül

a mágneszt a tartály aljáról le kell emelni. A munkavállaló elmondása alapján az elektronikus dózismérő jelzését akkor érzékelték, amikor a biológiai védelem alatti munkát megkezdték, de ekkor nem csak az ő dózismérője, hanem a kollégája által viselt dózismérő is hangjelzést adott. Az érzékelők eltávolításának megkezdése időpontjától az elektronikus dózismérők a magas dózisteljesítmény miatt többször is hangjelzést adtak. A munkavállaló elmondása alapján 8 db érzékelő lehúzása után megnézte az elektronikus dózismérőjét, ami akkor 365 μSv dózisterhelés értéket mutatott. A dózismérő ezen érték elérését 4:18 -kor rögzítette. Számításai alapján ekkor tartott a művelet felénél, ezért úgy vélte, hogy a hátralévő feladathoz, ami még negyed órát vesz igénybe, elegendő tartalékkal rendelkezik az engedélyezett dózisszint túllépésének elkerüléséhez. A dózismérő adatai alapján megállapítható, hogy az érintett munkavállaló még kb. fél órát tartózkodott a magas dózisteljesítményű térben.

A munkavállaló dózisterhelésének időbeli eloszlását a dózismérő archív adataiból készített diagram segítségével is vizsgálták (2.4. ábra). A 8 db érzékelő lehúzása után leolvasott értékhez tartozó időtartam (15 perc) és az azután eltelt idő (30 perc), valamint a kapott dózisterhelés összevetése szinte egyenletes dózisteret feltételez. Ezt igazolja és mutatja be a dózismérő archív adataiból kigyűjtött adatsor is, amelyre jól illeszthető egy adott meredekségű, azaz azonos dózisteljesítményű teret jelző egyenes.

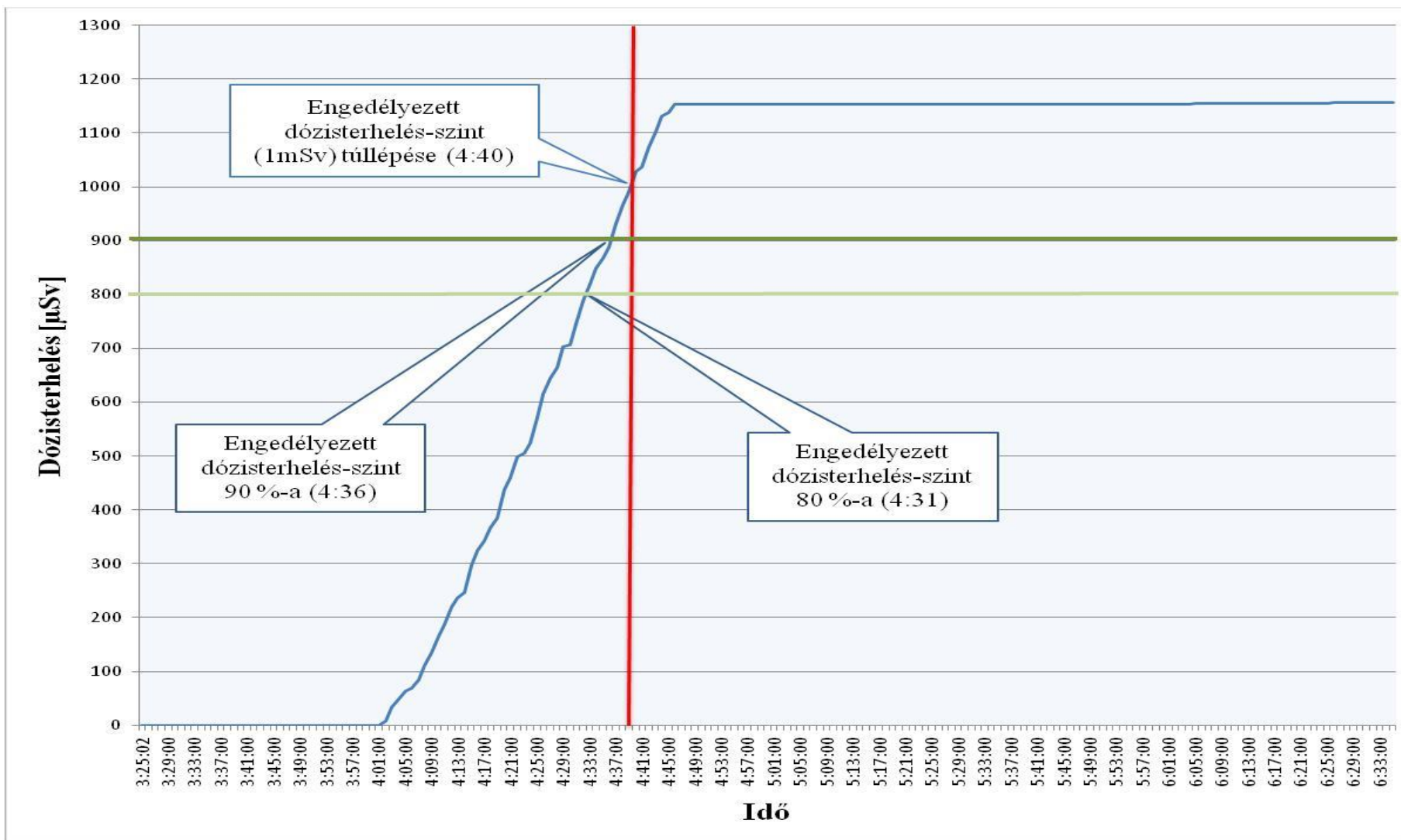
A munkavállalók az összes érzékelő eltávolítását követően nézték csak meg az elektronikus dózismérőjüket. Ekkor észlelték, hogy a biológiai védelemhez közelebbi műveletet végző munkavállaló dózisterhelése 1155 μSv volt. Ezt jelezte a felelős munkavezetőnek, aki kérte, hogy jelentkezzen a Dozimetriai Szolgálatnál. A külső cég munkavállalói időt kértek az A005/4 helyiségben rendezetlenül maradt kábelek és érzékelők összecsomagolására, amelynek elmulasztása a következő műveletek (tisztítás és vizuális vizsgálathoz való előkészületek) biztonságos előkészítését és végrehajtását akadályozta volna és az érzékelők állapotának megőrzése is indokolta. A kérést a felelős munkavezető elfogadta, és azzal a feltétellel hosszabbította meg a munkavégzés idejét egy órával, hogy az érintett munkavállaló csak az A005/4. helyiségen kívül végezhet munkát. Egy óra elteltével a felelős munkavezető ismét kérte, hogy fejezzék be a munkát és jelentkezzenek a Dozimetriai Szolgálatnál. A munkavállaló további fél órát kért a tevékenység teljes befejezéséhez, amit a felelős munkavezető ismét elfogadott. Ez magyarázza az érzékelők eltávolításának befejezése (4:47) és a Dozimetriai Szolgálatnál történt jelentkezés (6:30) között eltelt időt. Ezen időszak alatt a munkavállaló dózisterhelése 1 μSv -tel növekedett.

Az MSSZ 13.3.9.3. pontjában rögzített előírások szerint a felelős munkavezető felelős azért, hogy ő és a munkát végzők betartsák az MSSZ és a dozimetriai engedélyben megszabott egyéb előírásokat, továbbá felelős az elektronikus doziméter vészszint jelzése esetén a munka befejezéséért is.

Bár a helyszínen tartózkodva a felelős munkavezető is hallotta a dózismérők hangjelzését, de nem szakította meg a munkát, nem kérte a munkaterület elhagyását és a helyszín dozimetriai felmérését.

A kábelek, érzékelők és egyéb eszközök összegyűjtése után a felelős munkavezető munkaközi szünetet rendelt el, és a dozimetriai engedélyen szereplő munkavállalók elhagyták a munkaterületet és jelentkeztek a Dozimetriai Szolgálatnál.

A dozimetriai vezénnyelőkben kiolvasták a dózismérő által rögzített alapadatokat és kikérdezték a munkavállalót. A munkavégzés során viselt elektronikus dózismérő által detektált maximális dózisteljesítmény 4,88 mSv/h volt. Az eseményt követően a Dozimetriai Szolgálat a munkavégzés helyszínén ellenőrző méréseket végzett. A helyszíni ellenőrzés során az érintett munkavállaló tartózkodási helyén mért maximális dózisteljesítmény 5 mSv/h volt. Ez a két érték jó egyezést mutat. A jegyzőkönyvben rögzített maximális dózisteljesítmény a biológiai védelemnél volt mérhető, 15 mSv/h. A helyiségben korábban végzett mérések a helyiségre vonatkozó mérési munkaprogram alapján történtek, amely a felületi szennyezettségen kívül a közlekedési útvonalon mérhető általános dózisteljesítmény értéket is rögzítette. A reaktortartály anyagvizsgálatára vonatkozóan, annak előkészítéséhez külön mérések nem készültek.



2.4. ábra: A munkavállaló dózisterhelése az idő függvényében (forrás: PAE kivizsgálási jelentés)

Mind az érzékelők felhelyezése, mind azok eltávolítása 1 mSv-es dozimetriai engedélyes munka. Az eseményt megelőzően ezeket a műveleteket a többi blokkon is elvégezték már. A végrehajtásban résztvevők dózisterhelését vizsgálva (2.15. táblázat) megállapítható, hogy a munkavállalók dózisterhelése a vizsgált eseménnyel együtt három esetben haladta meg az engedélyezett dózis 70 %-át.

Időpont	Dózisterhelés [μ Sv]		Doz. engedély száma	Megnevezés
	1. munkavállaló	2. munkavállaló		
2007.04.19.	397	716	1614	Előkészület reaktor akusztikus emissziós vizsgálatra (A501/1-1)
2007.05.05.	306	575	1733	Reaktortartály akusztikus emissziós monitorozása (A005/1-1)
2007.05.07.	397	203	1733	Reaktortartály akusztikus emissziós monitorozása (A005/1-1)
2008.08.05.	394	0	101681	Reaktortartály akusztikus emissziós monitorozása (A005/2-2)
2008.08.13.	337	301	101681	Reaktortartály akusztikus emissziós monitorozása (A005/2-2)
2009.10.14.	217	633	104458	Előkészület reaktor akusztikus emissziós vizsgálatra (A005/3-3)
2009.10.22.	318	313	104485	Akusztikus vizsgálat után érzékelők leszerelése (A004/3-3)
2010.06.15.	398	707	105667	Előkészület reaktor akusztikus emissziós vizsgálatra (A004/4-4)
2010.06.21.	1156	434	105831	Reaktortartály akusztikus emissziós monitorozása (A004/4-4)

2.15. táblázat: A korábban elvégzett vizsgálatoknál kapott dózisterhelés

Fenti adatok alapján nem volt indokolt a magasabb dózisterhelés engedélyezése, de a dózisteljesítmény riasztási szintet a munkavégzés helyszínére jellemző dózisteljesítmény értékeihez kellett volna igazítani. A hangjelzések észlelésekor dozimetriai felmérést kellett volna kérni, aminek alapján meghatározható lett volna a tartózkodási idő a munkaterületen. Az elvégzett ellenőrző mérések alapján megállapítható, hogy az elektronikus dózismérő a referenciaértékkel a megengedett hibahatáron belül megegyezett, a hangjelzések megfelelően működtek.

Az elektronikus dózismérő és a helyszíni ellenőrzés során mért maximális dózisteljesítmény között jelentős eltérés nem volt. Az elektronikus dózismérő 4,88 mSv/h maximális dózisteljesítményt detektált, a helyszíni mérés a munkavégzés helyén 5 mSv/h dózisteljesítményt határozott meg.

A dózismérő a munkavégzés során rendszeresen, mintegy 40 perces időtartamban riasztási szintjelzést adott az 1 mSv/h-ás dózisteljesítmény riasztási szint túllépése miatt. A munkavállalók elmondása alapján nem volt szokatlan számukra ez a jelzés, mert a korábbi munkák során is előfordult. A rendszeresen fellépő jelzések és ezek figyelmen kívül hagyása idézte elő, hogy a 80 %-os, illetve a 90 %-os dózisterhelési szint meghaladását jelző hangjelzést nem ismerték fel és így figyelmen kívül hagyták.

Az MSSZ 11.1.6. pontja értelmében a telepített sugárvédelmi mérőeszközök és/vagy az elektronikus doziméter dózis-riasztási-szint-túllépés jelzése esetén a munkát félbe kell szakítani, és az általános biztonságtechnikai előírások betartása mellett (függő terhek leengedése, működő mechanikus berendezések kikapcsolása, csapok elzárása stb.) a területet el kell hagyni. Az eseményről jelentést kell tenni a Dozimetriai Szolgálatnak. Ez esetben a Dozimetriai Szolgálat helyszíni mérések alapján módosíthatta volna a dózisteljesítmény riasztási szintet, amely így valós veszélyhelyzetben jelzett volna és egyértelművé tette volna, hogy mikor kell elhagyni a munkaterületet. Ugyanígy a helyszíni mérés megalapozta volna a munkavégzés időbeni korlátozását és a tevékenység megosztását.

A tevékenység végrehajtása „a Paksi Atomerőmű Zrt. IV. blokki fővízköri nyomáspróbája során végzendő akusztikus emissziós vizsgálat mérési programja” című dokumentáció alapján történik, amely azonban nem tartalmaz olyan előírásokat, amely a mérések közötti időben bekövetkezett dózistér változásait figyelembe veszi és jelentős dózisteljesítmény növekedés esetén korlátozó intézkedéseket határoz meg.

Korábban előfordult hasonló események

A korábban előforduló események közül azokat gyűjtötték ki, amelyeknél a munkavállalók hallották az elektronikus dózismérő hangjelzését, de nem hagyták el a munkaterületet, hanem befejeztek egy műveletet, illetve nem ismerték a helyszínre jellemző dózisteljesítmény értékeket, aminek következtében nem volt megfelelő a munka előzetes tervezése.

Napi ellenőrzési szintet meghaladó dózisterhelés SZBV hajtás dekontaminálása során

2003. 06. 04-én az A501/I helyiségben, később pedig az A501/II helyiségben az SZBV hajtások dekontaminálását végző munkavállaló a napi ellenőrzési szintet meghaladó dózisterhelést

kapott. Az I-es kiépítésen végzett dekontaminálás közben a munkavállaló már hallotta az elektronikus dózismérő hangjelzését, amely az első riasztási szint (megengedett dózisterhelés 70 %-a, azaz 0,14 mSv) meghaladását jelezte. Az első riasztási szint jelzését követően fel kell készülni a munkaterület elhagyására, tehát semmiképpen sem szabad megkezdeni egy hasonló időtartamú és hasonló sugárzási viszonyok között végzett munkát. Ennek következtében a munkavállaló dózisterhelése kismértékben meghaladta a napi ellenőrzési szintet. A dózistúllépés tényét észlelve 00:22-kor jelentkezett a Dozimetriai Szolgálatnál. A munkavállaló dózisterhelése 0,208 mSv volt, amely meghaladta a napi ellenőrzési szintet, a 0,2 mSv-et. A maximális dózisteljesítmény, amelyben a munkavállaló munkát végzett 388 μ Sv/h volt az elektronikus doziméter jelzése szerint. A munkavállaló soron kívüli MSSZ vizsgát tett, ezt követően kapta vissza belépési jogosultságát az ellenőrzött zónába.

Engedélyezett dózis túllépése az A339/1. helyiségben végzett állványépítés során, a helyiség késve megkezdett elhagyása miatt

2003. 07. 12-én az alvállalkozó munkavállalója az A339/1. helyiségben, amely az 1. víztisztító hőcserélőinek helyisége, állványépítést végzett. A dozimetriai engedélyen 1 mSv dózist engedélyeztek a munkára. A munkavállaló a megengedett dózis 90%-ának meghaladásakor megkezdte a helyiség elhagyását. A szűk hely, illetve a lassú haladási lehetőség miatt nem sikerült időben elhagyni a helyiséget, aminek következtében a megengedett értéket meghaladó 1,123 mSv dózisterhelést kapott. A munkavállalónak abban az esetben, amikor a szünet után megkezdte a munkát, kb. 0,6 mSv dózisterheléssel, fokozottabban kellett volna figyelnie az elektronikus dózismérő hangjelzésére, illetve a kijelzőn mutatott értékre, hiszen már nagyon közel volt az első figyelmeztető szinthez. A második figyelmeztető szintet jelző hangjelzés észlelését és a munkaterület elhagyását követően a munkavállaló jelentkezett a Dozimetriai Szolgálatnál, ahol felvették a dózistúllépésről szóló jegyzőkönyvet, melyben a munkavállaló elismerte, hogy észlelte az elektronikus dózismérő hangjelzését. A dozimetriai engedélyes munkák koordinálók oktatásban részesültek a szűk, nehezen megközelíthető helyekre vonatkozó dozimetriai engedélyezés során a munkavállalók dózisterhelésébe beszámítandó inproduktív dózishányad figyelembe vételéről és az eset tanulságaiból.

