

# **PhD értekezés**

**Barina Balázs József**

**NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM  
HADTUDOMÁNYI ÉS HONVÉDTISZTKÉPZŐ KAR  
KATONAI MŰSZAKI DOKTORI ISKOLA**

**Barina Balázs József**

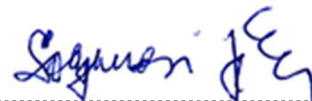
**Vegyi és radiológiai baleset-elhárítási  
eljárások, módszerek és eszközök kutatása-  
fejlesztése, különös tekintettel az  
atomerőművek biztonságára**

**Doktori (PhD) Értekezés**

**Tudományos témavezetők:**



.....  
**Témavezető:  
Dr. Dobor József,  
egyetemi docens**



.....  
**Társ témavezető:  
Prof. em. Dr. Solymosi  
József, egyetemi tanár**

**BUDAPEST, 2026.**

# TARTALOMJEGYZÉK

<b>1.</b>	<b>BEVEZETÉS</b> .....	<b>7</b>
1.1.	TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA .....	7
1.2.	TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA .....	8
1.3.	A KUTATÓMUNKA AKTUALITÁSA .....	10
1.4.	KUTATÁSI HIPOTÉZISEK .....	12
1.5.	KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK .....	13
1.6.	KUTATÁSI MÓDSZEREK .....	14
1.7.	RELEVÁNS SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE .....	16
1.8.	A FELHASZNÁLT IRODALOM ÖSSZEFÜGGÉSEI ÉS ILLESZKEDÉSE A KUTATOTT TÉMÁHOZ .....	28
<b>2.</b>	<b>ATOMERŐMŰVEK TECHNOLÓGIAI ÉS BALESETELHÁRÍTÁSI ISMERETEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA</b> .	<b>30</b>
2.1.	A FEJEZET BEVEZETÉSE ÉS A HOZZÁTARTOZÓ Tudományos Probléma .....	30
2.2.	A NUKLEÁRIS ENERGIA-TERMELÉS .....	32
2.2.1.	NUKLEÁRIS REAKTOROK OSZTÁLYOZÁSA .....	33
2.2.2.	ENERGIATERMELŐ ERŐMŰVI REAKTOROK .....	35
2.2.3.	FOLYADÉK MODERÁTOROS REAKTOROK .....	35
2.3.	ATOMERŐMŰVI GENERÁCIÓK .....	37
2.3.1.	ELSŐ GENERÁCIÓS ATOMERŐMŰVEK .....	37
2.3.2.	MÁSODIK GENERÁCIÓS ATOMERŐMŰVEK .....	38
2.3.3.	HARMADIK GENERÁCIÓS ATOMERŐMŰVEK .....	39
2.3.4.	NEGYEDIK GENERÁCIÓS ATOMERŐMŰVEK .....	39
2.4.	A PAKSI ATOMERŐMŰ .....	40
2.4.1.	A PAKSI ATOMERŐMŰBEN ÜZEMELŐ REAKTOROK .....	40
2.4.2.	A PRIMERKÖR RENDSZEREINEK ISMERTETÉSE .....	42
2.4.3.	A SZEKUNDER KÖR BEMUTATÁSA .....	43
2.5.	PAKS II ATOMERŐMŰ .....	45
2.6.	NUKLEÁRIS REAKTOROK BIZTONSÁGA ÉS A HOZZÁ KAPCSOLÓDÓ KATASZTRÓFAVÉDELMI FELADATOK .....	47
2.6.1.	AZ ATOMERŐMŰVI ÜZEMELTETÉS BIZTONSÁGI FILOZÓFIÁJA .....	47
2.7.	ÜZEMZAVAROKKAL KAPCSOLATOS BIZTONSÁGI MEGFONTOLÁSOK .....	49
2.7.1.	LÉPCSŐZETES INDÍTÁS PROGRAMJA .....	50
2.7.2.	KISNYOMÁSÚ ZŰHR .....	52
2.7.3.	NAGYNYOMÁSÚ ZŰHR .....	53
2.7.4.	PASSZÍV ZŰHR RENDSZER .....	54
2.7.5.	KONDEZÁTOR HŰTŐVÍZ RENDSZER .....	54
2.7.6.	ÜZEMI TÁPVÍZ RENDSZER .....	55
2.7.7.	SÓTALANVÍZ RENDSZER .....	56
2.7.8.	A LEHŰTŐ RENDSZER .....	57

2.7.9.	ÜZEMZAVARI TÁPVÍZRENDSZER .....	57
2.7.10.	KIEGÉSZÍTŐ ÜZEMZAVARI TÁPVÍZRENDSZER .....	58
2.7.11.	BIZTONSÁGI HŰTŐVÍZ RENDSZER.....	59
2.7.12.	FŐVÍZKÖRI RENDSZER.....	61
2.7.13.	A FŐVÍZKÖR FŐBERENDEZÉSEI:.....	61
2.7.14.	TÉRFOGATKIEGYENLÍTŐ RENDSZER .....	62
2.7.15.	LOKALIZÁCIÓS TORONY RENDSZERE.....	63
2.7.16.	A SPRINKLER RENDSZER .....	65
2.8.	A SÚLYOS BALESETKEZELÉS RENDSZEREI .....	66
2.8.1.	HIDROGÉNREKOMBINÁTOR RENDSZER .....	66
2.8.2.	PIHENTETŐ MEDENCE LEÜRÜLÉS ÉS HŰTŐKÖR ÜZEMKÉPTELENSÉG MEGAKADÁLYOZÁSA..	67
2.8.3.	ÖSSZEFOGLALÓ AZ ATOMERŐMŰVEK BEAVATKOZÓ TŰZVÉDELMEKRŐL .....	67
2.9.	FEJEZETI KÖVETKEZTETÉSEK .....	80
<b>3.</b>	<b>NUKLEÁRIS ÉS RADIOLÓGIAI KÁRESETEK TAPASZTALATAI.....</b>	<b>83</b>
3.1.	A FEJEZET BEVEZETÉSE ÉS A HOZZÁTARTOZÓ TUDOMÁNYOS PROBLÉMA.....	83
3.2.	ATOMERŐMŰVI KÁRESEMÉNYEK VIZSGÁLATA.....	85
3.3.	A CSERNOBILI IV-ES REAKTOR BALESETE .....	88
3.4.	A TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁS ÉRTÉKELÉSE .....	90
3.4.1.	CSEBNOBIL HATÁSAI .....	92
3.5.	FUKUSIMAI ATOMERŐMŰVI BALESET .....	93
3.6.	A NUKLEÁRIS BALESET.....	94
3.6.1.	KÖVETKEZMÉNYEK .....	95
3.7.	A TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁS .....	96
3.7.1.	A SÚLYOSBALESET-KEZELÉS .....	100
3.8.	FEJEZETI KÖVETKEZTETÉSEK .....	101
<b>4.</b>	<b>NEMZETKÖZI ÉS HAZAI NUKLEÁRIS ÉS RADIOLÓGIAI ESEMÉNYSOROK OSZTÁLYOZÁSA.....</b>	<b>103</b>
4.1.	A FEJEZET BEVEZETÉSE ÉS A HOZZÁ TARTOZÓ TUDOMÁNYOS PROBLÉMA.....	103
4.2.	A NEMZETKÖZI ATOMENERGIA ÜGYNÖKSÉG INESOSZTÁLYAI .....	106
4.3.	AZ IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSOK TÍPUSAI .....	107
4.4.	A SUGÁRZÁSOK EGÉSZSÉGGÁROSÍTÓ HATÁSA.....	108
4.4.1.	A SUGÁRZÁS DETERMINISZTIKUS ÉS SZTOCHASZTIKUS HATÁSAI.....	110
4.5.	SUGÁRTERHELÉS FŐBB FORRÁSAI ÉS AZ ELLENÜK VALÓ VÉDEKEZÉS.....	112
4.6.	A SUGÁRTERHELÉS ELLENI VÉDEKEZÉS LEHETŐSÉGEI.....	113
4.7.	ZÁRT RADIOAKTÍV SUGÁRFORRÁS FELISMERÉSE.....	114
<b>5.</b>	<b>A TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁS VIZSGÁLATA SUGÁRVESZÉLYES KÖRNYEZETBEN.....</b>	<b>115</b>
5.1.	AZ ELSŐ BEAVATKOZÓK HELYZETE.....	115
5.2.	ÁLTALÁNOS VESZÉLYEK TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁSOK SORÁN.....	115
5.2.1.	HŐTERHELÉSBŐL FAKADÓ VESZÉLYEK.....	116

5.2.2.	FÜST ÉS MÉRGEZŐ ÉGÉSTERMÉKEK .....	116
5.2.3.	SZERKEZETI ÉS MECHANIKAI VESZÉLYEK .....	116
5.2.4.	ELEKTROMOS VESZÉLYEK .....	117
5.2.5.	ROBBANÁSVESZÉLY .....	117
5.2.6.	KÖRNYEZETI ÉS METEOROLÓGIAI TÉNYEZŐK .....	117
5.2.7.	PSZICHÉS ÉS FIZIOLÓGIAI TERHELÉS .....	118
5.3.	KÜLÖNLEGES VESZÉLYEK .....	118
5.3.1.	VESZÉLYES ANYAGOK JELENLÉTE .....	118
5.3.2.	RADIOLÓGIAI VESZÉLYHELYZETEK .....	118
5.3.3.	A BEAVATKOZÁS LEGFONTOSABB CÉLJAI .....	119
5.3.4.	BEAVATKOZÁS SZERVEZÉSE .....	120
5.4.	A BEAVATKOZÁS .....	120
5.4.1.	FELDERÍTÉS, KÁRFELSZÁMOLÁS ELŐKÉSZÍTÉSE .....	122
5.4.2.	ÉLETMENTÉS .....	123
5.5.	A KÁRELHÁRÍTÁS FOLYAMATA RADIOLÓGIAI VESZÉLYHELYZET ESETÉN .....	124
5.6.	A KÁRFELSZÁMOLÁS .....	125
5.7.	BEAVATKOZÓK BIZTONSÁGA .....	126
5.8.	A BEAVATKOZÓK DÓZISTERHELÉSÉNEK MÉRÉSE .....	129
5.9.	VESZÉLYHELYZETI EGÉSZSÉGÜGYI ELLÁTÁS .....	134
5.10.	FEJEZETI KÖVETKEZTETÉSEK .....	136
<b>6.</b>	<b>NUKLEÁRIS LÉTÉSÍTMÉNYEKBE KIALAKULÓ SÚLYOS BALESETEK .....</b>	<b>139</b>
6.1.	A FEJEZET BEVEZETÉSE ÉS A HOZZÁ KAPCSOLÓDÓ TUDOMÁNYOS PROBLÉMA .....	139
6.2.	SÚLYOS BALESETEK KIALAKULÁSÁNAK ALAPVETŐ LEHETŐSÉGEI .....	142
6.2.1.	HŰTÉS ELVESZTÉSE (LOSS OF COOLING / LOCA) .....	142
6.2.2.	TELJES ÁRAMELLÁTÁS KIESÉS (STATION BLACKOUT – SBO) .....	142
6.2.3.	REAKTIVITÁS SZABÁLYOZÁSI ZAVAROK .....	143
6.2.4.	HIDROGÉNKÉPZŐDÉS ÉS ROBBANÁS .....	143
6.2.5.	KONTÉNMENTSÉRÜLÉSE .....	143
6.2.6.	KÜLSŐ ESEMÉNYEK HATÁSA .....	143
6.3.	NUKLEÁRIS BALESETEK MEGELŐZÉSE ÉS KEZELÉSE .....	145
6.4.	A SÚLYOS BALESETEK KEZELÉSÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK .....	146
6.5.	A SÚLYOS BALESETKEZELÉS JELENLEG .....	148
6.5.1.	A KIEGÉSZÍTŐ ÜZEMZAVARI TÁPVÍZRENDSZER ÉS KÜLSŐ HŰTŐKÖZEG-BETÁPLÁLÁS KAPCSOLATA .....	151
6.5.2.	A TŰZOLTÓ GYAKORLAT VÉGREHAJTÁSA PÓTVÍZ BETÁPLÁLÁS .....	151
6.5.3.	GYAKORLATOK VÉGREHAJTÁSA SORÁN TAPASZTALT NEHÉZSÉGEK .....	153
6.6.	SÚLYOSBALESET-KEZELÉS ÉS AZ ELSŐ BEAVATKOZÁS KAPCSOLATA .....	154
6.7.	A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A SÚLYOS BALESETKEZELÉSRE ÉS AZ ELSŐDLEGES BEAVATKOZÁSRA .....	156
6.7.1.	AZ ELVÉGZETT VIZSGÁLAT LÉPÉSEI: .....	159