Külsős munkavállaló napi ellenőrzési szintet meghaladó dózisterhelése gőzfejlesztő örvényáramos vizsgálatának előkészületi munkái során

2003. 07.18.-án, az 1-es blokk főjavítása során, az A501/I. helyiségben az 5-ös gőzfejlesztő örvényáramos vizsgálatához előkészületi munkát végzett az alvállalkozó két munkavállalója.

Munkavégzés közben a doziméter figyelmeztető jelzését hallották, a két érintett munkavállaló még elpakolta az erősen szennyezett szerszámokat, eszközöket, majd elhagyta a munkaterületet. Ezeket az intézkedéseket azonban csak az elektronikus dózismérők második (90%) hangjelzésének észlelésekor tették meg. Ha ezt korábban, még az első figyelmeztető szint (megengedett érték 70 %-a) észlelésekor megteszik, akkor elkerülhették volna az engedélyezett dózisszint túllépését. A kb. 10 percig tartó munkavégzést követően az elektronikus dózismérőn az engedélyezett napi ellenőrzési szintet meghaladó érték volt leolvasható. Az egyik munkavállaló 0,212 mSv, a másik munkavállaló 0,201 mSv dózisterhelést szenvedett el. A munkavállalók az MSSZ előírásaiból soron kívüli oktatásban részesültek. A kivizsgálás során megállapításra került, hogy külföldi munkavállalóknak kíséretet biztosító munkavállaló nem biztosított megfelelő felügyeletet a munkavégzés során, így soron kívüli oktatásban részesült.

Külsős munkavállaló napi engedélyezett dózisszintet meghaladó dózisterhelése radioaktív hulladék tömörítése során

2003. 09.13-án az A117/3. helyiségben présgéppel tömörítettek. Az alvállalkozó egy munkavállalójának dózisterhelése a munka során az engedélyezett 0,2 mSv napi ellenőrzési dózisszintet túllépte, a kapott dózisterhelés 0,224 mSv volt. A tömörítés megkezdését követően körülbelül 15 perc elteltével észlelte a munkavállaló az elektronikus dózismérő hangjelzését, amely az engedélyezett dózis 70 %-ának elérését jelezte. Ekkor a munkavállaló ellenőrizte a dózismérőjét, amely a jelzésnek megfelelően 0,14 mSv-et mutatott. A munkavállaló úgy vélte, hogy a megkezdett préselet még befejezi és a dózismérő hangjelzésének észlelését követően folytatta is a munkát, annak ellenére, hogy az első figyelmeztető jelzést követően a szükséges biztonsági intézkedések megtétele után, az előírások szerint el kellett volna hagynia a munkaterületet. A munkavállaló soron kívüli MSSZ vizsgát tett és a vele azonos tevékenységet végző munkavállalók soron kívüli oktatásban részesültek, amelynek során felhívták a figyelmüket a radioaktív hulladékok préseleése közben az elektronikus operatív dózismérők hangjelzésének és kijelzőjének fokozottabb figyelésére és a figyelmeztető jelzés észlelése esetén a munkaterület elhagyásának fontosságára.

Engedélyezett szintet meghaladó dózisterhelés a reaktorakna labirint és külső felület tisztítása során

2004. április 16-án az 1. blokki reaktor-akna felületi tisztítását végezték az N2 aknánál telepített védőhengerben állandó KISUM munkaprogram alapján. A munkát követően a nagynyomású mosatógép villamos csatlakozásának elbontásakor, a kábelek burkolatának levétele közben, a munkát végző munkavállalók elektronikus dózismérője hangjelzést adott. A helyszín elhagyását követően megállapítható volt, hogy az egyik munkavállaló dózisterhelése meghaladta a munkára engedélyezett 1 mSv-et, a munkavállaló dózisterhelése 2,323 mSv volt. A munkát irányító koordináló művezető nem győződött meg arról, hogy a munkaterületen minden feltétel biztosított a munkavégzéshez, így a munkavállalók a tervezettnél magasabb dózisteljesítményű térben végeztek munkát. A magas dózistér kialakulásának oka az volt, hogy a KISUM-ban meghatározottakkal ellentétben az akna leengedése nem történt meg. A munkát irányító munkavállalók, koordinálók az eset tanulságaiból oktatásban részesültek.

Napi ellenőrzési szintet meghaladó dózisterhelés FKSZ csapágy rezgésmérése közben

2004. augusztus 05-én 10:30-kor az A301/1. helyiségben az alvállalkozó egy munkavállalójánál az FKSZ-ek diagnosztikai méréseinek ellenőrzésekor a napi ellenőrzési szint túllépését jelezte a rendszer. A munkavállaló dózisterhelése 0,202 mSv volt, ami 0,002 mSv-tel meghaladta a napi engedélyezett dózisterhelés értéket. Az operatív dózismérő lekérdezése alapján a maximális dózisteljesítmény, amelyben a munkavállaló a munkát végezte 195 μ Sv/h volt. Az előkészítés során az elvégzendő munkára új KISUM munkaprogramot kellett volna készíteni, mert a végrehajtott tevékenység nem felelt meg a korábban elkészített KISUM-nak, attól több ponton is eltért. A koordináló nem biztosított megfelelő felügyeletet a külső vállalkozó ellenőrzött zónában végzett munkája során. A külső vállalkozó munkavállalója figyelmen kívül hagyta az elektronikus operatív dózismérő hangjelzését. Az érintett munkavállaló soron kívüli oktatásban részesült és soron kívüli MSSZ-vizsgát tett. A munka koordinálója soron kívüli oktatásban részesült az esemény tanulságaiból és a KISUM-os munkavégzés szabályaiból.

A megengedett dózisterhelés kismértékű túllépése szigetelési munka során

2009. 10. 22-én a 3-as blokk főjavítását végezték. A 164 bar-os nyomáspróbát követően egy külső vállalkozó két munkavállalója az A201/3 helyiségben a 4-es huroknál lévő kisnyomású ZÜHR-hez tartozó vezetékek szigetelési munkálatait végezte. Az egyik munkavállalónál az elektronikus dózismérő figyelmeztető jelzést adott. A munkavállaló a munkavédelmi előírások betartásával elhagyta a munkaterületet. A zsilipben ellenőrizte az elektronikus dózismérőjét és

észlelte, hogy dózistűllépése volt. Ezt követően jelentkezett a dozimetriai szolgálatnál. Mindkét munkavállaló 1 mSv-es dozimetriai engedéllyel végezte a munkát. A dózistűllépést elszenvedő munkavállaló dózismérője 1,073 mSv dózisterhelés értéket mutatott. Az elvégzett ellenőrzések az elektronikus dózismérő helyes működését támasztották alá. Az érintett munkavállaló soron kívüli MSSZ vizsgát tett.

Következtetések

A fentiek alapján az 1584. számú eseményt ismétlődőnek kell tekinteni. Megállapítható, hogy:

1. az alvállalkozó munkavállalója nem tartotta be az MSSZ előírásait, amikor figyelmen kívül hagyta a dózismérő hangjelzéseit
2. a munkaprogram nem tartalmazta kellő részletességgel a sugárvédelmi intézkedéseket;
3. a felelős munkavezető az elektronikus dózismérő folyamatos riasztási szint jelzése ellenére sem állította le a munkát;
4. a felelős munkavezető a dózistűllépés észlelése után engedélyezte a munkaterületen való további tartózkodást és munkavégzést.

Az esemény hatására a munkavállaló sugárterhelése meghaladta az engedélyezett szintet. Az eseménynek a biztonságra gyakorolt egyéb hatása nem volt. A dóziskorlátok betartása nem forgott veszélyben.

Az eseménykivizsgálási jelentés megállapította, hogy a hasonló események elkerülése érdekében az alábbi feladatokat kell elvégezni:

1. a mérési programot ki kell egészíteni sugárvédelmi előírásokkal;
2. az érintett munkavállalónak és a felelős munkavezetőnek soron kívüli MSSZ vizsgát kell tennie;
3. az üzemviteli és karbantartó személyzet időszakos szinten tartó oktatásain és a sugárvédelmi megbízottak őszi továbbképzésén ismertetni kell az elektronikus dózismérők riasztási szintjelzéseinek típusait és a jelzések észlelésekor teendő intézkedéseket.

2.6.2 Az 1584. számú esemény számszerű kiértékelése a pontrendszer alapján

A továbbiakban a fent ismertetett pontozási rendszerrel kiértékeljük az 1584. számú eseményt. Egyenként megvizsgáljuk a tényezőket, hogy az adott esemény kapcsán relevánsak-e, és az egyes tényezők mellé pontszámot rendelünk. A szövegben jelölöm, hogy az egyes tényezőkhöz milyen információt társítok.

Ssz	Megnevezés	Releváns információ a kivizsgálásból	A tényező táblázatának a felhasznált sora	Pont	Indoklás	Megjegyzés
1	Radioaktív kibocsátás/szennyezés	-	2.1. számú táblázat 1. sor	0	Radioaktív anyag kibocsátása nem történt.	
2	A személyzet dózisterhelése	A jelentés 10. fejezete	2.2. számú táblázat 3. sor	4	Két személy kapott nagyobb dózist, mint amire az engedélyük szólt.	Természetesen a kapott dózis egészségre nem ártalmas (alig 155 μ Sv-tel volt nagyobb az engedélyezettnél). A rendszeres orvosi vizsgálat (pajzsmirigy és egésztest számlálás) mindenki esetében megtörténik.
3	Védelmi működés	-	2.3. számú táblázat 1. sor	0	Nem történt védelmi működés.	
4	Az érintett rendszerek, rendszerelemek ABOS osztálya	-	2.4. számú táblázat 1. sor	0	Bár a reaktortartály emissziós vizsgálatának egy lépését végezték a munkavállalók, belátható, hogy az esemény a tartályt, annak funkcióját nem érintette.	
5	A zónaolvadási gyakoriság	-	2.5. számú táblázat 1. sor	0	Miután nem volt technológia, amely érintett lett volna az eseményben, nincs	

					értelme a zónaolvadási gyakoriságot emlegetni, mivel az nem változott.	
6	MŰSZ betartása	-	2.6. számú táblázat 1. sor	0	A MŰSZ jelen esetben nem érintett, egy technológiai utasítás alapján dolgoztak, ez nem – szűken értelemben vett – üzemeltetési kérdés, a MŰSZ nem vonatkozik erre a műveletre.	
7	Közös okú, modusú hiba	-	2.7. számú táblázat 1. sor	0	Nem történt meghibásodás.	
8	Ismétlődő események	A jelentés 9. fejezete	2.8. számú táblázat 1. sor	3	Az esemény ismétlődő jellegű.	
9	Biztonsági funkció degradációja	-	2.9. számú táblázat 1. sor	0	Nem degradálódott biztonsági funkció.	
10	Adminisztratív okból bekövetkező hiba	A jelentés 11.2. fejezete	2.10. számú táblázat 2. sor	1	Az egyik ok adminisztratív jellegű (az utasítás nem volt minden részletre kiterjedő).	
11	Tervezési okokból bekövetkező hiba	-	2.11. számú táblázat 1. sor	0	Nem tért fel a kivizsgálás tervezési hiányosságát.	

12	Kiinduló/kezdeti esemény	-	2.12. számú táblázat 1. sor	1	Nem volt kiinduló esemény, csak potenciális.	
13	A személyzet tevékenysége	A jelentés 11.1, 11.3. és 11.4. fejezete	2.13/a. számú táblázat 1. sor	15	Az esemény kiváltó oka és hozzájáruló oka is emberi hiba volt, valamint az ismétlődő jellegnek is van emberi hiba vonzata.	
13/ 1	A személyzet tevékenysége	A jelentés 11.1. és 11.4. fejezete	2.13/b. számú táblázat 4 sor	7	Az MSSZ-t nem tartották be a munkavállalók, ami súlyos vétség. A hibák a szabályozás megsértése, és feltehetően ismereti hiányosság miatt következtek be.	
14	Az esemény alapvető oka	A jelentés 11.2. fejezete	2.14. számú táblázat 1. sor	0	Az esemény alapvető okát meghatározták, bár az eredményen lehet vitatkozni.	
Az esemény biztonsági súlyát jellemző pontérték:				∑ 31		

2.16. táblázat: Az 1584. számú esemény számszerű értékelése a pontrendszer alapján

Az esemény összpontszáma, ahogy az kiolvasható a 2.16. számú táblázatból, éppen meghaladta a kiemelkedően fontos eseményekre vonatkozóhatárértéket ($\Sigma 30$), amely miatt külön hatósági figyelmet érdemelt. Mindemellett látható, hogy a fegyelmezetlenség ellenére a biztonsági jelentősége csekély.

2.6.3 Az 1162. számú esemény (nagynyomású szivattyú MÜSZ-ben meghatározott időszakot meghaladó üzemképtelensége)²⁸

Az esemény rövid összefoglalása

2003.10.26-án 22:35-kor a 3-as blokkon karbantartási munkák előkészítéseként kiszakaszolták a 30TR27D001 szivattyút. A tervek szerint CR szekrény és kábel revíziót, valamint motor főjavítást végeztek a rendszeren. A revízió másnap megtörtént, de a motor főjavítás nem fejeződött be az előírt egy hónapon belül, mivel egy cserélendő tengelykapcsoló-csavar legyártása még folyamatban volt. 2003.11.23-án MUT érkezett a 3-as blokkvezénylőbe a 30TR27D002 motor főjavításra. A ROP a műveleti kartonok ellenőrzése során észlelte, hogy a korábban kiadott 30TR27D001 motor főjavítás MUT még nincs lezárva, ezért a 30TR27D002 motorra szóló MUT-ot nem készítették elő. A problémát beírták a blokk napi esemény jelentésébe is. 2003.11.26-án lejárt a javításra engedélyezett egy hónap, de a munka nem készült el. Ezt az eseményt (MÜSZ sértést) az előzmények alapján az éjszakás BLÜGY 2003.11.27-én észlelte és naplózta. 17 óra késéssel azonban a hiányzó alkatrészt beépítették.

Korábban előfordult hasonló események

2001.02.13-án az OAH képviselői ellenőrzést tartottak az 1-es és 2-es kiépítés közös-üzemi vezénylőiben a 30TS20 és 30TS30 hidrogénégetőkben lévő oxigén koncentráció mérések üzemképtelensége kapcsán. Az ellenőrzés során jegyzőkönyvezésre került, hogy a 10TS30 ág katalizátora a hidrogén elégetését nem biztosítja, az engedélyes tartalék katalizátor anyaggal nem rendelkezik. Az eset értékelése kapcsán felmerült, hogy a hidrogénégető üzemképességére vonatkozó MÜSZ pont egy egység üzemképtelensége esetére előírja, hogy a javítást két héten belül el kell végezni. A korábbi történések elemzése alapján megállapítható volt, hogy a 10TS30 hidrogénégető az 1999.07.22-én megtartott szerkezeti vizsgálatot követően csökkent üzemképességű volt, mivel a berendezésben lévő katalizátor mennyisége kevesebb volt a szükségesnél.

Az esemény kivizsgálása során hozzájáruló okként lett megállapítva, hogy: „Az üzemeltető szervezetekben nem tudatosult, hogy a 10TS32N001 csökkent üzemképessége miatt a MÜSZ korlátozó feltételének hatálya alatt van a blokk.”

²⁸ Az esemény leírása ugyan nem idézet, de szöveghű leírása a Paksi Atomerőmű 1162. naplószerű eseménykivizsgálási jelentésének, ezért a függelékbe az eredeti jelentést nem csatoltam.

Jelen kivizsgálásban tárgyalt eseménnyel e hozzájáruló ok tekintetében mutat hasonlóságot a B10103 számú esemény, amelynek kivizsgálása során, erre az okra vonatkozóan, korrekciós intézkedés nem került meghatározásra.

Következtetések

A bóros szabályozás rendszereinek üzemképességére vonatkozó korlátozásokat a MÜSZ 5.3.2.3.1. melléklete részletezi. A többszörözött alrendszerek, technológiai ágak egymás tartalékai, így általában egy üzemképtelensége esetén a hiba kijavítása elhalasztható. A 30TR27D001, D002 nagynyomású bórkoncentrátum-szivattyúk normál üzemben a hidroakkumulátorok utántöltésére szolgálnak, az ÁOKU szerinti üzemzavarok kezelésében is csak akkor kaphatnak szerepet, ha az üzemzavari elhárítási rendszerek jelentős mértékben károsodtak, üzemképtelenek. A MÜSZ hivatkozott pontja szerint egy hibás berendezés egy hónapig javítható, míg egyszerre két berendezés meghibásodását egy héten belül el kell hárítani. Jelen esetben a 30TR27D001 üzemképtelen, de a 30TR27D002 üzemképes volt. A 30TR27D001 üzemképtelensége rövid idővel (kb. 17 órával) meghaladta a MÜSZ-ben előírt egy hónapot, így a szabályzatban megengedett feltételektől eltérő üzemeltetési állapot jött létre. Ez úgy jöhetett létre, hogy több eljárásrend előírásait nem tartotta be az üzemviteli és karbantartó személyzet, ami a biztonsági kultúra hiányosságát jelzi.