6.7.2.	MAGYARORSZÁGI ALKALMAZHATÓSÁG .....	160
6.7.3.	KLÍMAVÁLTOZÁS VÁRHATÓ HATÁSAI PAKS I–II TÉRSÉGE.....	161
6.8.	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS.....	162
6.8.1.	HŐMÉRSÉKLETI TRENDEK ÉRTÉKELÉSE .....	162
6.8.2.	CSAPADÉKVISZONYOK ÉS ASZÁLYHAJLAM.....	163
6.8.3.	HIDROLÓGIAI SZÉLSŐSÉGEK (ÁRHULLÁMOK ÉS VILLÁMÁRVIZEK).....	163
6.8.4.	KOMPLEX HATÁSOK ÉS KÖLCSÖNHATÁSOK .....	163
6.8.5.	BEAVATKOZÁS TAKTIKAI ÉS BIZTONSÁGI KÖVETKEZMÉNYEK.....	164
6.9.	A SÚLYOS BALESETKEZELÉS FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI .....	166
6.10.	FEJEZETI KÖVETKEZTETÉSEK .....	168
<b>7.</b>	<b>ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK .....</b>	<b>170</b>
<b>8.</b>	<b>ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....</b>	<b>174</b>
<b>9.</b>	<b>A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA .....</b>	<b>176</b>
<b>10.</b>	<b>AJÁNLÁSOK .....</b>	<b>177</b>
10.1.	INTEGRÁLT TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁSI MODELL .....	180
10.2.	JAVASLAT AZ ELSŐ BEAVATKOZÓI KAPACITÁSOK, SPECIÁLIS MŰSZAKI KÉPESSÉGEK FEJLESZTÉSÉRE .....	182
10.3.	MODULÁRIS TÁVOLSÁGI VÍZSZÁLLÍTÓ RENDSZER .....	184
<b>11.</b>	<b>HIVATKOZOTT IRODALOM.....</b>	<b>186</b>
<b>12.</b>	<b>PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK.....</b>	<b>196</b>
<b>13.</b>	<b>MELLÉKLETEK.....</b>	<b>199</b>
13.1.	ÁBRAJEGYZÉK.....	199
13.2.	KOHÉZIÓS TÁBLÁZAT .....	201

# 1. BEVEZETÉS

## 1.1. TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA

A radiológiai és nukleáris balesetek kezelése speciális felkészültséget, komplex eszközrendszert és jól kidolgozott beavatkozási eljárásokat igényel. Az atomerőművek működése során bár a biztonsági rendszerek magas szintű védelmet biztosítanak, a súlyos balesetek lehetősége teljes mértékben nem zárható ki. A témaválasztást indokolja, hogy a sugárveszélyes események kezelése jelentősen eltér a hagyományos tűzoltási és műszaki mentési feladatoktól, mivel az ionizáló sugárzás közvetlenül nem érzékelhető az emberi érzékszervek számára, ezért a biztonsági és döntéshozatali protokollok folyamatos fejlesztése és következetes alkalmazása kiemelt jelentőségű. A témaválasztás megalapozottságát erősíti a szerző több mint 16 éves atomerőművi tűzoltói tapasztalata, valamint 8 éves szerparancsnoki gyakorlata, amely során közvetlen tapasztalatot szerzett sugárveszélyes környezetben végzett beavatkozásokban, összetett, több szervezet együttműködését igénylő káresemények felszámolásában, valamint a speciális beavatkozó eszközök és eljárások alkalmazásában. A gyakorlati tapasztalatok rámutattak arra, hogy a jelenlegi rendszerek bár magas szintű biztonságot nyújtanak további fejlesztést igényelnek, különösen a súlyos balesetek kezelésének, a gyors reagálásnak és az integrált beavatkozásnak a területén.

A téma aktualitását tovább növeli a Paks II Atomerőmű építése, amely új kihívásokat és követelményeket támaszt a nukleáris létesítmények védelmével és a beavatkozási rendszerek fejlesztésével szemben. Az új blokkok üzembe helyezése szükségessé teszi a beavatkozási eljárások korszerűsítését, a technikai eszközök és eszközrendszer fejlesztését, valamint a képzési és felkészítési rendszerek megújítását, új felkészülési szempontok figyelembevételével. A nemzetközi tapasztalatok (pl. Csernobil, Fukushima) szintén megerősítik, hogy a súlyos nukleáris események kezelése során a gyors, jól koordinált és technológiailag támogatott beavatkozás kulcsfontosságú. A témaválasztás nemcsak elméleti, hanem gyakorlati tapasztalatokon alapuló, aktuális és stratégiai jelentőségű, amely közvetlenül hozzájárulhat a kritikus infrastruktúrák védelméhez és a nukleáris biztonság további erősítéséhez.

## 1.2. TUDOMÁNYOS PROBLÉMA MEGFOGALMAZÁSA

A modern társadalmak működése napjainkban elképzelhetetlen a villamosenergia-ellátás nélkül, amely a kényelmi szolgáltatások, elektronikai rendszerek és digitális infrastruktúrák alapját képezi. Az elektromos energiatermelés rendkívül változatos módon történhet, naperőművek, biogáz erőművek, szélenergia-erőművek, geotermikus erőművek (megújuló energiaforrást hasznosító erőművek), szénenergia-erőművek, gázturbinás erőművek (földgáz és kőolaj), (fosszilis alapú erőművek), vízenergia-erőművek és nukleáris erőművek segítségével.

A világ országaiban termelt villamos energiát 2017-ben a World Nuclear Association (Nukleáris Világszövetség) [1] adatai alapján mintegy 25721 TWh<sup>1</sup>- át a következő megoszlásban állították elő:

- 38,3 %-át szénenergia-erőművekben
- 22,9 %-át gázturbinás erőművekben
- 16,3 %-át vízenergia-erőművekben
- 10,2 %-át atomenergia-erőművekben
- 6,6 %-át megújuló energiaforrások
- 3,3 %-át kőolaj
- 2,3 %-át egyéb villamos energiatermelési módok felhasználásával.

Hazánk villamos energiatermelése elsődlegesen nukleáris energiára épül, ezt követi a földgáz, a szén és végül a megújuló energiaforrások felhasználása.

Nemzetközi Energiaügynökség (IEA) vizsgálatai alapján az elektromos áram iránti igény az OECD tagországokban éves szinten 1%-kal, míg a tagsággal nem rendelkező országokban 2,3%-kal, világszinten pedig 2,1%-kal fog nőni éves szinten 2040-ig [2].

A Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zártkörűen Működő Részvénytársaság (MAVIR) adatai szerint a 2015-ös évben rekord magasságba emelkedett a villamos energia importálása és a Paksi Atomerőmű által termelt energia aránya a hazai össztermelésben.

---

<sup>1</sup> TWh: jelentése terawatt óra

2018-ban a bruttó áramfelhasználás 31,59 százaléka külföldi termelésből, 34,64 százaléka pedig atomenergiából származott, a paksi erőmű állította elő a hazai elektromos energiatermelés 50,64 százalékát [3].

A növekvő energiaszükséglet kielégítésére, valamint az elöregedő fosszilis villamos erőművek kieső termelésének kiváltására hazánk a működő paksi négy darab, egységenként 500 MW kapacitású reaktorblokkon felül két további blokk kivitelezését tervezi, összesen 2400 MW-os teljesítménnyel [4].

A folyamatban lévő jelentős energetikai beruházás nem csak a kivitelezőket, hanem a tűzvédelemért felelős szakértőket is színvonalas munkára ösztönzi tűzmelegelőzési és beavatkozási területen is.

Az atomerőművek tervezésénél, létesítésénél és üzemeltetésénél a biztonság az elsődleges szempont, mivel az atomenergia békés célú felhasználásának évtizedei során megfelelő mennyiségű tapasztalat halmozódott fel mind megelőzési és beavatkozási területen is. A nukleáris energiatermelés képes megfelelő biztonsági szinten kiszolgálni a folyamatosan növekvő ipari és lakossági villamos energia igényeket.

Mind a megelőzés, mind az elsődleges beavatkozás területén azonban fel kell készülnünk, olyan alapvetően váratlan és összetett eseménysorok bekövetkezésére, melyek alapjaiban veszélyeztetik hazánk villamos energia ellátását és a nukleáris biztonságot.

Kutatási témám aktualitását a jelenleg is működő paksi négy atomerőművi blokk, melyek működési engedélye 2032 és 2037 között jár le és további üzemidő hosszabbítás várható, valamint a kivitelezés fázisába lépett Paks II atomerőmű építése adja [5]. A meglévő és a következő évtizedben megépülő atomerőmű tűz és balesetvédelme jelentős kihívásokat támaszt a katasztrófavédelem országos, területi és helyi szervei számára, a területi és a helyi szerveket, valamint az elsődleges beavatkozást végző szervezetet. A kivitelezés biztosításával párhuzamosan fel kell készülnünk az iparbiztonsági szempontból kiemelten kezelendő erőművek működésére, az egyes technológiai veszélyforrások feltárására, az esetleges károsító hatások csökkentésére, valamint a beavatkozók módszereinek, eszközeinek, beavatkozási képességeinek fejlesztésére. Mindez szükségessé teszi a megváltozott és fokozott igénybevételekre történő felkészülést.

### 1.3. A KUTATÓMUNKA AKTUALITÁSA

A radiológiai és nukleáris baleset-elhárítási eljárások, módszerek és eszközök fejlesztése napjainkban kiemelt jelentőségű, amelyet a nukleáris energia szerepének felértékelődése, valamint a technológiai és környezeti kihívások együttesen indokolnak. Magyarországon különösen aktuálissá teszi a témát a nukleáris infrastruktúra egyidejű fejlesztése és üzemidő-hosszabbítása, egyrészt a Paks II Atomerőmű építése, másrészt a Paksi Atomerőmű (Paks I) üzemidő-hosszabbítása. Ez a kettősség olyan helyzetet eredményez, amelyben a nukleáris infrastruktúra egyszerre bővül és öregedő technológiai elemeket is magában foglal, mely komplex biztonsági és beavatkozási kihívásokat eredményez. Az új blokkok létesítése korszerű, nagy teljesítményű technológiák alkalmazását jelenti, amelyekhez új típusú kockázatok és eltérő beavatkozási igények kapcsolódnak. Ugyanakkor az üzemidő-hosszabbításon áteső blokkok esetében a berendezések öregedése, az anyagfáradás és az esetleges meghibásodások kockázata fokozott figyelmet igényel. E két folyamat egyidejű jelenléte szükségessé teszi a beavatkozási rendszerek folyamatos felülvizsgálatát és fejlesztését annak érdekében, hogy azok képesek legyenek kezelni a különböző technológiai szintekből fakadó veszélyeket.