Megállapítható, hogy

1. a 30TR27D001 szivattyú karbantartásához szükséges tartalék alkatrész hiányzott;
2. a 30TR27D001-2 HOP tervezés során nem teljesültek az eljárásrend egyes követelményei;
3. a 30TR27D001 elhúzódó javításával kapcsolatos információk nem hangzottak el a reggeli operatív értekezleten;
4. a MÜSZ hatálya alatti üzemelést az üzemviteli operatív személyzet hosszú időn keresztül nem ismerte fel, illetve nem deklaráta;
5. a kezelési utasítás információs bank „korlátozások” fejezetében az egy berendezés üzemképtelenségére vonatkozó MÜSZ korlátozás nem jelent meg.
6. a MÜSZ hatálya alá kerülést BIG értékelő rendszere nem észlelte;
7. a KAIG egyes munkaköreinél a képzettségi követelmény és képzési terv nem volt összhangban az eljárásrendben előírtakkal, mert az érvényes eljárásrend és feladata ellenére az érintett személyzet képzéséről nem gondoskodtak;
8. az üzemelő blokkokon biztonsági berendezésekre betervezett és lejárt határidejű munkák kiemelt figyelemmel kísérése a MIR-ben nem volt megoldott;

9. a MÜSZ 5.3.2.3.1 melléklete egyes korlátozások túllépésének esetére nem tartalmazott végrehajtandó intézkedést.

2.6.4 Az 1162. számú esemény értékelése

Egyenként megvizsgáljuk a tényezőket, hogy az adott esemény kapcsán relevánsak-e, és az egyes tényezők mellé pontszámot rendelünk, A szövegben jelölöm, hogy az egyes tényezőkhez milyen információt társítok.

Ssz	Megnevezés	Releváns információ a kivizsgálásból	A tényező táblázatának a felhasznált sora	Pontszám	Indoklás
1	Radioaktív kibocsátás/szennyezés	-	2.1. számú táblázat 1. sor	0	Radioaktív anyag kibocsátása nem történt.
2	A személyzet dózisterhelése	-	2.2. számú táblázat 1. sor	0	Nem történt a tervezettől eltérő dózisterhelés.
3	Védelmi működés	-	2.3. számú táblázat 1. sor	0	Nem történt védelmi működés.
4	Az érintett rendszerek, rendszerelemek ABOS osztálya	-	2.4. számú táblázat 1. sor	1	A szivattyú (TR27D001) a 3. biztonsági osztályba tartozik.
5	A zónaolvadási gyakoriság	-	2.5. számú táblázat 1. sor	0	A szivattyúnak nincs közvetlen szerepe a zónaolvadást előidéző folyamatok megakadályozásában, ezért nem változik az alapeset.
6	MÜSZ betartása	A jelentés 5. és 10. fejezete	2.6. számú táblázat 1. sor	12	A MÜSZ-t nem tartották be. Bár a kivizsgálás nem mondja ki egyértelműen, de valószínűsíthető, hogy a személyzet némelyik tagja tudatában volt a MÜSZ-sértésnek.
7	Közös okú, modusú hiba	-	2.7. számú táblázat 1. sor	0	Nem volt jellemző a redundáns szivattyúkra a közös okú hiba.
8	Ismétlődő események	A jelentés 9. fejezete	2.8. számú táblázat 1. sor	3	Az esemény ismétlődő jellegű.

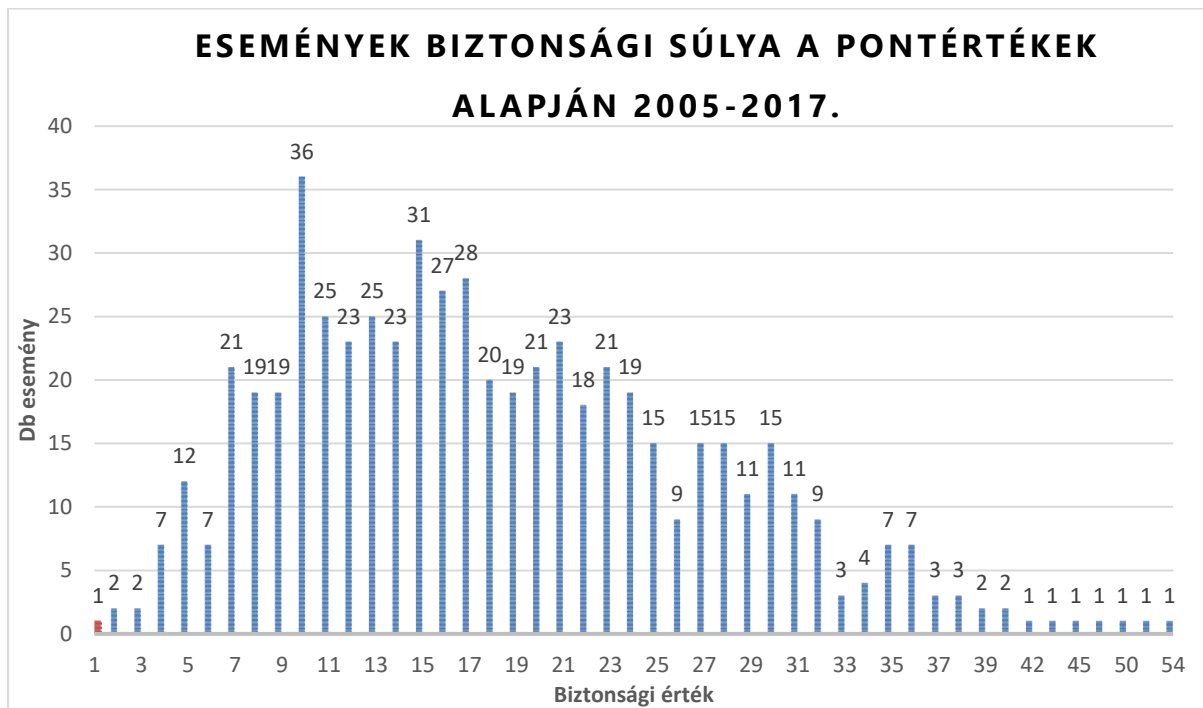
9	Biztonsági funkció degradációja	-	2.9. számú táblázat 1. sor	0	Nem degradálódott biztonsági funkció.
10	Adminisztratív okból bekövetkező hiba	A jelentés 11.6 fejezete	2.10. számú táblázat 2. sor	1	Az egyik ok adminisztratív jellegű (az utasítás nem volt minden részletre kiterjedő).
11	Tervezési okokból bekövetkező hiba	-	2.11. számú táblázat 1. sor	0	Nem tért fel a kivizsgálás tervezési hiányosságát.
12	Kiinduló/kezdeti esemény	-	2.12. számú táblázat 1. sor	1	Nem volt kiinduló esemény, csak potenciális.
13	A személyzet tevékenysége	A jelentés 11.3, 11.5, 11.6, 11.7 és 11.2, 11.4, valamint a 9. fejezete	2.13/a számú táblázat 2, 4, és 9. sor	17	Az esemény alapvető oka és hozzájáruló oka is emberi hiba volt, valamint az ismétlődő jellegnek is van emberi hiba vonzata.
13	A személyzet tevékenysége	A jelentés 10. fejezete	2.13/b számú táblázat 3, 4. és 5. sor	9	Itt majdnem az összes hibatípus szóba kerül, a tudáshiány, a szabályozás megsértése és az emlékezetkihagyás is. nem tartották be a munkavállalók, ami súlyos vétség.
14	Az esemény alapvető oka	A jelentés 11.2, 11.4, fejezete	2.14. számú táblázat 1. sor	0	Az esemény alapvető okát meghatározták.
Az esemény biztonsági súlyát jellemző pontérték:				Σ 44	

2.17. táblázat: Az 1162. számú esemény értékelése

Az esemény összpontszáma, ahogy az kiolvasható a 2.17. számú táblázatból, meghaladta az önkényesen kijelölt határértéket ($\Sigma 30$), amely miatt külön hatósági figyelmet érdemelt. Mindemellett látható, hogy a fegyelmezetlenség ellenére a biztonsági jelentősége csekély.

A két esemény értékelését összehasonlítva látható, hogy – bár mindkettőnél dominánsak voltak az emberi hibák – nem véletlenül került a második esemény az INES 1 kategóriába [7,8,9], hiszen a biztonsági súlya nagyobb, mint az elsőnek. Itt ugyanis érintve volt a MÜSZ [63,100], valamint egy biztonsági osztályba sorolt technológiai berendezés.

2.6.5 Az események értékelésének eredményei



2.5. ábra: Események biztonsági súlya a pontértékek alapján 2005-2017. [74÷79]

(forrás: saját ábra)

A módszer gyakorlati alkalmazása 2005-től kezdődött meg a hatóságnál. A 2.5 ábrán a 2005-2017. között feldolgozott, az általam kidolgozott módszerrel értékelt események biztonsági súlya van feltüntetve. Az értékelés során – sok évi tapasztalatra támaszkodva – a 30-as értéket szabtuk meg, mint a kiemelt biztonsági jelentőségű események határértékét. [100] Ezekkel kiemelten foglalkoztunk a biztonsági relevanciája miatt. Ez azt jelenti, hogy a kivizsgálás során

részletesebb hatósági ellenőrzésnek voltak alávetve az esemény kialakulásának körülményei, és az üzemviteli személyzet tevékenysége.

Az események biztonsági súlyának hisztogramja, amint az ábrán látható, haranggörbe alakú, de kissé aszimmetrikus. Ennek az az oka, hogy a hatósági adatbázisba kerülő eseményeknek eleve kell legyen biztonsági érintettségük, hiszen ezek fontosak a biztonság szempontjából. Ezért míg a nagyobb biztonsági súlyú események mindegyike bekerül a hatósághoz, a kis biztonsági relevanciájú események csak elvétve. Az aszimmetria azt is mutatja, hogy biztonsági szempontból a hatósági jelentésköteles események [18 1. kötet,108] körét jól sikerült meghatározni.

Meg kell jegyezni, hogy a 2003-as esemény (a tisztítótartályban degradálódott fűtőelemek – INES 3) nem szerepel a diagramban. Az utólagos értékelés alapján a pontértéke 100 fölötti. Ez is alátámasztja azt, hogy bár a módszer tapasztalati alapon készült, jól jellemzi az egyes események biztonsági hatását, súlyát.

3 AZ ESEMÉNYÉRTÉKELÉSI MÓDSZER KITERJESZTÉSE MÁS, VESZÉLYES ÜZEM BIZTONSÁGI ESEMÉNYEINEK SZÁMSZERŰSÍTÉSÉRE

3.1 Az általánosítás célja

Nemcsak a nukleáris létesítményekben és a veszélyeshulladék-tárolókban, hanem bármely veszélyes üzemben, sőt a kevésbé veszélyes gyártási folyamatban is rendkívül fontos a biztonság. A biztonság fogalmát nagyon sokféleképpen határozhatjuk meg, ha nem egy szakterület szemüvegén keresztül szemléljük. A biztonság maga a mindennapokban inkább egy érzést takar, amely minden ember ösztönében él. Nem véletlen a kifejezés: „biztonságban érzi magát”. A biztonság szó a mindennapokban általában valami emberi cselekedetekkel kapcsolatos állapotot jelez, vagy egyéb ösztönös félelmeink távolmaradását. [109,110] A biztonságnak ezzel a részével nem a műszaki szakma foglalkozik, hanem inkább pl. a bűnüldözés, vagy a szociológia. Ha valamely szakma szempontjából közelítünk, a biztonság fogalma lehet eltérő. Bár alapvetően minden alkalommal az emberi egészség, a környezet és a javaink megóvása az, amely a biztonság különböző fogalommeghatározásaiban visszaköszön. A mai civilizációban még egy további szempont is megjelenik: a „kényelem”, másképpen a civilizációs vívmányainkhoz való ragaszkodás. Olyan szempont merül fel ebben a kategóriában, mint az ellátásbiztonság (pl. energiabiztonság, vagy anyagi biztonság). Ez inkább az emberi ego-ban fészkelő biztonságfogalom. Ebből is látszik, hogy a biztonság bár sokrétű, de meghatározható az az irány, amely felé a biztonság fogalmi mutathatnak. Mivel a biztonságérzet a mindennapokban elengedhetetlen jellemzője a nyugodt életnek, elemi érdekünk, hogy a biztonságot veszélyeztető tényezőket – legyen az bármely terület – feltérképezzük, és ahol lehet és érdemes, ezeket a tényezőket megszüntessük, vagy hatásukat az ésszerű mértékig csökkentjük. A biztonságot veszélyeztető tényezők leginkább azokban az esetekben mutatkoznak meg, amikor valamilyen nem várt, nem tervezett anomália, eltérés jelentkezik az életünk valamely területén. Ezek pszichológiai hatásával nem kívánok foglalkozni jelen értekezés kereteiben. Azonban az fontos tényezője ezen anomáliáknak, hogy az anomália által érintett terület szakemberei le tudják vonni a megfelelő következtetéseket az anomália értékelése alapján, és szükség esetén biztonságnövelő intézkedéseket tudjanak foganatosítani. Figyelembe véve ezt a törekvést, segítséget nyújthat egy olyan értékelési módszer, amely ezen anomáliákat (térjünk vissza az eredeti „esemény” fogalmára, amely most már szélesebb körben értelmezendő), eseményeket értékeli és a biztonsági súlyukat számszerűsíti, és rendelkezik azon tulajdonságokkal, amelyeket az előző fejezetekben leírtam.

Jelen esetben az esemény fogalmán azt értjük, hogy az olyan eltérés, nemmegfelelőség, hiba, amely valamely káros hatásból adódóan az emberi egészséget, a környezetet veszélyezteti. Az események, eltérések értékelése alapján azok biztonságra gyakorolt hatását számszerűsítve az is eldönthető, hogy egy adott esemény kapcsán mennyire érdemes (akár anyagi értelemben is) vizsgálni, milyen mértékű reakció, biztonságnövelés szükséges. Ugyanakkor az összes területre nem lehetséges teljes értékű, közvetlenül használható értékelési eszközt előállítani, mert ahhoz minden területen lépésről-lépésre fel kell tárni a biztonságos üzemeltetéssel kapcsolatos folyamatokat, a folyamatokat jellemző paramétereiket, ezek megengedett határértékeit, és csak ennek alapján lehet meghatározni az értékelendő tényezőket és al-tényezőket, valamint ezek súlyozása után, tételiesen a pontértékeket, amelyeket összesítve jelzik az esemény biztonsági súlyát.

Ebben a fejezetben a nukleáris példából kiindulva adom meg az általánosított tényezőket, amelyek felhasználhatók bármely veszélyes anyagokkal dolgozó létesítményben bekövetkezett események biztonsági súlyozásához. Ahol nem feltétlenül van lehetőség analógiára, azt a tényezőt törölöm, illetve azt is, ahol nem lehetséges teljes harmonizáció. Egyes tényezők már említett tulajdonságait a leírásban megismétlem annak érdekében, hogy e fejezet külön is használható legyen. A fogalmakat általánosítom, de a nukleáris fogalmakból indulok ki. Az értékelési rendszer akkor használható teljes mértékben, ha közel hasonló jelentési, értékelési és biztonságot érintő további folyamatokat működtetnek (a bizonytalanságokat jelzem az egyes tényezőknél).

3.2 A biztonsági értékelés folyamata

Az értékelés folyamat megegyezik a 2. számú fejezetben leírtakkal (2.1. számú ábra). Az ott meghatározott alapelvek, használati feltételek és korlátok közel azonosak. A legfontosabb, hogy a pontosan meghatározott tényezőkhöz rendelt pontértékek meghatározása csak akkor lehetséges, ha az eseményt teljes egészében ismerjük, vizsgáltuk. Az esemény ismerete azt jelenti, hogy a kiváltó októl kezdve az esemény lefolyása és kezelésére megtett intézkedések teljes egészében ismertek, az események kapcsán kialakuló paraméterek, ezek változása a beavatkozás (esemény-kezelési cselekmények) hatására a lehető legteljesebb mértékben ismert. A folyamat addig tart, amíg visszaáll egy ismert, a rendelkezésre álló eszközökkel kezelhető, a normál ügyrendbe, illetve üzembe tartozó állapot.

Amennyiben minden szükséges információ rendelkezésre áll, akkor lehet megkezdeni az esemény biztonsági értékelését. Az értékelési módszer részleteinek kidolgozásakor érdemes a 3.2. számú ábrából kiindulni.

Az első lépésben az esemény kialakulásának körülményeit kell meghatározni (I.), a második lépésben végig kell sorjázni az esemény lefolyását és kezelését (II.), a harmadik lépésben feltérképezzük az esemény következményeit (III.), végül meghatározzuk az esemény összes olyan további ismervét, amely a biztonság szempontjából releváns (IV.).

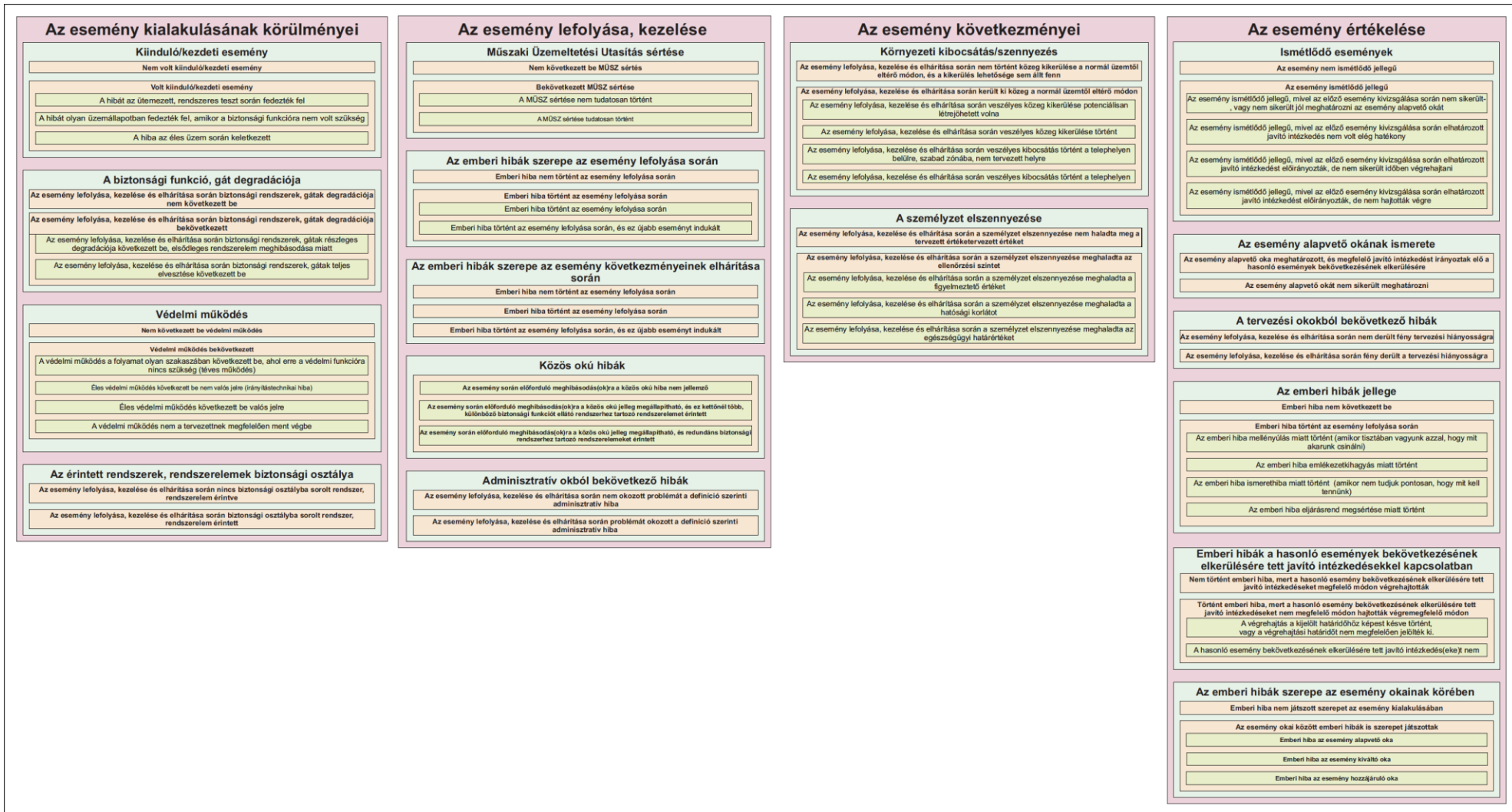
Ezek után a módszer alkalmazása hasonló a korábban leírtakhoz, hangsúlyozva, hogy a tényleges pontértékeket az adott terület részleteinek ismeretében lehet kialakítani. Ugyanazok az elvek érvényesek itt is, amelyeket a 2. számú fejezetben már említettem. Ezeket talán nem hátrányos megismételni a használat egyszerűsítése végett.

Az események értékelése az egyes eseményjellemzők mennyiségi besorolásán alapul. Az értékelés során az összes értékelési terület jellemzőit meg kell határozni, az összes tényezőt külön-külön értékelni kell, és az értékelés alapján meg kell határozni az adott eseménynél rá jellemző értéket. Ezen értékeket összeadva adódik az esemény biztonsági súlya. A tényezőket és számértékeiket olyan módon kell meghatározni, hogy az értékelés során a szubjektivitást a lehető legnagyobb mértékben kizárják. Ezért a tényezők számértékeinek meghatározásánál érdemes figyelni arra, hogy eldöntendő kérdéseket tegyünk fel és ehhez rendelhetők értékek, egyértelmű számértékekkel (határértékekkel, vagy meghatározható intervallumokkal) jellemezhető fogalmakat jelenítsünk meg. A módszert érzékennyé lehet tenni valamely jellemzőre. Például, ha a veszélyes anyag kerül ki olyan területre, ahol normál üzemben nem tervezett, az olyan probléma, hogy ezt a tényezőt magasabb pontértékkel lehet ellátni, így azoknak az eseményeknek lesz magasabb a biztonsági súlya, ahol ez a jelenség bekövetkezett. Az alábbiakban egy keretrendszert mutatok be, amely – módosítás nélkül, vagy apró változtatással – használható, és bármely esetben feltölthető konkrét tartalommal. A táblázatokban szereplő altényezők súlyossága függ a tényezőtől és az adott szakterülettől. Az egyes tényezőknél, a táblázatokban megadok számokat, ezek tájékoztató jellegűek, illetve hasonló koncepció alapján kerültek a jellemzők mellé, mint a 2.4. fejezetben.

3.3 A tényezők

Az általánosítás során minden egyes tényezőnél elmagyarázom a tényező általánosításának lehetséges módját. Adok javasolt számértékeket is, továbbá azt is jelzem, ha a tényező

alkalmazásának van valamilyen feltétele. Nem végeztem átfogó felmérést arra, hogy az egyes, környezetre, élő szervezetre káros anyagokkal dolgozó üzemek üzemeltetését hogyan szervezik, melyek a szükséges dokumentumok és milyen értékelési, tapasztalat-visszacsatolási folyamatokat működtetnek ezen intézményekben. Ezért feltételezésekkel éltem az egyes tényezők általánosítása során.



3.1. ábra: Az általánosított tényezők összefoglalása (forrás: saját ábra)

3.4 A tényezők részletezése

A meghatározott tényezőket altényezőkre, jellemzőkre kell osztani. A jellemzőkhöz számértéket kell hozzárendelni. A tényezőket két nagy csoportra oszthatjuk: az egyik minden eseményre jellemző, melyek minden esemény értékelésekor kapnak egy számértéket; a másik csak egyes események esetén jellemzi a bekövetkezett folyamatokat (pl. veszélyes anyag kikerülése nem tervezett helyre). Azok a jellemzők, amelyek nem jellemzik az adott eseményt zéró értéket vesznek fel (ezeket az egyes táblázatoknál feltüntettem). Egyes tényezőknél vannak olyan altényezők, amelyek együttesen is bekövetkezhetnek egy eseményen belül. Fontos kérdés, hogy ezen altényezők külön-külön is növelik az esemény biztonsági súlyát, vagyis mindkét számértéknek meg kell jelennie az adott tényező és így az esemény biztonsági súlyát jellemző értékben, vagy nem szükséges külön-külön figyelembe venni őket. Van ahol ezt könnyű eldönteni, van ahol nehezebb. Ez attól is függ, hogy milyen tényezőket tekintünk dominánsnak az esemény biztonsági súlyának megítélésekor, vagy mennyire húzza el az esemény biztonsági súlyának értékét egy-egy tényező, ha nagyobb értékkel szerepel az alább javasoltnál. Ezt a kérdést az értékelést végzőknek alaposan végig kell gondolni. Például a környezeti kibocsátás esetén, ha a telephelyen kívülre kerül ki káros anyag, akkor nyilvánvaló, hogy megjelent a telephelyen is, és nem tervezett helyen „szabad zónában is”. Itt az a kérdés, hogy a tényező vizsgálatokor mennyire kívánjuk hangsúlyozni ezt a káros folyamatot, az esemény biztonsági súlyának értékében, vagy minden altényezőhöz olyan számértéket határozunk meg, hogy kellő súlya legyen az eredményben.

Az általánosítás során 13 tényezőt határoztam meg.

A tényezők a következők:

1. Környezeti kibocsátás/szennyezés
2. A személyzet elszennyezése
3. Védelmi működés
4. Az érintett rendszerek, rendszerelemek biztonsági osztálya
5. Műszaki Üzemeltetési Utasítás betartása
6. Közös okú hiba
7. Ismétlődő események
8. Biztonsági funkció, gát degradációja
9. Adminisztratív okból bekövetkező hiba
10. Tervezési okokból bekövetkező hiba

11. Kiinduló/kezdeti esemény
12. A személyzet tevékenysége
13. Az esemény oka

1. Környezeti kibocsátás/szennyezés

A veszélyes anyag megjelenése nem tervezett helyen (kibocsátás) alapeleme egy üzem biztonsági szempontú megítélésének. Fontos kiemelni, hogy egy esemény nem jár feltétlenül káros környezeti kibocsátással a telephelyen kívülre. Hasonlóan az előző fejezetben leírt veszélyes kibocsátás tényezőhöz (2.4. fejezet, 1. tényező) itt is felmerül a környezeti kibocsátás tágabb értelmezése, vagyis olyan helyre kerül, vagy kerülhet veszélyes anyag, ahol normál üzemben nem számolnak vele. Tehát ennél a tényezőnél fontos, hogy nem csak azt kell vizsgálni, ha a környezetbe kerülnek ki káros anyagok, hanem azt is, ha nem tervezett helyen jelennek meg. Minden veszélyes anyaggal dolgozó folyamatban vannak gátak, amelyek a káros mértékű kibocsátást akadályozzák. Ezek lehetnek műszaki (ember által alkotott) gátak, és lehetnek természetes gátak (pl. hulladéktárolóknál a geológiai formációk). Ezen gátak sérülése fontos kérdés az adott esemény biztonsági hatása szempontjából.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.1. táblázat tartalmazza:

$$E_1 = \sum_{i=1}^5 \xi_i \cdot a_i \quad (16)$$

ahol

E_1 — az 1. tényező (környezeti kibocsátás/szennyezés) pontértéke

ξ_i — az 1. tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

a_i — az 1. tényező i -edik változatának pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (a_i)
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nem történt közeg kikerülése a normál üzemtől eltérő módon, és a kikerülés lehetősége sem állt fenn.	0
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során veszélyes közeg kikerülése potenciálisan létrejöhett volna.	2
3.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során veszélyes közeg kikerülése történt (pl. tartály-inhermetikusság egy olyan helyiségben, amit a „tartály a tartályban” elv alkalmazásával építettek).	4
4.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során veszélyes kibocsátás történt a telephelyen belülre, szabad zónába, nem tervezett helyre.	10
5.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során veszélyes kibocsátás történt a telephelyen kívülre.	20

3.1. táblázat: A környezeti kibocsátás/szennyezés tényező értékelő táblázata

A 3.1. táblázatban a veszélyes közeg potenciális kikerülése azt jelenti, hogy az eseménnyel olyan rendszer, rendszerelem volt érintve, amelyből, vagy amely közvetítésével veszélyes közeg kibocsátása létrejöhett volna. A felsorolt jellemzőket egymást kizárónak tekintjük.

2. A személyzet elszennyezése

Ez a tényező akkor használandó, ha emberi szervezetre káros anyaggal dolgoznak az üzemben. Ebben az esetben – hasonlóan az atomenergia felhasználásához – biztonsági intézkedéseket kell tenni az egészségkárosító hatás elkerülése érdekében, és a tényező ezen intézkedések, védőfelszerelések, gátak hatékonyságát mutatja. Lehet súlyozni az egyes személyek elszennyezettségének mértékével is a tényezőt. Az azonban alapvető, hogy nem tervezett elszennyeződésről beszélünk. A nem tervezett elszennyeződés – még akkor is, ha mértékében csekély – fontos indikátor lehet.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.2. táblázat tartalmazza:

$$E_2 = \sum_{i=1}^4 \eta_i \cdot b_i \cdot \xi_i \quad (17)$$

ahol

E_2 — a 2. tényező (a személyzet elszennyezése) pontértéke

ξ_i — az 2. tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

η_i — a 2. tényező i -edik jellemzőjénél az érintett személyek száma ($\eta_i = 0, 1, \dots$)

b_i — a 2. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (b_i)	Megjegyzés (η_i)
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet elszennyezése nem haladta meg a tervezett értéket.	0	$\eta_1 = 0$
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet elszennyezése meghaladta a figyelmeztető értéket.	2	η_2 azon személyek száma, akik veszélyes anyaggal kontaminálódtak, és szennyezettségi szintjük meghaladta a figyelmeztető értéket.
3.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet elszennyezése meghaladta a hatósági korlátot.	8	η_3 azon személyek száma, akik veszélyes anyaggal kontaminálódtak, és szennyezettségi szintjük meghaladta a hatósági korlátot.
4.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során a személyzet elszennyezése meghaladta az egészségügyi határértéket.	12	η_4 azon személyek száma, akik veszélyes anyaggal kontaminálódtak és szennyezettségi szintjük meghaladta az egészségügyi határértéket.

3.2. táblázat: A személyzet elszennyezése tényező értékelő táblázata

Egy-egy eseménynél lehetséges, hogy több személy különböző mértékben szennyeződik el. Ezt a végleges érték előállításánál minden esetet figyelembe kell venni.

3. Védelmi működés

Veszélyes üzemekben az épített illetve természetes gátak épségét különböző eszközökkel kell biztosítani. Ezek lehetnek integritást védő eszközök, de lehetnek valamilyen folyamatot megszakító eszközök is, például vegyszeti eljárásnál semlegesítő vegyület adagolása. Védelmi működésnek kell tekinteni ilyen módon azokat a jellemzően automatikus

működéseket, amelyek a technológia segítségével kell végrehajtani, és végső soron a káros anyag kibocsátásának, illetve a személyzet elszennyeződésének megelőzését szolgálják. A „jellemzően automatikus” kifejezést azért használtam, mert ezek a védelmi működések lehetnek valamely mért paraméter által automatikusan (emberi beavatkozás nélkül) indukáltak, de lehetnek – ha kellő idő áll rendelkezésre a beavatkozásra – az üzemeltető személyzet által indított is. A lényeg, hogy valamely bekövetkező (kezdeti) esemény miatt, vagy akár téves védelmi jel (nem valós paraméterváltozás) hatására biztonsági rendszer lép működésbe.

A biztonsági rendszer tehát olyan rendszer (esetenként rendszerelem), amely valamely normál üzemi rendszer, rendszerelem meghibásodása esetén, a normál üzemi funkciótól függetlenül is képes a káros anyag kibocsátását megakadályozni (megelőzni), vagy leállítani, korlátozni, illetve a bekövetkezett üzemzavarok vagy balesetek következményeit kezelni.

A definíció alapján nem feltétlenül lehet a tételes biztonsági osztályba sorolást elvégezni. Ehhez mindenképpen el kell készíteni egy részletesebb leírást, amely megadja a biztonsági funkciókat, az azokat megvalósító rendszereket, rendszerelemeket.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.3. táblázat tartalmazza:

$$E_3 = \sum_{i=1}^5 \xi_i \cdot c_i \quad (18)$$

ahol

E_3 — a 3. tényező (védelmi működés) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

c_i — a 3. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (c_i)
1.	Nem következett be védelmi működés.	0
2.	A védelmi működés a folyamat olyan szakaszában következett be, ahol erre a védelmi funkcióra nincs szükség (téves működés).	1
3.	Éles védelmi működés következett be nem valós jelre (irányítástechnikai hiba).	2
4.	Éles védelmi működés következett be valós jelre.	3
5.	A védelmi működés nem a tervezettnek megfelelően ment végbe.	6

3.3. táblázat: A védelmi működés tényező értékelő táblázata

Amennyiben eseménynél a 3.3. táblázatban leírtak közül többféle működés következik be, vagyis többféle biztonsági rendszer lépett üzembe, akkor a pontszámaik nyilvánvalóan összeadódnak. Ha azonban a biztonsági funkciók egyértelműen meg vannak határozva, akkor egy esemény jellemzően egy biztonsági rendszer üzemelését kívánja meg.

A 2. sorban olyan működésre utaltam, ahol nincs szükség az adott védelmi funkcióra, azonban valamilyen hatás miatt (pl. elektromágneses impulzus hatására) védelmi jel generálódik.

A 3. sorban tárgyalt nem valós jelet a mérőkör valamely elemének meghibásodása generálhatja: például az ellenállás-hőmérsékletmérés hidegpontja „elmászik”.

A 4. sor arra utal, amikor a védelmi működést valós változás indukálja.

Az 5. sorban levő altényező arra utal, hogy tervezési, kivitelezési, hiba, vagy a védelmi rendszer hibájából adódóan a védelmi működés, vagyis a beavatkozószervek sorrendisége, időbelisége, vagy hatékonysága nem megfelelő.