A kutatómunka aktualitását tovább erősíti a nukleáris biztonság kiemelt szerepe a kritikus infrastruktúrák védelmében. A globális energiapiaci folyamatok, valamint az energiafüggőség csökkentésére irányuló törekvések következtében az atomerőművek stratégiai jelentősége növekszik. Ezzel párhuzamosan az elektromos energia iránti igény folyamatosan emelkedik, amely hosszú távon elengedhetetlenné teszi a nukleáris kapacitások fenntartását és bővítését. Mindez fokozza annak jelentőségét, hogy egy esetleges rendkívüli esemény során a beavatkozás gyors, hatékony és biztonságos legyen. A radiológiai és nukleáris események sajátossága, hogy a veszélyforrás sok esetben közvetlen emberi érzékeléssel nem azonosítható, miközben súlyos egészségügyi és környezeti következményekkel járhat. Ez alapvetően eltér a hagyományos káresetektől, és speciális megközelítést igényel mind a felkészülés, mind a beavatkozás során.

A beavatkozók védelme, a sugárterhelés minimalizálása, valamint a döntéshozatal időkritikus jellege és komplexitása olyan tényezők, amelyek indokolják a korszerű eljárások és technológiák fejlesztését.

A nemzetközi tapasztalatok különösen a súlyos nukleáris események rávilágítottak arra, hogy a hagyományos beavatkozási modellek önmagukban nem minden esetben elegendőek, és szükség van az integrált, több szakterületet összekapcsoló megoldásokra. Ennek megfelelően a kutatás célja olyan komplex beavatkozási rendszerek vizsgálata és fejlesztése, amelyek figyelembe veszik a modern nukleáris létesítmények működési sajátosságait, valamint a változó környezeti és technológiai feltételeket.

Összességében a kutatómunka aktualitását a nukleáris energia növekvő szerepe, a hazai atomerőművi infrastruktúra egyidejű bővülése és öregedése, valamint a biztonság iránti fokozott társadalmi és szakmai elvárások együttesen határozzák meg. A vizsgált téma közvetlenül hozzájárul a nukleáris biztonság erősítéséhez, a beavatkozási képességek fejlesztéséhez, valamint a kritikus infrastruktúrák védelmének magasabb szintre emeléséhez.

## 1.4. KUTATÁSI HIPOTÉZISEK

- Feltételezem, hogy az elmúlt évtizedek nukleáris és radiológiai káreseményeinek vizsgálati tapasztalatai nem kerültek egységes, beavatkozás-taktikai szemléletű rendszerbe foglalásra, különös tekintettel az első beavatkozók döntéstámogatására.
  
- Feltételezem, hogy a nukleáris eredetű káresemények lefolyása tipizálható eseménysorokra bontható, és ezekhez rendelhető standardizálható beavatkozási követelmények (személyi, műszaki és szervezési feltételek).
  
- Feltételezem, hogy a nukleáris és radiológiai eseményeknél az első beavatkozás hatékonysága közvetlen összefüggésben áll a békeidőben kialakított speciális kapacitásokkal és a rendelkezésre álló veszélyhelyzeti tartalékokkal.
  
- Feltételezem, hogy egy integrált, tipizált beavatkozási modell alkalmazásával csökkenthető a beavatkozók sugárterhelése és növelhető a műveleti hatékonyság.

## 1.5. KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

A fenti hipotézisek igazolása vagy elvetése érdekében kutatási célként tűztem ki az alábbiakat:

- A hazai és nemzetközi nukleáris, valamint radiológiai vonatkozású káresemények vizsgálati tapasztalatainak feldolgozása alapján azon hiányosságok és fejlesztési irányok azonosítása, amelyek a beavatkozási tevékenység szabályozásának és eszközrendszerének továbbfejlesztését indokolják.
  
- A radiológiai és nukleáris események elemzése alapján tipizált eseménymodellek kialakítása, valamint ezekhez kapcsolódóan a beavatkozáshoz szükséges személyi, műszaki és szervezési feltételrendszer meghatározása és rendszerbe foglalása.
  
- A nukleáris létesítmények beavatkozási gyakorlatának, valamint biztonsági és kockázatértékelési módszereinek vizsgálata és összehasonlítása alapján egy integrált, döntéstámogató és beavatkozást segítő modell kidolgozása.

## 1.6. KUTATÁSI MÓDSZEREK

A kutatás során, a kutatási célkitűzések teljesítése érdekében az alábbi kutatási módszereket kívánom alkalmazni:

### 1. Általános tudományos módszerek:

- az összehasonlító elemzés módszere,
- az általánosítás és absztrakció,
- valamint a kronologikus vizsgálat, amelyek lehetővé teszik a nukleáris és nukleáris és radiológiai események fejlődési tendenciáinak és összefüggéseinek feltárását.

### 2. Elemző–logikai módszer:

- a hazai és nemzetközi szabályozási környezet elemzésére,
- a meglévő beavatkozási rendszerek értékelésére, amelyek alapján amely lehetővé teszi következtetések levonását és fejlesztési javaslatok megfogalmazását.

### 3. Szakirodalmi és jogszabályi kutatás:

- nemzetközi és hazai dokumentumok feldolgozását,
- tudományos publikációk, jelentések és ajánlások elemzését, ez alapján történik a jelenlegi tudásállapot feltérképezése és hiányosságok azonosítása.

### 4. Esettanulmány-alapú és komparatív elemzés:

- hazai és nemzetközi nukleáris és radiológiai káresemények kerülnek feldolgozásra,
- azok strukturált összehasonlító elemzése történik, mely alapján meghatározhatóvá válnak a tipizálható eseménysorok.

### 5. Empirikus kutatás:

- a szerző szakterületen szerzett gyakorlati tapasztalata,
- valamint strukturált szakmai interjúk és konzultációk, ezáltal elérhető a gyakorlati validáció és a valós beavatkozási tapasztalatok beépítése.