4. Az érintett rendszerek, rendszerelemek biztonsági osztálya

Az előző pontban már szót ejtettem a biztonsági rendszerekről, az esetleg rendelkezésre álló biztonsági osztályba sorolásról. A biztonsági rendszerek körét mindenképpen érdemes rögzíteni minden veszélyes üzemben. Biztonsági rendszernek azt tekintem, amely valamilyen módon hozzájárul a környezeti (ide értve a személyzetet és a belső, tiszta üzemi tereket is) kibocsátások megakadályozásához és/vagy csökkentéséhez, valamint a környezeti kibocsátás hatásának csökkentéséhez (ez utóbbi funkció az üzemen belüli helyzetre kell érteni, mert a telephelyen kívüli kibocsátások kezelése már nem kizárólag üzemeltetői/engedélyesi, hanem állami feladat).

Az esemény során érintett rendszert, rendszerelemet úgy kell érteni, hogy vagy egy berendezés meghibásodása váltotta ki az eseményt, vagy egy meghibásodás súlyosbította az esemény biztonsági hatását. Egy esemény kapcsán lehet több érintett biztonsági rendszer, rendszerelem azonban ennél a tényezőnél csak az a kérdés, hogy volt-e a szerepe biztonsági berendezésnek az eseményben.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.4. táblázat tartalmazza:

$$E_4 = \sum_{i=1}^2 \xi_i \cdot d_i \quad (19)$$

ahol

E_4 — a 4. tényező (érintett rendszerek biztonsági osztálya) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

d_i — a 4. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (d_i)
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nincs biztonsági osztályba sorolt rendszer, rendszerelem érintve.	0
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során biztonsági osztályba sorolt rendszer, rendszerelem érintett.	3

3.4. táblázat: Az érintett rendszerek biztonsági osztálya tényező értékelő táblázata

A 3.4. táblázat kezelése egyszerű, hiszen kétállapotú tényezőt tartalmaz. Megjegyzendő, hogyha létezik az adott üzemben biztonsági osztályba sorolás, és annak több osztálya van, hasonlóan az atomerőművekben használthoz, akkor lehet cizelláltabb a táblázat, a 2.4. fejezet 2.4. számú táblázathoz hasonlóan.

5. A Műszaki Üzemeltetési Utasítás betartása

Az ipari létesítményeknek van egy olyan műszaki dokumentuma (pl. műszaki terv), amelyből kiolvasható minden olyan műszaki feltétel paraméter, kritérium, amely betartása esetén a létesítmény megfelelően (magas szintű biztonság mellett jó termelékenység) működik. Az egyszerűség kedvéért nevezzük a címben megadott módon MÜU-nak. Ez a dokumentum azokat a kritériumokat tartalmazza, amelyeknek való megfelelés esetén a létesítmény nem lép ki a normál üzem kereteiből. Megítélésem szerint elemi érdeke minden veszélyes üzemnek, hogy az üzemeltetést végző személyzetnek legyen beható ismerete ezekről a kritériumokról (akár részterületenként, ha az üzem tevékenységének teljes folyamatát fel lehet darabolni egymástól független részekre). Amennyiben nincs(enek) ilyen dokumentum(ok), akkor ez a jellemző az alábbi táblázat szerint nem alkalmazható. Abban az esetben a fenti leírásból adódó, a belső szabályozáshoz alkalmazkodó kitételeket lehet megjeleníteni altényezőként.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.5. táblázat tartalmazza:

$$E_5 = \sum_{i=1}^4 \xi_i \cdot f_i \quad (20)$$

ahol

E_5 — az 5. tényező (MÜU betartása) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

f_i — az 5. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (f_i)
1.	Nem következett be MÜU sértés.	0
2.	MÜU sértés (nem tudatos).	8
3.	MÜU sértés (tudatos).	12

3.5. táblázat: A MÜU betartása tényező értékelő táblázata

A MÜU sértés fogalma a következő:

MÜU sértésnek tekintendő minden olyan esemény, amely során a MÜU korlátozást, feltételt nem tartották be, vagy egy intervallumon, határértéken kívüli paraméter helyreállítása érdekében szükséges intézkedést nem az előírt időhatáron belül hajtották végre, vagy az intézkedések végrehajtásra kerültek, azonban a korlátozás átlépése a megadott időkorláton túl állt fenn.

A MÜU sértés fogalmát vizsgálva súlyozandó a tényező besorolása a feltételezhetően tudatos, vagy a feltételezhetően nem tudatos jelzőkkel. A “feltételezhető” kifejezés szükséges, mert az esemény kivizsgálója – egyértelmű (tanú)vallomás hiányában – csak feltételezni tudja, hogy a sértés tudatos volt, vagy nem.

Ennek a tényezőnek az is specialitása, hogy a különböző állapotok egyszerre nem következhetnek be, vagyis egymást kizárók. (3.5. táblázat)

6. Közös okú hiba

Közös okú meghibásodás alatt azt értjük, ha több rendszerelem, eszköz vagy komponens ugyanazon ok miatt egyszerre nem teljesíti funkcióját, vagy ennek fennáll a veszélye. Lehet

néha hallani a híradásokban, hogy egy adott típusú, egy időben gyártott (azonos adagszámú) autó visszahívását kezdeményezi a gyártó, mivel a sorozatgyártásból adódóan azonos hibával terheltek. Ez tipikusan közös okú hibának tekinthető, hiszen azonos és hibás fejlesztés (pl. hibás szoftver) okozza a visszahívást. A gyakorlatban két módon is lehet közös okú hiba: ugyanazon típusú alkatrésznél, vagy azonos hatás miatt. Ez utóbbinál nem szükséges az azonos konstrukció, vagy gyártó, egyszerűen a kialakuló körülményekből adódik a több berendezésre kiterjedő hiba. Kézenfekvő példa a villamos betáplálás elvesztése, amely minden villamos működő berendezés üzemképtelenségét okozza. A hiba hatása egyrészt a berendezés fontosságától függ, másrészt a hiba kiterjedésétől (hány berendezést érintett). Ez a tényező azért kivételesen érzékeny téma, mert egy csapásra megsemmisítheti az összes pl. kibocsátást akadályozó technológiát. Fontos még a hiba fogalma: *„Egy rendszer, rendszerelem esetében az elvárt, paraméterekkel is jellemezhető állapottól való megengedettnél nagyobb eltérése, amely a rendszerben vagy rendszeremben hibás tervezés, kivitelezés következtében jelentkezik, vagy az üzemeltetés során előforduló külső, vagy belső ok vagy hibás kezelői tevékenység miatt jön létre. Egy hiba nem befolyásolja szükségszerűen a tervezett funkció ellátásának képességét.”* [31,37]

Közös okú hibára vezető körülmény lehet:

- berendezések konstrukciós hasonlósága,
- azonos gyártó,
- hasonló üzemi, üzemeltetési körülmények,
- külső tényezők, mint pl. természeti hatások.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.6. táblázat tartalmazza:

$$E_6 = \sum_{i=1}^3 \xi_i \cdot h_i \quad (21)$$

ahol

E_6 — a 6. tényező (közös okú hiba) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

h_i — a 6. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (h_i)
1.	Az esemény során előforduló meghibásodás(ok)ra a közös okú hiba nem jellemző.	0
2.	Az esemény során előforduló meghibásodás(ok)ra a közös okú jelleg megállapítható, és ez kettőnél több, különböző biztonsági funkciót ellátó rendszerhez tartozó rendszerelemet érintett.	2
3.	Az esemény során előforduló meghibásodás(ok)ra a közös okú jelleg megállapítható, és redundáns biztonsági rendszerhez tartozó rendszerelemeket érintett.	4

3.6. táblázat: A közös okú hiba tényező értékelő táblázata

A 3.6. táblázat 2. és 3. jellemzője egyszerre is bekövetkezhet. A tényező abban az esetben, ha redundáns biztonsági rendszereket érint, egyben a fizikai elválasztás megfelelőségének megítéléséhez is ad információt. Az „érintett” kifejezés jelen esetben azt jelenti, hogy a biztonsági rendszer, rendszerelem a biztonsági funkció ellátóképessége az eseményből következően nem teljes értékű.

7. Ismétlődő események

Az események kivizsgálásának egyik fő szempontja, hogy megállapítsuk az esemény bekövetkezésének okait (2.4. számú fejezet), majd az okok által mutatott hibák kiküszöbölésére, ismétlődésének megakadályozására javító intézkedéseket kell végrehajtani. Ezzel lehet elérni, hogy ilyen esemény többet ne következhesen be, mivel így csökken a baleset kialakulásának a lehetősége. Az egyes események ismétlődése ezért lényeges szempont. Amennyiben mégis bekövetkezik hasonló jellegű esemény, az esemény ismétlődik, akkor a folyamatot nem sikerült megfelelően végigvinni, és ez külön figyelmet igényel. A probléma a következő lehet:

- nem sikerült-, vagy nem sikerült jól meghatározni az esemény okát, vagy
- az elhatározott javító intézkedés nem volt elég hatékony (az okot az intézkedés végrehajtásával nem sikerült „elhárítani/megszüntetni”), vagy
- a javító intézkedést elhatárolták, de nem hajtották végre, vagy nem sikerült időben végrehajtani (ez utóbbi eset határidő-kijelölési probléma is lehet).

Mindhárom eset olyan vizsgálendő problémákat vet fel, amelyek az üzemeltető szervezet képzettségét, a szervezeten belüli biztonsági kultúrát, esetleg a munkavégzés körülményeit

érinthetik. Ezért akár más, további események bekövetkezésének is lehetnek kiinduló problémái. Az is lényeges szempont, hogy az ismétlődés megállapítása nem egyszerű feladat, mivel nagyon nehéz egyértelmű definíciót adni (2.1. fejezet).

Ezen tényező akkor használható, ha az adott létesítményben működik egy esemény-értékelő rendszer, amely nemcsak az egyes üzemzavarokat elemzi, hanem a bekövetkezett eseményeket egymással is összeveti.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.7. táblázat tartalmazza:

$$E_7 = \sum_{i=1}^5 \xi_i \cdot k_i \quad (22)$$

ahol

E_7 — a 7. tényező (ismétlődő események) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

k_i — a 7. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (k_i)
1.	Az esemény nem ismétlődő jellegű.	0
2.	Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során nem sikerült-, vagy nem sikerült jól meghatározni az esemény okát.	3
3.	Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során elhatározott javító intézkedés nem volt elég hatékony (az okot az intézkedés végrehajtásával nem sikerült “elhárítani/megszüntetni”).	3
4.	Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során elhatározott javító intézkedést előirányozták, de nem sikerült időben végrehajtani (az ismétlődő esemény előbb következett be, minthogy a határidő lejárt volna).	3
5.	Az esemény ismétlődő jellegű, mivel az előző esemény kivizsgálása során elhatározott javító intézkedést előirányozták, de nem hajtották végre (nem határidőre-, vagy egyáltalán nem hajtották végre).	5

3.7. táblázat: Az ismétlődő események tényező értékelő táblázata

A tényezőt vizsgálva megállapítható, hogy a 3.7. táblázat 4. és 5. sorában leírt jellemzők egymást kizárók, azonban külön-külön előállhatnak, együtt a 3. sor jellemzőjével.

A 2. sorban feltüntetett jellemző lehet kivizsgálási folyamatból eredő probléma (nem kellően feltárt esemény). Ugyanígyen lehet a 3. sorban levő jellemző, vagy vezetési hiányosság, hiszen egy problémára több, esetenként alapvetően eltérő javítóintézkedés valósítható meg. A 4. jellemző vagy véletlenszerű, vagy helytelen, „kényelmes” határidő-megállapítás miatt jöhetett létre. E két utóbbi (3., 4.) jellemzőnél a két feltételezés nem ugyanolyan súlyú, ugyanakkor ennek későbbi megállapítása komolyabb nehézségekbe ütközhet, ezért nem bontottam tovább a jellemzőket.

Az 5. jellemző egyértelmű biztonsági kultúra és menedzsment problémára utalhat, ezért ez a súlyosabb kategóriába esik.

Megállapítható, hogy ez a tényező szorosan kapcsolódhat az emberi tényezőhöz és a vezetési hiányosság problémaköréhez egyaránt.

8. Biztonsági funkció, gát degradációja

A veszélyes üzemet el kell látni a környezetkárosítást (ide értve a személyzetet is) megakadályozó biztonsági rendszerekkel, kibocsátást akadályozó gátakkal. Ezek segítségével lehet megakadályozni az adott esemény eszkalálódását, balesetté fejlődését. Akkor hatékony a kibocsátás elleni védekezés, ha többszörös a gátrendszer. Lehetnek mérnöki, vagy természetes gátak.

Tehát egy esemény a biztonság súlya szempontjából fontos, hogy milyen mértékben álltak rendelkezésre az adott esemény kezeléséhez szükséges, az esemény továbbfejlődését megakadályozó biztonsági rendszerek, a kibocsátást megakadályozó gátak.

A biztonsági rendszerek, gátak részleges vagy teljes elvesztése lehetséges. A részleges elvesztés azt jelenti, hogy a rendszerben hiba keletkezett, de ez a hiba olyan rendszerelemet érint, illetve olyan mértékű, hogy a biztonsági rendszer, gát rendelkezésre áll, de nem teljes értékű (pl. valamely elzárószervény átereszt).

Figyelembe kell venni a potenciális meghibásodás lehetőségét, hiszen a veszélyeztetés is olyan hatás, amellyel biztonsági szempontból számolni kell.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.8. táblázat tartalmazza:

$$E_8 = \sum_{i=1}^3 \mu_i \cdot l_i \cdot \xi_i \quad (23)$$

ahol

E_8 — a 8. tényező (biztonsági funkció/gát degradációja) pontértéke

μ_i — a 8. tényező i -edik jellemzőjénél az érintett biztonsági rendszerek száma

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

l_i — a 8. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (l_i)	Megjegyzés (μ_i)
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során biztonsági rendszerek, gátak degradációja nem következett be.	0	$\mu_1 = 0$
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során biztonsági rendszerek, gátak részleges degradációja következett be, elsődleges rendszerelem meghibásodása miatt.	3	μ_2 azon biztonsági rendszerek, gátak száma, amelyek részlegesen el tudták látni a funkciójukat az esemény során.
3.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során biztonsági rendszerek, gátak teljes elvesztése következett be.	7	μ_3 azon biztonsági rendszerek, gátak száma, amelyek részlegesen el tudták látni a funkciójukat az esemény során.

3.8. táblázat: A biztonsági funkció/gát degradációja tényező értékelő táblázata

A biztonsági rendszer, gát részleges degradációja azt jelenti, hogy valamennyi visszatartó funkcióval rendelkezik, de nem teljesértékű. A 3.8. táblázatból is látszik az 1. jellemző, valamint a 2-t és a 3-t egymást kizárók, egyszerre nem következhetnek be. Ugyanakkor több biztonsági rendszer, gát is degradálódhat részlegesen, vagy teljes mértékben.

9. Adminisztratív okból bekövetkező hiba

Egy veszélyes üzemben a személyzettel szemben támasztott követelmények jóval számosabbak, mint egy átlagos munkahelyen. Szigorúbb a betanítás során a számonkérés, több a szabály, amit a személyzetnek a munkájukhoz tudni kell a biztonság érdekében. Rendkívül fontos a jól működő minőségügyi rendszer, ezen belül a többszörös ellenőrzési szint

alkalmazása, valamint az is, hogy az üzemeltető személyzet írásos utasítások alapján tevékenykedjen.

Ezzel a tényezővel azt vizsgáljuk, hogy a minőségügyi rendszerben elkészített, így többszörös ellenőrzésen átesett dokumentum (pl. technológiai utasítás) hibás, vagyis az adott írásos utasítás pontos végrehajtása hibát okozott. További hibalehetőség, hogy nincs előírás az adott tevékenység végrehajtásához, de szükség lenne rá, vagy több utasítás rendelkezik az adott tevékenységről, de nem azonos módon. Végző soron egy rosszul végiggondolt, illetve papírra vetett, és nem kellő mértékben verifikált, validált utasításnak a végrehajtása inicializálta az eseményhez vezető hibát.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.9. táblázat tartalmazza:

$$E_9 = \sum_{i=1}^2 \xi_i \cdot p_i \quad (24)$$

ahol

E_9 — a 9. tényező (adminisztratív okból bekövetkező hiba) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

p_i — a 9. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (p_i)	Megjegyzés
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nem okozott problémát a definíció szerinti adminisztratív hiba.	0	
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során problémát okozott a definíció szerinti adminisztratív hiba.	2	A fentiekben jelzett összes probléma ebbe a kategóriába sorolható.

3.9. táblázat: Az adminisztratív okból bekövetkező hiba tényező értékelő táblázata

A 3.9. táblázatban látható, hogy kétállapotú a tényező, vagy azonosítható ilyen probléma, vagy nem. Az előzőekben felsorolt hiányosságokat egybevettem. Ezt a gyakorlat figyelembevételével lehet pontosítani, részletezni. Lényeges, hogy a személyzet rendszeres

képzéséből adódóan a végrehajtóknak, vagy a végrehajtást ellenőrzőknek – különösen, ha tapasztaltak – fel kellene ismerni, ha hibás az utasítás, tehát a biztonsági relevancia a minőségügyi rendszer hibájából adódik.