6. Nemzetközi és hazai gyakorlat összehasonlítása:

- külföldi beavatkozási módszerek és eszközök vizsgálata,
- azok hazai alkalmazhatóságának értékelésére, adaptálható jó gyakorlatok feltárása és a hazai beavatkozási környezetbe való átültetése.

7. Tudományos validáció és disszemináció

- A kutatás részeredményei tudományos publikációkban,
- konferenciákon és szakmai fórumokon kerülnek bemutatásra, amely biztosítja az eredmények szakmai visszacsatolását és validációját.

## 1.7. RELEVÁNS SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE

**Dobor József, Kossa György; Pátzay György: Atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai I.**

A szerzők célja a cikksorozattal ismertetni az elmúlt évtizedek legjelentősebb nukleáris baleseteit, okait és tanulságait.

A szerzőtrío szerint a nukleáris energia jelentősége hazánkban számottevő, Magyarország energiastatégijának egyik alappillére. Nemzetközi értékelések alapján kevésbé veszélyes, mint a fosszilis energiahordozók használatát kísérő veszélyek. A jelentős társadalmi előítélet az elmúlt évtizedekben bekövetkezett káreseményeknek tulajdonítható. Az ismertetett balesetek minden esetben műszaki-tervezési hiányosságok következményei és emberi hibákkal - tényezőkkel képeznek direkt kapcsolatot. A cikk kitér arra, hogy minden káresemény több, sokszor egymástól független hiba következményeként alakul ki. Röviden összefoglalják az eddig bekövetkezett négy legsúlyosabb atomerőművi baleset eseményeit, tanulságait és a levonható következtetéseket [6].

A szerzők tárgyalják a hármas biztonság elvét, miszerint:

- Maximális biztonságot terveznek normál üzemre és maximális tűrés képességet rendszerhibák esetére
- Feltételezik, hogy a gondos tervezés, konstrukció és üzemeltetés ellenére káresemények és téves műveletek is előfordulhatnak.
- További biztonsági rendszereket alkalmaznak, hipotetikus üzemzavarok és balesetek hatásainak kezelésére, feltételezve, hogy egyes biztonsági védelmi rendszerek egy baleset során károsodhatnak

A szerzők meghatározzák a tipikus nukleáris baleseti csoportokat, melyek reaktivitási balesetek, hűtési elégtelenség, baleset üzemanyag manipuláció és a telephelyre vonatkozó balesetek. Részletesen tárgyalják a 1957-ben az angliai windsaclei atomerőműben bekövetkezett esemény kiváltóokait és következményeit. Kiváltóoka az úgynevezett Wigner-effektus, mely a grafit moderátorban felgyülemlt hőmennyiség hatására végbemenő öngerjesztő folyamat.

Ennek elhárítására végzett hőfelszabadítást nem megfelelő rendszerességgel és körültekintéssel végezték, minek hatására a reaktor túlmelegedett és a moderátor tüzet fogott. A tűz oltására végzett széndioxidos elárasztás hatástalan volt, végül a reaktor vízzel való oltása vezetett eredményre és a lakosság sugárterhelése a megtett hatósági intézkedések következtében határérték alatt maradt [6].

A cikkben részletesen bemutatják és elemzik az 1978-ban a Three Mile Island atomerőmű balesetét, mely INES 5-ös besorolást kapott.

Ismertetik a baleset időrendjét és lefolyását:

- Turbina kiesés (0-6 perc)
- Veszteség a primerköri hűtőközegben (6-20 perc)
- Kiterjedt nyomáscsökkenés (6-11 óra)
- Nyomáscsökkentés és a stabil hűtés helyreállítása (13-16. óra)
- A hidrogén-buborék eltávolítása (1-8 nap)

A baleset kiindulópontja szerzők által feldolgozott információk alapján a segéd-tápvízrendszer tolózárjainak meghibásodása, melyek karbantartást követően zárt állásban maradtak.

Így az üzemi tápvízszivattyúk leállítását követően beinduló segéd-tápvízrendszer által szállított közeg nem jutott a hőcserélőbe, így megnőtt a primerköri nyomás és gőzfejlesztő lefúvató szelepe kinyitott. A primerköri nyomáscsökkenés hatására a szelepnek zárnia kellett volna, de sajnos nyitott állapotban maradt, ezért folyamatosan folyt el a primerköri hűtővíz. A hűtés hosszan tartó kiesése hidrogén keletkezését okozta, mely robbanásokhoz vezetett a konténmentben, majd a fűtőanyag megolvadásához vezetett. Értékelik a szakszemélyzet intézkedéseit és bemutatják a baleset következményeit. A szerzők a rendelkezésre álló adatok alapján megállapítják, hogy a baleset következtében a környező lakosságra gyakorolt radioaktív sugárhatás elhanyagolható volt.

A szerzők levonják a baleset tanulságait, következtetéseik szerint a baleset nem következett volna be, ha konstrukciós hiba miatt a lefúvató szelep nem lett volna hajlamos fennakadásra, vagy ha a Davis-Besse erőműben történtek tanulságait figyelembe veszik.

A baleset elkerülhető lett volna akkor is, ha az operátorok megbízható adatokat kapnak a reaktorban lévő víz mennyiségéről és ennek alapján helyesen értékelik a kialakult helyzetet [6].

A cikk komoly segítséget nyújt a kutatásomhoz elengedhetetlen atomerőművi üzemzavarok és balesetek elemzéséhez. Egy hasonló primerköri hűtőközegvesztéssel járó baleset következményeinek enyhítéséhez tűzoltói szakfelszerelésekkel végrehajtott beavatkozással nagymértékben hozzá tudnánk járulni, mivel a Paks 1 atomerőmű hűtőközeg betáplálási pontokkal rendelkezik mindkét kiépítésén.