10. Tervezési okokból bekövetkező hiba

Amikor egy esemény bekövetkezési okait kell vizsgálni, esetenként vissza kell nyúlni az eredeti tervekhez, elemzésekhez, számításokhoz. Miután minden tevékenységet ezekre alapozva kell megtervezni, érzékelhető, hogy az alapokban felfedezett hiányosság bizony komoly biztonsági kockázatot rejt magában. Ezért különösen súlyosnak minősíthető az az eset, amikor egy esemény kapcsán fény derül arra, hogy az esemény oka tervezési problémára vezethető vissza. Ez egyrészt ugyanis feltételezi, hogy régebb óta fennálló hibáról van szó, másrészt megkérdőjelezi a minőségügyi rendszer megfelelő működését mind a tervezőnél, mind a kivitelezőnél, mind az üzemeltetőnél. A tervezési alap (1.5. számú fejezet) a terveknek a leglényegesebb része, hiszen ez határozza meg azokat a veszélyeztető tényezőket, amelyekre fel van készítve a létesítmény. Lehetséges, hogy minden szakmának van saját kifejezése, azonban a megadott nukleáris területen használt definíció alapján könnyen azonosítható, hogy miről folyik a szó. Megjegyezném, hogy ezért is rendkívül fontos, hogy már a tervezés időszakában be legyen vonva a későbbi üzemeltető, bármely létesítményről is legyen szó, mert bizony a beruházó és az üzemeltető érdeke (finomabban szólva szemlélete) eltér egymástól.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.10. táblázat tartalmazza:

$$E_{10} = \sum_{i=1}^2 \xi_i \cdot q_i \quad (25)$$

ahol

E_{10} — a 10. tényező (tervezési okokból bekövetkező hiba) pontértéke

ξ_i — tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

q_i — a 10. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (q_i)
1.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során nem derült fény tervezési hiányosságra.	0
2.	Az esemény lefolyása, kezelése és elhárítása során fény derült a tervek hiányosságára.	6

3.10. táblázat: A tervezési okból bekövetkező hiba tényező értékelő táblázata

11. Kiváltó ok jellege

A tervező meghatározza a veszélyes üzemet fenyegető veszélyeztető tényezőket, ezeket valamilyen módszerrel szelektálja, szűri, és meghatározza azokat a veszélyeztető tényezőket, amelyekkel szemben ellenállóvá kell tenni a létesítményt. Ahhoz, hogy a létesítmény biztonságosan üzemeljen meg kell védeni a veszélyeztető tényezőkkel szemben. Ahhoz, hogy – esetenként automatikus működésű – biztonsági rendszereket lehessen tervezni és megvalósítani, meg kell határozni azokat a „jelenségeket”, az ezekhez tartozó paramétereket, amelyeknek ki kell váltaniuk az automatikus biztonsági működést. A másik megoldás, hogy fel kell ismernie a személyzetnek az eltérést, és a felismerést követően kezdeményeznie kell a védelmi intézkedést, beavatkozást. Ezek a „jelenségek” a kiváltó, vagy kezdeti események.

A biztonsági rendszerelemek működőképességét időszakonként ellenőrizni kell (kézenfekvő példa a nyomástartó berendezések nyomáspróbája). A működésképtelenség, vagy a funkcióképeség csökkenése (maradva a nyomástartó edény példájánál: egy néhány század l/h szivárgás hiba, de az esetek többségében egy ipari rendszernél nem állítható, hogy ezzel teljes egészében funkcióképtelenné vált a berendezés) felfedezhető egy próba, vagy tesztfolyamat során is. Belátható, hogy a próba alatt felfedezhető üzemképtelenség kisebb biztonsági súlyú (hiszen erre szolgál a próba), mintha éles működés során derül ki a probléma. Ez utóbbi esetben a próbák végrehajtási forgatókönyvvel, vagy a periódusával is baj lehet. Fontos kérdés az is, hogy a meghibásodás olyan üzemállapotban érte a berendezésünket, amikor az adott biztonsági funkcióra nem volt szükség, vagy egy nem üzemelő berendezésnél fedeztek fel hibát. Különböző a biztonsági hatása ezeknek az eseteknek, és belátható, hogy a legkényesebb szituáció akkor alakul ki, ha szükség lenne egy biztonsági funkcióra, de az nem működik megfelelően. Az is fontos, hogy a teszteket, próbákat csak olyan helyzetben, üzemállapotban végezhetik, hogy ezeknek a műveleteknek nem lehet semmilyen káros hatása a létesítmény biztonságára.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.11. táblázat tartalmazza:

$$E_{11} = \sum_{i=1}^3 \xi_i \cdot r_i \quad (26)$$

ahol

E_{11} — a 11. tényező (a kiváltó ok jellege) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

r_i — a 11. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (r_i)
1.	A hibát az ütemezett, rendszeres teszt során fedezték fel.	1
2.	A hibát olyan üzemállapotban fedezték fel, amikor a biztonsági funkcióra nem volt szükség.	2
3.	A hiba az éles üzem során keletkezett.	6

3.11. táblázat: A kiváltó ok jellege tényező értékelő táblázata

A 3.11. táblázatban látható, hogy az altényezők egymást kizárók.

12. A személyzet tevékenysége

Minden technológia gyenge láncszeme az ember, függetlenül attól, hogy a tervezési, megvalósítási, vagy a végrehajtási fázist vizsgáljuk. Ez azért paradoxon, mert maga a technológia sem létezne ember nélkül. Ha bármely hibának az evolúcióját vizsgáljuk, akkor előbb-utóbb megállapíthatjuk, hogy eredendően minden emberi hibára vezethető vissza. Jelen esetben azonban az üzemeltető személyzetet, mint a veszélyes folyamatot kézben tartó emberek csoportját kell vizsgálni, hiszen az idő szorításában náluk jelentkezik közvetlenül kockázat. Tehát az emberi hiba mindenhol más hatású attól függően, hogy az esemény mely szakaszában következett be.

Az emberi hibák egyszerre is bekövetkezhetnek, és szuperponálódhatnak egymásra.

A rendszert úgy alakítottam ki, hogy az értékelési módszer az emberi hibára különösen érzékeny legyen. Ennek oka a fentiekben („leggyöngébb láncszem”) kívül az is, hogy erre az okra lehet a legnehezebben hatékony javító intézkedést előirányozni.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.12.a táblázat tartalmazza:

$$E_{12}^{(a)} = \sum_{i=1}^9 \xi_i \cdot s_i^{(a)} \quad (27)$$

ahol

$E_{12}^{(a)}$ — a 12.a tényező (a személyzet tevékenysége) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

$s_i^{(a)}$ — a 12.a tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték ($s_i^{(a)}$)
1.	Emberi hiba nem következett be.	0
2.	Emberi hiba az esemény oka.	7
3.	Emberi hiba történt az esemény lefolyása során.	3
4.	Emberi hiba történt az esemény lefolyása során, és ez újabb eseményt indukált.	5
5.	Emberi hiba történt az esemény következményeinek elhárítása során.	3
6.	Emberi hiba történt az esemény következményeinek elhárítása során, és ez újabb eseményt indukált.	5
7.	Emberi hiba történt, mivel a hasonló esemény bekövetkezésének elkerülésére tett javító intézkedés(ek) nem voltak kellően hatékonyak.	6
8.	Emberi hiba történt, mivel a hasonló esemény bekövetkezésének elkerülésére tett javító intézkedés(ek)e)t nem megfelelő időben hajtották végre (a végrehajtás a kijelölt határidőhöz képest késve történt a végrehajtás, vagy a végrehajtási határidőt nem megfelelően jelölték ki).	7
9.	Emberi hiba történt, mivel a hasonló esemény bekövetkezésének elkerülésére tett javító intézkedés(ek)e)t nem hajtották végre.	9

3.12.a táblázat: A személyzet tevékenysége tényező értékelő táblázata

A 3.12.a táblázat használatánál figyelembe kell venni, hogy az 5, 6, illetve a 7, 8. jellemző egyszerre nem következhet be, Kivéve akkor, ha több emberi hiba jellemzi a tényezőt. Ebben az esetben össze kell adni a pontszámokat.

Az emberi hibák más szempontból is vizsgálандók. Mi lehet az oka a hiba bekövetkezésének. Hatékonyabb javító intézkedést csak úgy lehet előirányozni, ha pontosan ismerjük a hiba okát. Ezért egy másik kategorizálási lehetőséget, formát is figyelembe kell venni a pontértékek kialakításánál:

- „mellényúlás” (amikor tisztában vagyunk azzal, hogy mit akarunk csinálni),
- emlékezetkihagyás,
- ismerethiány (amikor nem tudjuk pontosan, hogy mit kell tennünk),
- belső szabályozás (eljárásrend, technológia, utasítás, stb.) figyelmen kívül hagyása.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.12.b táblázat tartalmazza:

$$E_{12}^{(b)} = \sum_{i=1}^5 \xi_i \cdot s_i^{(b)} \quad (28)$$

ahol

$E_{12}^{(b)}$ — a 12.b tényező (az emberi hiba oka) pontértéke

ξ_i — a tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

$s_i^{(b)}$ — a 12.b tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték ($s_i^{(b)}$)
1.	A 3.12.a. számú táblázat 1. sora jellemzi az eseményt emberi hiba szempontjából.	0
2.	Az emberi hiba mellényúlás (amikor tisztában vagyunk azzal, hogy mit akarunk csinálni) miatt történt.	1
3.	Az emberi hiba emlékezetkihagyás miatt történt.	2
4.	Az emberi hiba ismerethiba (amikor nem tudjuk pontosan, hogy mit kell tennünk) miatt történt.	3
5.	Az emberi hiba a szabályozás megsértése miatt történt.	4

3.12.b táblázat: Az emberi hiba oka tényező értékelő táblázata

Meg kell jegyezni, hogy a 3.12.b táblázatot csak akkor kell, lehet használni, ha a 3.12.a táblázatnak nem az 1. sora jellemző az eseményre. Azért is kell külön tényezőként vizsgálni

ezt a jellemzőt, mert a táblázatban szereplő szempontok megállapítása gyakran nehézségekbe ütközik, így a táblázat esetenként nem használható.

13. Az esemény oka

Egy eseménynek többféle oka van. Ugyanakkor kell lennie egy olyan hibának, amely ha nem következik be, akkor az esemény sem jön létre. Mivel tudjuk, hogy egy esemény a baleset előszobája, ezért ezt az okot kell kideríteni, és ennek megszüntetése érdekében kell hatékony javító intézkedéseket végrehajtani, hogy az esemény ne ismétlődhessen meg. Ezt az okot a nukleáris területen „alapvető oknak” nevezik. Ennek feltárására a nukleáris területen alkalmazni kell a „root cause” analízist. [110] Ez az elemzési módszer – némi megszorítással – alkalmazható más területen is, de logikai úton is el lehet jutni a helyes eredményhez, a megfelelő alapvető okhoz. Ez a tényező csak olyan üzemek esetén használható, amelyeknél az egyes események vizsgálata során meghatározzák az esemény okát, akár úgy is, hogy több okot határoznak meg amelyek mindegyikének kiküszöbölését – lehetőség szerint – meg kell célozni.

A tényező számszerű meghatározására az alábbi összefüggés használható, melyben szereplő paraméterek értékét a 3.13. táblázat tartalmazza:

$$E_{13} = \sum_{i=1}^2 \xi_i \cdot z_i \quad (29)$$

ahol

E_{13} — a 13. tényező (esemény okai) pontértéke

ξ_i — tényező i -edik jellemzőjének bekövetkezését mutató szám ($\xi_i = 0$ vagy 1)

z_i — a 13. tényező i -edik jellemzőjének pontértéke

Ssz	Jellemző	Javasolt pontérték (z_i)
1.	Az esemény oka(i) meghatározott(ak), és megfelelő javító intézkedést irányoztak elő a hasonló események bekövetkezésének elkerülésére.	0
2.	Az esemény okát (okait) nem sikerült meghatározni.	3

3.13. táblázat: Az esemény oka tényező értékelő táblázata

A 3.13. táblázat két sora itt is egymást kizáró, vagyis egyszerre a két jellemző nem állhat fenn. A vagy kapcsolat mellett az is látható, hogy az események mindegyikét lehet vizsgálni a tényező alapján.

3.4.1 Az esemény biztonsági súlya

Miután sikerült meghatározni az egyes tényezők biztonsági szempontjából releváns értékét, az alábbi összegző képletbe helyettesítéssel lehet kiszámítani az értékelt esemény biztonsági súlyát:

$$B_{NBS} = \sum_{i=1}^{14} E_i \quad (30)$$

ahol

B_{BS} — az esemény biztonsági súlyát jellemző számérték

3.5 Az általános eseményértékelési módszer használata

A nukleáris analógiára készült biztonsági értékelés jól használható eszköz lehet. Azok az előnyök és hátrányok, amelyeket a 2.5. számú fejezetben írtam az általánosítás után is fennállnak. Van azonban egy plusz tényező, amely növeli a bizonytalanságát a módszernek. Minden iparágnak, veszélyes üzemnek vannak olyan sajátosságai, amelyek általános leírásnál nem vehetők figyelembe (pl. van-e olyan, klasszikus tervezési alap, mint nukleáris létesítmények esetén). Ezért a módszer minden alkalommal kiegészíthető, kiegészítendő olyan tényezőkkel, amelyek ez említett sajátosságot reprezentálják. El kell végezni próbaelemzéseket, és ezek segítségével tovább finomítható a módszer. Ebből az is következik, hogy a fenti általánosítás, csak egy útmutató, keretrendszer, amelyet a veszélyes technológia és az alkalmazás körülményeinek ismeretében pontosítani, módosítani kell, hogy teljes értékű módszert lehessen alkalmazni, ahogy a nukleáris területen.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Munkám során áttekintő leírást készítettem a nukleáris biztonság alapvető elveiről hatósági aspektusból. A leírás fontos szerepe, hogy segíti az értekezésem lényeges elemének, az események biztonsági súlyát meghatározó értékelési módszernek a megértését, továbbá megismerhető a nukleáris biztonság hatósági megközelítése, és összehasonlítható más veszélyes üzemek, iparágak biztonsági megfontolásaival a biztonság szavatolásának erősítése érdekében.

Kidolgoztam egy eseményértékelési módszert, amely kisebb biztonsági jelentőségű események biztonsági súlyát hivatott meghatározni. A módszer előnye, hogy számszerűsíteni képes egy-egy anomália biztonsági hatását, valamint meg lehet felelni annak az alapvető elvárásnak, hogy alkalmazzuk a fokozatos megközelítés elvét (graded approach). [15,18,31,92] Ez egyrészt azért fontos, hogy olyan problémákra fókuszáljunk, arra áldozzunk jelentősebb erőforrást, amelyeknek nagyobb a biztonsági súlya. Tehát erőforrás-allokáció és költségtényező szempontjából lényeges ezen elv alkalmazása. Másrészt fontos a biztonság szempontjából is, hiszen a legnagyobb biztonsági súlyú, kockázatos problémákkal kell kiemelten foglalkozni, erre kell a lehető legrövidebb idő alatt megoldást találni, mivel ez a leghatékonyabb a biztonsági szint megőrzését, emelését illetően.

A megalkotott és a nukleáris biztonsági hatóság által sikeresen alkalmazott módszert általánosítottam. Ez lehetőség lehet a további veszélyes üzemek hasonló eseményeinek értékelésére, fegyelembe véve, hogy hasonló biztonsági alapvetéseket alkalmaznak, mint nukleáris területen, azzal a megkötéssel, hogy az adott területen dolgozó szakértőknek a gyakorlati alkalmazáshoz pontosítani kell az általam meghatározott tényezőket, az adott iparág és létesítmény biztonsági, műszaki jellemzőinek az ismeretében. Ennek a módszernek az alkalmazása a nukleáris területen szerzett tapasztalatok alapján előnyös lehet a biztonság szintjének emelése és az erőforrásallokáció szempontjából.

Új tudományos eredmények, tézisek

Értekezésem új tudományos eredményének tartom, hogy

- az atomenergiahasználat biztonságának alapelemeit állítottam össze hatósági aspektusból

- egy módszert sikerült megalkotni, amely segítségével a nukleáris létesítményekben és radioaktív hulladéktárolókban bekövetkező eseményeket a szubjektív elemek minimalizálása mellett értékelni lehet,
- ezzel az értékelési módszerrel számszerűen meg lehet határozni ezen események biztonsági súlyát, és ezért
- össze lehet vetni ezen eseményeket a biztonság szempontjából,
- az eseményértékelési módszert általánosítottam, így – a megfelelően kialakított feltételek és megfontolások mellett – fel lehet használni minden veszélyes technológiát alkalmazó létesítményben bekövetkező események biztonsági értékeléséhez.

A tudományos tézisek

1. Felépítettem atomenergia hatósági szempontból a nukleáris biztonság különböző rétegeinek átfogó rendszerét egyesítve a nukleáris biztonság mind műszaki mind pedig hatósági oldalát, megalapozva az alacsony biztonsági kockázatokkal járó eseményértékelési módszert. [111, 114, 115]
2. Bizonyítottam, hogy alacsony kockázatú biztonsági események felbonthatók olyan elemi eseményekre, melyek biztonsági súlyának megítélése szubjektív hibáktól mentesíthető, így a megjelenésében, lefolyásában egymástól események biztonsági súlya összehasonlíthatóvá válik, és kidolgoztam e felbontás konkrét rendszerét. [112,113]
3. Felállítottam egy algoritmust, melynek alapján más, nem csak az atomenergiát használó veszélyes üzemekben előforduló, nem tervezett események biztonsági súlya meghatározható. [112,113]

Megjegyzések az új tudományos eredményekhez

1. Ezek a szempontok ismertek a nemzetközi szakirodalomból, és természetesen részben átfedésben vannak a nukleáris biztonság „általános” elemeivel azonban ez a szemlélet újabb szempontokat is tárgyal, mivel nem csak a műszaki, hanem a hatósági szabályozás egyes jogi elemeit is sorra veszi. Tehát a nukleáris biztonság alapelveit hatósági szemszögből tárgyalja. A leírás érthetővé teszi, és megalapozza az eseményértékelő módszert, továbbá felhasználható az iparági, ezen belül elsősorban a hatósági új belépők betanító képzésének részeként.

2. A módszer lehetővé teszi a bekövetkező események biztonsági súlyának számszerűsítését, ezzel az egyes események egymással való összevetését a nukleáris biztonság szempontjából. A módszer abszolút értékelést nem tesz lehetővé, csak az olyan események összehasonlítása lehetséges, melyeket egységes elvek alapján (pl. jelen módszert használva), azonos módon (vagyis ugyanazokat a jellemzőket, ugyanolyan pontértékkel), a szubjektivitást minimálisra csökkentve értékelték. Ilyen módon az események értékeléséből származó megállapításokat egymással és a korábbi évek eredményeivel is össze lehet vetni, megállapítva az egyes események és évek vonatkozásában a változás mértékét, tendenciáját. A módszer segítségével kiegészíthető az atomenergia felhasználójának biztonságteljesítmény-értékelése.

3. Az esemény-értékelő módszer általánosíthatóságára vonatkozó hipotézist igazoltam, az általános felhasználás alapjait leraktam. Ugyanakkor az általános felhasználásra teljesen kész módszer nem adható, mivel ehhez a nagyon különböző veszélyes üzemek műszaki biztonsági elemzéseit, üzemeltetési feltételeit, üzemeltetési és tervezési dokumentációját pontosan kell ismerni. Ezért a módszer használatához a fenti ismeretek birtokában további pontosítás szükséges. Azonban szakemberek kezében az általánosított eseményértékelő módszer jól használható eszköz lehet az üzemeltetési tapasztalatok hasznosítására és ezzel a biztonsági szint növelésére.

Az eredmények hasznosítási lehetősége

Doktori értekezésem elkészítése során a legfontosabb cél a gyakorlati alkalmazhatóság volt a hatósági munka során.

Amikor sikerül új kollégákat felvenni az iparág valamilyen szereplőjéhez, akinek nincs tapasztalata az atomenergia felhasználásának területén, a betanításának első fázisától kezdve a leglényegesebb szempont a biztonság elsődlegességének hangsúlyozása, annak a súlykolása, hogy magas szintű biztonság nélkül nem lehet kiemelkedő gazdasági eredményeket elérni még közép távon sem. Nincs ez másképpen a hatóságnál kezdő kollégákkal sem. A biztonság „mibenlétét” azonban nem könnyű feladat megértetni az érdeklődőkkel. Ezért tartottam fontosnak, hogy egy olyan rövid, tömör leírása készüljön a nukleáris biztonságnek, amely felhasználható oktatási célokra és sorra veszi azokat a területeket, amelyek a hatósági szempontrendszerben kiemelt szerepet játszanak a nukleáris biztonság területén és lehetővé teszik az alapelvek gyors áttekintését. Az egyes területek alapos megértéséhez azonban további elmélyülés szükséges. Fontos továbbá, hogy az eseményértékelő módszer megalapozásához és megértéséhez elengedhetetlen ez a biztonságról szóló áttekintés. Fontos továbbá abból a

szempontból is, hogy az általánosított értékelő módszer használatát megalapozza, érthetőségét elősegíti. Támpondot ad – szükség szerint párhuzamot vonva a nukleáris területtel – az értékelő módszer általánosításának használatához, pontosításához.

Nemcsak a nukleáris létesítményekben és a radioaktív hulladék-tárolókban, hanem bármely veszélyes üzemben, sőt egy kevésbé veszélyes gyártási folyamatban is rendkívül fontos a biztonság. A biztonságot veszélyeztető tényezők leginkább azokban az esetekben mutatkoznak meg, amikor valamilyen nem várt, nem tervezett anomália, eltérés jelentkezik az életünk valamely területén. A biztonság szempontjából fontos, hogy az anomália által érintett terület szakemberei le tudják vonni a megfelelő következtetéseket az anomália értékelése alapján és szükség esetén biztonságnövelő intézkedéseket tudjanak foganatosítani. Figyelembe véve ezt a törekvést, segítséget nyújthat egy olyan értékelési módszer, amely ezen anomáliák, események biztonságra gyakorolt hatását számszerűsíti.

„Minden értékelő munka lényege a számszerűsítés: mert a szám többet tud kifejezni és könnyebben kezelhető mint a szó. Számszerűsítéssel tehetjük a tulajdonságokat (ismérveket) kezelhetővé, áttekinthetővé, majd összemérhetővé.”

Dr. Tomcsányi Pál

Az idézet jól magyarázza a nukleáris iparban, de bármilyen iparágban, sőt, a humán területeken is az értékeléssel foglalkozók törekvését. Egy olyan értékelési módszer fejlesztése volt a cél, amely a nukleáris biztonsági területen a nem tervezett, kisebb biztonsági jelentőségű események biztonsági értékelését lehetővé teszi, és amely segítségével számszerűen meg lehet határozni az egyes események biztonsági súlyát. Ezen a területen elsődleges szempont a tapasztalathasznosítás, a legapróbb hibákból is tanulni kell annak érdekében, hogy elkerüljük a környezetszennyezéssel járó eseményeket, de különösen a baleseteket.

Alapvető elvárás nemzetközi szinten is, hogy alkalmazzuk a fokozatos megközelítés elvét (graded approach). [12,13,18,31,92] Ez egyrészt azért szükséges, hogy olyan problémákra fókuszáljunk, arra áldozunk jelentősebb erőforrást, amelyeknek nagyobb a biztonsági súlya. Tehát erőforrás-allokáció és költségtenyező szempontjából lényeges ezen elv alkalmazása. Másrészt fontos a biztonság szempontjából is, hiszen a legnagyobb biztonsági súlyú, kockázatu problémákkal kell kiemelten foglalkozni, erre kell a lehető legrövidebb idő alatt megoldást találni. Erre ez a módszer, amely számszerűsíti az események biztonsági súlyát alkalmas eszköz lehet. A módszer segítségével ugyanis ki lehet válogatni azokat az eseményeket, amelyek biztonsági súlya összességében akkora, hogy arra érdemes nagyobb erőforrást áldozni. A biztonság számszerűsítése lehetőséget teremt a fent említett erőforrás-allokáció mellett,

pontosabb, egyértelműbb követelményrendszer meghatározására, és hatékonyabb folyamatok kialakítására, működtetésére.

Egy-egy esemény biztonsági szintje az adott létesítmény biztonsági szintjét valamilyen módon jellemző tulajdonsága. Még jobban jellemezheti a biztonsági szintet, ha több esemény biztonsági súlyát vetjük össze, például átlagot képezve, vagy valamilyen megfontolás alapján meghatározva a „megfelelő biztonsági szint” kritériumát, és ennek alapján vonhatók le következtetések az atomenergia alkalmazásának biztonságára vonatkozóan. A módszer eredményei felhívhatják a figyelmet a biztonsági szint romlásának olyan korai jegyeire, amelyek kezelése kiemelkedő fontosságú a súlyosabb következményű üzemzavarok bekövetkezésének elkerülése érdekében. A módszer megteremti a nukleáris létesítményekben bekövetkező események biztonságszemléletű összehasonlíthatóságát úgy, hogy az értékelésből a szubjektív elemeket a lehetséges mértékig kizárja.

A nukleáris területen használható módszer adaptálása más veszélyes technológiákat alkalmazó üzemekre, tevékenységekre kellő alapot ad, hogy ezeken a területeken is használható legyen az eseményértékelő módszer, amely a fentiekben vázolt előnyökkel szolgál. Ugyanakkor az összes területre nem lehetséges egyformán teljes értékű, közvetlenül használható értékelési eszközt előállítani, mert ahhoz minden területen lépésről-lépésre fel kell tárni a folyamatokat, a folyamatokat jellemző paramétereket, ezek megengedett határértékeit és ennek alapján lehet meghatározni az értékelendő tényezőket és altényezőket, valamint ezek súlyozása után, tételesen a pontértékeket. Tehát az általánosított esemény-értékelő módszer alapjait, keretét sikerült lefektetni, amely gyakorlati használatához az adott terület szakembereinek további megfontolása, fejlesztőmunkája elengedhetetlen.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 1. melléklet 1.7.4. fejezet
- [2] Best Practices in the Organization, Management and Conduct of an Effective Investigation of Events at Nuclear Power Plants – IAEA-TECDOC-1600, 2008. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1600_web.pdf (letöltés: 2020.10.31.)
- [3] Operating Experience Feedback for Nuclear Installations – Specific Safety Guide No. SSG-50 2018. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1805_web.pdf (letöltés: 2020.10.31.)
- [4] Challenges and Opportunities Regulatory Challenges in Using Nuclear Operating Experience 2006. (p. 11-15) https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14164/regulatory-challenges-in-using-nuclear-operating-experience (letöltés:2020.10.31.)
- [5] The use of international operating experience feedback for improving nuclear safety 2008. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_18530/the-use-of-international-operating-experience-feedback-for-improving-nuclear-safety (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [6] Operating experience feedback of a nuclear facility – Guide YVL A.10 2019. <https://www.stuklex.fi/en/ohje/YVLA-10> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [7] International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) 2017. <https://www.iaea.org/resources/databases/international-nuclear-and-radiological-event-scale> (letöltés: 2020.10.31.)
- [8] INES the international nuclear and radiological event scale user's manual 2008. – <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/INES2013web.pdf> (letöltés: 2020.10.31.)
- [9] Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency - Functional requirements - Identifying, notifying and activating - International Nuclear Event Scale (INES) – Safety Guide No. GS-G-2.1 2019. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1265web.pdf> (letöltés: 2020.10.31.)
- [10] Lessons Learnt from the Fukushima Daiichi Accident Improving Safety of U.S. Nuclear Plants 2014. <https://www.nap.edu/resource/18294/fukushima-brief05-PDFfromNAP-LoRes.pdf> (letöltés: 2020.10.31.)
- [11] Operational safety performance indicators for nuclear Power plants – Tecdoc 1141 2000. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1141_prn.pdf (letöltés:2020.10.31.)

- [12] Fundamental safety principles – No. SF.1 2006. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1273_web.pdf (letöltés:2020.10.31.)
- [13] Basic safety principles for nuclear power plants – 75-INSAG-3 Rev. 1 INSAG-12 1999. - https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P082_scr.pdf (letöltés:2020.10.31.)
- [14] GADÓ J. és szerzőtársai.: Atomreaktorok biztonsága I-II. 2013.
- [15] VAJDA Gy.: Kockázat és biztonság
- [16] CSOM Gy.: Reaktorok üzemeltetése I-III.
- [17] 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról (Hatályos: 2015.04.11 - 2015.06.30)
- [18] 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről
- [19] Atomsorompó egyezmény INFCIRC/140 22 April 1970 IAEA <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/documents/infcircs/1970/infcirc140.pdf> (letöltés:2020.10.31.)
- [20] Nuclear Regulatory Decision Making – ISBN 92-64-01051-3 2005. (p 13-19) https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_13922/nuclear-regulatory-decision-making (letöltés:2020.10.31.)
- [21] A Methodology to Evaluate the Effectiveness of Training in Nuclear Facilities – IAEA-TECDOC-1893 2019. <https://www.iaea.org/publications/13621/a-methodology-to-evaluate-the-effectiveness-of-training-in-nuclear-facilities> (letöltés: 2020.10.31.)
- [22] Recruitment, Qualification and Training of Personnel for Nuclear Power Plants – Safety Guide No. NS-G-2.8 2002. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1140_scr.pdf (letöltés: 2020.10.31.)
- [23] Organization, management and staffing of the regulatory body for safety – IAEA Safety Standards Series No. GSG-12 2018. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1801_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [24] Governmental, Legal and Regulatory Framework for Safety – IAEA General Safety Requirements No. GSR Part 1 2016. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1713web-70795870.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [25] Nuclear Competence Building – ISBN 92-64-02073-X 2004. (p. 13, 15) - https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_13982/nuclear-competence-building (letöltés: 2020.10.31.)
- [26] Periodic Safety Review for Nuclear Power Plants – No. SSG-25 2013. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1588_web.pdf (letöltés: 2020.10.31.)

- [27] Fukushima Daiichi nuclear accident 2012. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_27411/fukushima-daiichi-nuclear-accident (letöltés: 2020.10.31.)
- [28] Nuclear Safety Improvements and Lessons Learnt Five Years after the Fukushima Daiichi Accident (Executive summary) 2016. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14980/five-years-after-the-fukushima-daiichi-accident-executive-summary (letöltés: 2020.10.31.)
- [29] The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: OECD/NEA Nuclear Safety Response and Lessons Learnt 2013. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14866/the-fukushima-daiichi-nuclear-power-plant-accident-oecd/nea-nuclear-safety-response-and-lessons-learnt (letöltés: 2020.10.31.)
- [30] The fukushima daiichi accident – ISBN 978-92-0-107015-9 2015. <https://www.iaea.org/publications/10962/the-fukushima-daiichi-accident> (letöltés: 2020.10.31.)
- [31] IAEA Safety Glossary Terminology Used in Nuclear Safety and Radiation Protection 2018. <https://www.iaea.org/publications/11098/iaea-safety-glossary-2018-edition> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [32] Radiation protection aspects of design for nuclear power plants – IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.13 2005. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1233_web.pdf (letöltés: 2020.10.31.)
- [33] Occupational radiation protection – IAEA Safety Standards Series No. GSG-7 2018. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1785_web.pdf (letöltés: 2020.10.31.)
- [34] Radiation protection and exposure monitoring of nuclear facility workers – Guide YVL C.2 2019. <https://www.stuklex.fi/en/ohje/YVLC-2> (letöltés: 2020.10.31.)
- [35] A TANÁCS 2013/59/EURATOM IRÁNYELVE 2013. az ionizáló sugárzás miatti sugárterhelésből származó veszélyekkel szembeni védelmet szolgáló alapvető biztonsági előírások megállapításáról <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013L0059&from=EN> (letöltés: 2020.10.31.)
- [36] 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről
- [37] 118/2011.(VII.11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 10. melléklet
- [38] Safety Culture: A Survey of the State-of-the-Art – NUREG-1756 2002. <https://www.nrc.gov/docs/ML0205/ML020520006.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)

- [39] The Safety Culture of an Effective Nuclear Regulatory Body 2016. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14948/the-safety-culture-of-an-effective-nuclear-regulatory-body (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [40] Safety culture – Safety Series No. 75-INSAG-4 1991. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub882_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [41] Key Practical Issues in Strengthening Safety Culture – INSAG15 2015. <https://www.iaea.org/ru/publications/10548/key-practical-issues-in-strengthening-safety-culture> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [42] Safety Culture Practices for the Regulatory Body – IAEA-TECDOC-1895 2020. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1895web.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [43] Developing safety culture in nuclear activities – IAEA Safety Reports Series No. 11 1998. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P064_scr.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [44] Regulatory Response Strategies for Safety Culture Problems 2000. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_13352/regulatory-response-strategies-for-safety-culture-problems (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [45] Leadership and management for safety – Guide YVL A.3 2019. file:///C:/Users/hullan/Downloads/YVL_A.3e.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [46] Safety of Nuclear Power Plants: Design – IAEA Specific Safety Requirements No. SSR-2/1 (Rev. 1) (p. 18) 2018. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1715web-46541668.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [47] Safety design of a nuclear power plant - Guide YVL B.1 2019. <https://www.stuklex.fi/en/ohje/YVLB-1> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [48] Defence in depth in nuclear safety – INSAG-10 1996. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1013e_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [49] Safety Assessment for Facilities and Activities – IAEA General Safety Requirements No. GSR Part 4 (Rev. 1) 2016. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1714web-7976998.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [50] A TANÁCS 2014/87/EURATOM IRÁNYELVE 2014. a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági közösségi keretrendszerének létrehozásáról szóló 2009/71/Euratom irányelv módosításáról <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014L0087&from=EN> (letöltés: 2020. 10. 31.)