### **Dobor József, Kossa György; Pátzay György: Atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai II.**

A szerzők célja a cikksorozattal ismertetni az elmúlt évtizedek legjelentősebb nukleáris baleseteit, okait és tanulságait. Az I. részében az általános alapelvek után tárgyalták a windscalei és a Three Mile Island-i atomerőművi baleseteit azok következményeit és tanulságait, a II. részben a Csernobili és a Fukushimai súlyos atomerőművi baleseteket veszik sorra. A Csernobili atomerőmű esetében bemutatják a reaktort, elemzik a konstrukció előnyeit és hátrányait is. A tulajdonságok közül a negatívak igen jelentősök, nagyobb mennyiségű éghető anyagot tartalmazott a többi reaktortípusnál, 1661 db nyomás alatti forralócsöve a meghibásodásokra igen érzékeny volt, víz bejutása esetén a forró grafit hidrogén gázt fejleszthetett. A legfontosabb, hogy "pozitív visszacsatolása" miatt könnyebben megszaladhatott a teljesítménye, mint a korban használt többi reaktortípusé, a víz és a grafit jelenléte miatt alacsony teljesítményen az úgynevezett pozitív üregtényezői hatás következtében labilis volt. Nem rendelkezett biztonsági épülettel, hermetikus térrel [7].

A szerzők pontosan bemutatják a baleset lefolyását és elemzik a hozzá vezető okokat. A reaktor teljesítményét a biztonságos szint alá csökkentették, az automatikus védelmet kikapcsolták, a szabályozó rudakat felső állásba mozgatták és csökkentették a hűtővíz áramlási sebességét. A turbina leállítását követően a hűtővíz mennyisége tovább csökkent és a labilis állapotban lévő reaktor teljesítménye megszaladt. Az operátor vészleállítást kísérelt meg, de a biztonsági és szabályozó rudak a hő hatására károsult szerkezetben már nem tudtak belépni az aktív zónába.

A reaktor hőteljesítménye nagyon rövid idő alatt a normális közel százszorosára ugrott és szinte azonnal elforralt a hűtővizet először gőz, majd hidrogénrobbanás következett be, mely a grafit moderátornál tüzet okozott. Súlyos emberáldozat árán a kisebb tüzeket hamar, a grafit tüzet hozzávetőleg egy hét alatt sikerült eloltaniuk. A reaktort körüli 30 kilométeres körzet a kihullás miatt jelentősen elszennyeződött, a zónából 135 000 embert kellett kitelepíteni. A baleset következményeként 50 tűzoltó és mentőszemélyzet sugárbetegségben vesztette életét.

A Fukushima Daiichi atomerőmű esetében bemutatják a reaktort és a konténment épületet, valamint elemzik a telephely tengerár elleni védelmét. Pontos leírást adnak a földrengés és a cunami hatásairól, mely nagyságrendileg 560 km<sup>2</sup> szárazföldet árasztott el és hozzávetőlegesen 19 000 ember halálát okozta. A telephely reaktorai a földrengés észlelésekor azonnal automatikusan leálltak, rengés egyik reaktorban sem tett észlelhető kárt. Külső hálózatról, vagy tartalék dízelgenerátorokról üzemeltethető maradékhő elvonó rendszer állt rendelkezésre biztosítva a megfelelő hűtést, megakadályozta a zónaolvadást. A később az erőművi telephelyét elérő tengerár miatt a blokkok elvesztették a maradékhő elvonó rendszerüket, mert a 13 tartalék generátor közül 12 elárasztott a behatoló víz és a tengervizes hűtésű hőcserélő rendszerek is megsemmisültek, a tartalék energia betáplálási lehetőségek rövid időn belül kimerültek [7].

A szerzők pontos képet adnak a reaktorokban és a reaktorblokkokon lejátszódott folyamatokról és a tett intézkedésekről. A baleset során keletkező növekvő nyomású gőzt a reaktorok alatti elnyelőtérbe, engedték és bekapcsoltak a zóna vészűtő rendszerek. Áramellátás hiányában ezek a hűtő rendszerek 3 nap alatt fokozatosan leálltak, ezután tűzoltó fecskendők által bejuttatott tengervízzel hűtötték a nyomásálló teret, ehhez csökkenteni kellett a bennük lévő nyomást.

A nyomásnövekedés után 4,5 órával az 1. blokkon a fűtőelem kötegek szárazra kerültek, hőmérsékletük elérte a 2800 °C értéket zónaolvadás következett be, a nagymértékű nyomásnövekedés a konténment rendszer nem volt képes elvezetni, így a reaktorépület károsodott és később hidrogénrobbanás következett be.

A folyamat a többi reaktorblokk esetében is hasonlóan játszódott le a folyamat bizonyos időbeni eltérésekkel, kivéve a négyes blokkot, ahol március 15-én hidrogénrobbanás következett be, melyet valószínűleg a 3. blokkon végzett lefúvatás során a szellőzőn keresztül az épületbe jutott hidrogéngáz okozott. A baleset következtében 3 BWR reaktor és 4 pihentető medence sérült, 4 reaktor végleg kiesett az energiatermelésből, három reaktor 30-70 %-os zónasérülést szenvedett és legalább 4 hidrogénrobbanás következett be, valószínűleg tűz volt több pihentető medencénél is.

A tengerbe hosszabb ideig szivárgott radioaktív hűtővíz, az erőmű területe radioaktív hasadási termékekkel szennyeződött, 20 km sugarú szennyezett zóna keletkezett, az erőművi balesetnek nem volt sugárzás okozta halottja, 165 000 embert telepítettek ki, a kitelepítések következtében több mint 1000 (főként idős) ember vesztette életét [7].

A szerzők megállapították, hogy a baleset nem következett volna be, ha az 1993-as szakértői jelentések alapján magasabb cunami gátat építettek volna a telephelyen, a diesel generátorok áthelyezésével, valamint az épületek alsó részeinek vízszigetelését elvégezték volna.