- [51] Leadership and Management for Safety – General Safety Requirements No. GSR Part 2 2016. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1750web.pdf> (letöltés: 2020.10.31.)
- [52] Defence in depth safety approach 2018. <https://www.stuk.fi/en/web/en/topics/nuclear-power-plants/safety-principles/defence-in-depth-safety-approach> (letöltés: 2020.10.31.)
- [53] Approaches to Ageing Management for Nuclear Power Plants – IAEA-TECDOC-1736 2014. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE_1736_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [54] Ageing Management and Development of a Programme for Long Term Operation of Nuclear Power Plants – Safety Standards Series No. SSG-48 2018. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1814_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [55] Ageing management of a nuclear facility – Guide YVL A.8 2019. <https://www.stuklex.fi/en/ohje/YVLA-8> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [56] Handbook on Ageing Management for Nuclear Power Plants – IAEA Nuclear Energy Series No. NP-T-3.24 2017. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1738_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [57] Proactive Management of Ageing for Nuclear Power Plants - IAEA Safety Reports Series No. 62 https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/pub1390_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [58] Monitoring the effectiveness of maintenance at nuclear power plants – Regulatory Guide 1.160 2014. <https://www.nrc.gov/docs/ML1136/ML113610098.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [59] Maintenance, surveillance and in-service inspection in nuclear power plants – Safety Standards Series No. NS-G-2.6 2002. (p. 2-5) https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1136_scr.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [60] Maintenance, periodic testing and inspection of research reactors – IAEA Safety Standards Series No. NS-G-4.2 2006. (p. 5,12) https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1270_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [61] Accident Management Programmes for Nuclear Power Plants – Specific Safety Guide No. SSG-54 2019. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1834_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [62] Flexible mitigation strategies for beyond-design-basis events – Regulatory Guide 1.226 2019. <https://www.nrc.gov/docs/ML1905/ML19058A012.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [63] A Paksi Atomerőmű végleges biztonsági jelentése 2019.

- [64] The Operating Organization for Nuclear Power Plants Safety Guide No. NS-G-2.4 2001. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1115_scr.pdf (letöltés: 2020.10.31.)
- [65] Leadership and management for safety – IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 2 2016. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1750web.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [66] Leadership and management for safety – Guide YVL A.3 2019. <https://www.stuklex.fi/en/ohje/YVLA-3> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [67] G.R. COREY: A brief review of the accident at Three Mile Island 1979. <https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull21-5/21502795459.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [68] Backgrounder on the Three Mile Island Accident 2018. <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/3mile-isle.html> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [69] Backgrounder on Chernobyl Nuclear Power Plant Accident 2018. <https://www.nrc.gov/reading-rm/doc-collections/fact-sheets/chernobyl-bg.html> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [70] The chernobyl accident: updating of INSAG-1 INSAG-7 1992. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub913e_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [71] Frequently Asked Chernobyl Questions 2005. <https://www.iaea.org/newscenter/focus/chernobyl/faqs> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [72] Occupational Radiological Protection Principles and Criteria for Designing New Nuclear Power Plants – ISBN 978-92-64-99142-2 2010. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_14662/occupational-radiological-protection-principles-and-criteria-for-designing-new-nuclear-power-plants-2010
- [73] LÁZÁR I.: Sugárzó környezetben élünk – előadás az „Atomenergiáról mindenkinek” szegedi rendezvényen 2019.
- [74] A magyarországi nukleáris létesítmények 2003. évi tevékenységének hatósági értékelése, OAH, 2004. <https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?openagent&menu=05&submenu=54> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [75] A magyarországi nukleáris létesítmények 2004. évi tevékenységének hatósági értékelése, OAH, 2005. <https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?openagent&menu=05&submenu=54> (letöltés: 2020. 10. 31.)

- [76] A magyarországi nukleáris létesítmények 2005. évi tevékenységének hatósági értékelése, OAH, 2006.
https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?openagent&menu=05&submenu=5_4 (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [77] A magyarországi nukleáris létesítmények 2006. évi tevékenységének hatósági értékelése, OAH, 2007.
https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?openagent&menu=05&submenu=5_4 (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [78] A magyarországi nukleáris létesítmények 2010. évi tevékenységének hatósági értékelése, OAH, 2011.
https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?openagent&menu=05&submenu=5_4 (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [79] A magyarországi nukleáris létesítmények 2011. évi tevékenységének hatósági értékelése, OAH, 2012.
https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?openagent&menu=05&submenu=5_4 (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [80] Experiences in Implementing Safety Improvements at Existing Nuclear Power Plants – IAEA-TECDOC-1894 2020. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1894web.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [81] The Clearinghouse <https://clearinghouse-oef.jrc.ec.europa.eu/> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [82] Working Group on Operating Experience (WGOE) 2020. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_23852/working-group-on-operating-experience-wgoe (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [83] Multinational Design Evaluation Programme (MDEP) 2020. <https://www.oecd-nea.org/mdep/> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [84] Forum of the state nuclear safety authorities of the countries operating WWER type reactors <http://wwerforum.org/> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [85] Incident Reporting Systems for Nuclear Installations 2020. <https://www.iaea.org/resources/databases/irsni> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [86] Improving Nuclear Regulatory Effectiveness 2001. (p. 21-27) https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_13572/improving-nuclear-regulatory-effectiveness (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [87] Low level event and near miss process for nuclear power plants: best practices – IAEA Safety Report Series No. 73 https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1545_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)

- [88] Recurring events 1999. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_17334/recurring-events (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [89] Use of a Graded Approach in the Application of the Management System Requirements for Facilities and Activities – IAEA-TECDOC-1740 2014. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1740_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [90] A Paksi Atomerőmű FNU001_M04 számú eljárásrendje 2018.
- [91] Probabilistic risk assessment and risk management of a nuclear power plant – Guide YVL A.7 2019. <https://www.stuklex.fi/en/ohje/YVLA-7> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [92] Evaluation of Uncertainties in Relation to Severe Accident and Level-2 Probabilistic Safety Analysis 2007. Workshop Proceedings, Aix-en-Provence, France, 7-9 November 2005 https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_18438/proceedings-of-the-workshop-on-evaluation-of-uncertainties-in-relation-to-severe-accidents-and-level-2-probabilistic-safety-analysis-aix-en-provence-7-9-november-2005-also-available-at-http-www-oecd-nea-org/nsd/reports/2007/nea6053-uncertainties-html (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [93] Probabilistic Safety Analysis – NUREG/CR-2815 BNL-NUREG-51559 1984. <https://www.nrc.gov/docs/ML0635/ML063550253.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [94] Attributes of full scope level 1 probabilistic safety assessment (PSA) for applications in nuclear power plants – IAEA-TECDOC-1804 2016. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE1804web.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [95] Development and application of level 1 probabilistic safety assessment for nuclear power plants – IAEA Safety Standards Series No. SSG-3 https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1430_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [96] Development and application of level 2 probabilistic safety assessment for nuclear power plants – IAEA Safety Standards Series No. SSG-4 https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1443_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [97] Safety assessment for facilities and activities – IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 4 (Rev. 1) 2016. <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1714web-7976998.pdf> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [98] Deterministic safety analysis for nuclear power plants – IAEA Safety Standards Series No. SSG-2 (Rev. 1) 2016. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/PUB1851_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [99] Deterministic safety analyses for a nuclear power plant – Guide YVL B.3 2019. <https://www.stuklex.fi/en/ohje/YVLB-3> (letöltés: 2020. 10. 31.)

- [100] Operational Limits and Conditions and Operating Procedures for Nuclear Power Plants – IAEA Safety Guide No. NS-G-2.2 2000. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1100_scr.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [101] Események biztonsági értékelése – OAH eljárásrend, 2005.
- [102] Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency – IAEA General Safety Requirements No. GSR Part 7 2015. <https://www.iaea.org/publications/10905/preparedness-and-response-for-a-nuclear-or-radiological-emergency> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [103] Safety Classification of Structures, Systems and Components in Nuclear Power Plants – IAEA Specific Safety Guide No. SSG-30 2014. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1639_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [104] Classification of systems, structures and components of a nuclear facility – Guide YVL B.2 2019. <https://www.stuklex.fi/en/ohje/YVLB-2> (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [105] Atomerőművi rendszerek és rendszerelemek biztonsági osztályba sorolásának alapelvei - 3.1. sz. útmutató 2016. [https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/\\$File/3.1v3.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/$File/3.1v3.pdf) (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [106] Format and content of the safety analysis report for nuclear power plants – IAEA Safety Standards Series No. GS-G-4.1 2004. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1185_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [107] Root Cause Analysis Following an Event at a Nuclear Installation: Reference Manual – IAEA-TECDOC-1756 (p. 63-65) https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1756_web.pdf (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [108] Atomerőmű eseti jelentései – OAH 1. 25 sz. útmutató 2013. [https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/\\$File/1.25v4.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/ACA1C323EB58E62DC1257BE9002CD900/$File/1.25v4.pdf) (letöltés: 2020. 10. 31.)
- [109] S. FREUD: Álomfejtés VII. fejezet (1900)
- [110] S. FREUD: Az ősvilági és az én (1923)
- [111] HULLÁN Sz.: Új atomerőművi blokkok nukleáris biztonsági engedélyezése Nukleon XI. p. évfolyam 2018. http://nuklearis.hu/sites/default/files/nukleon/11_2_214_Hullan.pdf (letöltés: 2020.10.31.)
- [112] HULLÁN Sz.: Safety assessment of events – HÍRVILLÁM = SIGNAL BADGE 2013. http://archiv.hhk.uninke.hu/uploads/media_items/hirvillam-4_-evfolyam-2_-szam.original.pdf (letöltés: 2020.02.15.)

- [113] HULLÁN Sz.: Hatósági biztonságjeljesítmény-értékelés – MAGYAR ENERGETIKA XIV. évfolyam 5. szám 49. oldal 2006.
- [114] HULLÁN Sz.: The Hungarian Emergency Response System – Interdisciplinary Description of Complex Systems: INDECS, 18/3. 2020. https://hrcak.srce.hr/index.php?show=clanak&id_clanak_jezik=355119 (letöltés: 2020.10.31.)
- [115] HULLÁN Sz.: 10 éve történt – A fukushimai baleset tapasztalatai, Biztonságtudományi szemle 2020. II. évf. 4. szám (ISSN 2676-9042) <https://biztonsagtudomanyi.szemle.uni-obuda.hu>

RÖVIDÍTÉSJEGYZÉK

ABOS	Atomerőmű Biztonsági Osztálybesorolása
ALARA	As Low As Reasonably Achievable
ÁOKU	Állapotorientált Kezelési Utasítás
BLÜGY	Blokkügyeletes
BME	Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
DSA	Deterministic Safety Analysis
ENSREG	European Nuclear Safety Regulatory Group
EU	Európai Unió
FKSZ	Főkeringtető Szivattyú
IAEA FINAS	International Atomic Energy Agency Fuel Incident Notification and Analysis System
IAEA INSAG	International Atomic Energy Agency International Nuclear Safety Group
IAEA IRS	International Atomic Energy Agency Incident Reporting System
IAEA IRSRR	International Atomic Energy Agency Incident Reporting System, Research Reactors
IBF	Időszakos Biztonsági felülvizsgálat
INES	International Nuclear Event Scale
KFKI	Központi Fizikai Kutató Intézet
KISUM	Kiemelten Sugárveszélyes Munka
KU	Kezelési Utasítás
LIP	Lépcsőzetes Indítási Próba
MIR	Minőségirányítási Rendszer
MNT	Magyar Nukleáris Társaság
MSSZ	Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzat
MUT	Munkautasítás
MÜSZ	Műszaki Üzemeltetési Szabályzat
MÜÜ	Műszaki Üzemeltetési Utasítás
NAÜ	Nemzetközi Atomenergia Ügynökség
NPP	Nuclear Power Plant

OAB	Országos Atomenergia Bizottság
OAH	Országos Atomenergia Hivatal
OECD NEA	Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency
OECD NEA CNRA	Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency Committee on Nuclear Regulatory Activities
OECD NEA MDEP	Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency Multinational Design Evaluation Programme
OECD NEA WGOE	Organisation for Economic Co-operation and Development Nuclear Energy Agency Working Group on Operating Experience
PAE BIG	Paksi Atomerőmű Biztonsági Igazgatóság
PAE KAIG	Paksi Atomerőmű Karbantartási Igazgatóság
PSA	Probabilistic Safety Analysis
ROP	Reaktoroperátor
SAT	Systematic Approach to Training
SZBV	Szabályzó- és Biztonságvédelmi
TA	Tervezési Alap
TAK	Tervezési Alap Kiterjesztése
TSO	Technical Support Organisation
ÜFK	Üzemeltetési Feltételek és Korlátok
ÜV	Üzemzavari Védelem
VVER (WWER vagy BBEP)	Víz-Víz Energetikai Reaktor Water-Water Energetic reactor Водо-Водяной Энергетический Реактор
ZÜHR	Zóna Üzemzavari Hűtőrendszer

TÁBLÁZATJEGYZÉK

1.1. táblázat: Az atomerőmű teljes tervezési alapja	24. oldal
1.2. táblázat: A mélységi védelem elve	28. oldal
2.1. táblázat: A radioaktív kibocsátás, szennyezés tényező értékelő táblázata	46. oldal
2.2. táblázat: A személyzet dózisterhelése tényező értékelő táblázata	48. oldal
2.3. táblázat: A védelmi működés tényező értékelő táblázata	50. oldal
2.4. táblázat: Az érintett rendszerek ABOS osztálya tényező értékelő táblázata	52. oldal
2.5. táblázat: A zónaolvadási kockázat tényező értékelő táblázata	53. oldal
2.6. táblázat: A MÜSZ betartása tényező értékelő táblázata	55. oldal
2.7. táblázat: A közös okú, modusú tényező értékelő táblázata	57. oldal
2.8. táblázat: Az ismétlődő események tényező értékelő táblázata	58. oldal
2.9. táblázat: A biztonsági funkció degradációja tényező értékelő táblázata	60. oldal
2.10. táblázat: Az adminisztratív okból bekövetkező hiba tényező értékelő táblázata	61. oldal
2.11. táblázat: A tervezési okból bekövetkező hiba tényező értékelő táblázata	63. oldal
2.12. táblázat: A kiinduló/kezdeti esemény tényező értékelő táblázata	64. oldal
2.13.a táblázat: A személyzet tevékenysége tényező értékelő táblázata	66. oldal
2.13.b táblázat: Az emberi hiba okai tényező értékelő táblázata	67. oldal
2.14. táblázat: Az esemény alapvető oka tényező értékelő táblázata	68. oldal
2.15. táblázat: A korábban elvégzett vizsgálatoknál kapott dózisterhelés	76. oldal
2.16. táblázat: Az 1584. számú esemény számszerű értékelése	82÷84. oldal
2.17. táblázat: Az 1162. számú esemény értékelése	89÷90. oldal
3.1. táblázat: A környezeti kibocsátás/szennyezés tényező értékelő táblázata	100. oldal
3.2. táblázat: A személyzet elszennyezése tényező értékelő táblázata	101. oldal
3.3. táblázat: A védelmi működés tényező értékelő táblázata	102. oldal
3.4. táblázat: Az érintett rendszerek biztonsági osztálya tényező értékelő táblázata	104. oldal
3.5. táblázat: A MÜU betartása tényező értékelő táblázata	105. oldal
3.6. táblázat: A közös okú hiba tényező értékelő táblázata	107. oldal
3.7. táblázat: Az ismétlődő események tényező értékelő táblázata	108. oldal
3.8. táblázat: A biztonsági funkció/gát degradációja tényező értékelő táblázata	110. oldal
3.9. táblázat: Az adminisztratív okból bekövetkező hiba tényező értékelő táblázata	111. oldal

3.10. táblázat: A tervezési okból bekövetkező hiba tényező értékelő táblázata	113. oldal
3.11. táblázat: A kiváltó ok jellege tényező értékelő táblázata	114. oldal
3.12.a táblázat: A személyzet tevékenysége tényező értékelő táblázata	115. oldal
3.12.b táblázat: Az emberi hiba oka tényező értékelő táblázata	116. oldal
3.13. táblázat: Az esemény okai tényező értékelő táblázata	117. oldal

ÁBRAJEGYZÉK

2.1. ábra: Az eseményértékelés folyamata	35. oldal
2.2 ábra: Az esemény biztonsági súlyát befolyásoló tulajdonságok, tényezők áttekintő táblázata	43. oldal
2.3. ábra: Az érzékelők felhelyezése teleszkópos manipulátorral	72. oldal
2.4. ábra: A munkavállaló dózisterhelése az idő függvényében	75. oldal
2.5. ábra: Események biztonsági súlya a pontértékek alapján 2005-2017.	91. oldal
3.1. ábra: Az általánosított tényezők összefoglalása	97. oldal

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném a hálámat kifejezni mindenkinek, aki segítette a munkámat.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek Prof. Dr. Kovács Tibornak szakmai támogatásáért és értekezésem elkészítésében nyújtott folyamatos és áldozatos segítségéért.

Meg kell köszönnöm a munkatársaimnak a munkájukat, hiszen ez az egész rendszer csak akkor lehet egy jól működő hatósági folyamat, ha mindenki teszi a rá osztott feladatát lelkiismeretesen, szakértelemmel.

Köszönetet szeretnék mondani Édesanyámnak, aki támogatott, bíztatott, s ha kellett tevőlegesen is segített.

Végül, de nem utolsó sorban szeretném megköszönni Családomnak a végtelen türelmüket és támogatásukat, de különösen szeretném megköszönni Feleségemnek az ösztönzést és a végtelen, türelmes szeretetet.