A szerzők cikksorozata rendkívül hasznos kutatásom szempontjából, nem csupán elemzi, hanem megoldási javaslatokkal is szolgál súlyos nukleáris balesetek megelőzéséhez. Mind a Csernobili, mind a Fukushimai eseménysor beavatkozási és súlyos balesetkezelési szempontból is meghatározó, mivel megfelelően dokumentált így további elemzésekre ad lehetőséget.

### **Pátzay György – Dobor József: Ipari tevékenységekből eredő veszélyforrások és elhárításuk**

A szerzőpáros fő célkitűzése bemutatni az olvasók számára a különböző ipari folyamatokhoz kapcsolódó, vagy azokból fakadó veszélyeket, megismertetni az iparban használatos különböző kockázatkezelő módszereket.

Részletesen kitérnek jegyzetükben a veszélyes üzemek által jelentett fizikai, biológiai, kémiai, mechanikai és egyéb veszélyforrások meghatározása. Olyan alapfogalmak kerülnek meghatározásra, mint a veszély, a hiba, kockázat, katasztrófa, valamint ezen fogalmak különböző típusai is ismertetésre kerülnek.

Megtörténik az ipari veszélyforrások csoportosítása fizikai, vegyi, biológiai, és a kutatásaim szempontjából kiemelkedő radiológiai és nukleáris veszélyek meghatározásával. Felsorolásra kerülnek a legfontosabb hazai és európai uniós jogszabályok a témával foglalkozó törvények és rendeletek (például a 2000. évi XXV. törvény a kémiai biztonságról, 44/2000. (XII. 27.) EüM. rendelet a veszélyes anyagokkal és veszélyes készítményekkel kapcsolatos egyes eljárások, illetve tevékenységek részletes szabályairól, 224/2008. (IX. 9.) kormányrendelet a kémiai terhelési bírság alkalmazásának részletes szabályairól) (1907/2006/EK rendelet - REACH, 1272/2008/EK rendelet - CLP/GHS) [8].

Bemutatásra kerülnek a külföldön már ismert és használt folyamatbiztonsági irányítási rendszerek alapvető rendszerlemei, valamint meghatározásra kerülnek a folyamatok biztonságát befolyásoló elemek:

1. Felelősség,
2. a folyamatok ismerete és dokumentálása,
3. a projekt- és dizájn folyamatok tökéletes áttekintése,
4. a folyamatok kockázati kezelése,
5. a változtatások nyomon követése,
6. a folyamatok és berendezések integritásának biztosítása,
7. az emberi tényezők figyelembevétele,
8. gyakorlás és végrehajtás,
9. esemény, jelenség vizsgálata,
10. vállalati szabványok, törvények, szabályok,
11. vizsgálatok és módosító eljárások,
12. az eljárások biztonságának javítása.

Fontos információkat tartalmaz a jegyzet mivel a veszélyes anyagokkal kapcsolatos ipari folyamatok biztonságos kezelésének elemeit, illetve a megelőzés és a kárenyhítés további lehetőségeit mutatja be. A szerzők által felhasznált adatbázisból kiderül, hogy az iparban bekövetkező balesetek jelentős hányada csupán néhány vegyszerhez rendelhető. (Az USA-ban kockázatkezelő program keretében megállapították, hogy négy vegyszer, a vízmentes ammónia, a klórgáz, a propán és a robbanékony elegyek alkotják a vizsgált balesetek 70%-át.)

A jegyzet nyolcadik fejezetében összefoglaló táblázat és részletes leírás segítségével ismertetésre kerülnek tanulságos ipari balesetek esettanulmányai, amelyek segítségével konkrét példákon keresztül érzékelhető, hogy egy adott esemény milyen súlyos környezeti és anyagi károkért, hány ember életének elvesztéséért lehet felelős [8].

Kutatásom szempontjából értékes, hogy meghatározásra kerültek a különböző szennyező anyagok terjedési lehetőségei a környezet elemeiben: emisszió, transzmisszió, imisszió, tartózkodási idő és öntisztulás, valamint ezen fogalmak alkategóriái is ismertetésre kerültek.

### **Cramer J.J. Greenberg H.R.: Risk assessment and risk management for the chemical process industry**

A veszélyes üzemekben lezajló különböző technológiai folyamatok kockázatalapú biztonsági irányítása az Amerikai Vegyészmérnök Intézet (AIChE) Vegyi Folyamatok Biztonsági Központja (CCPS) által kidolgozott eljárásrendszer.

A megközelítésük lényege, hogy a különböző folyamatok biztonságossá tételére kockázat alapú stratégiát és végrehajtási taktikát szükséges alkalmazni a veszélyes anyagokkal foglalkozó létesítmények működése során. Ezen stratégiáknak – taktikáknak és eljárásoknak arányosnak kell lenniük az üzemek működéséből eredő kockázatokkal, de az elérhető erőforrásokon, a meglévő folyamatbiztonsági kultúrán kell alapulniuk. Kockázat alapú lehet egy stratégia, ha a technológiai rendszer vagy egy végzett tevékenység saját magára, illetve a környezetére gyakorolt lehetséges negatív hatásai alapján hozzuk meg a döntéseinket a szükséges intézkedésekről. A kockázat alapú biztonsági irányítási rendszer egyik lényegi eleme az, hogy a különböző ipari folyamatok során felmerülő veszélyek pontos meghatározását teszi lehetővé, ezáltal biztosítva lehetőséget a tevékenységből fakadó kockázatok módszeres csökkentésére. Az eljárás legfontosabb célja a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek (tűz és robbanás, mérgező, maró, környezeti- és/vagy egészség károsító hatású anyagok technológiai rendszerekből történő szabadba kikerülése) elkerülése. Ezen legfontosabb cél elérésével lehetőség nyílik az iparbiztonsági szempontból veszélyes üzemek környezetkárosító hatásainak eredményes csökkentésére azáltal, hogy létesítmény területén, illetve a közvetlen környezetében tartózkodók, valamint az épített és természetes környezetre gyakorolt hatás elfogadható kockázati szintre csökkenthető.

A rendszer alkalmazható minden olyan technológiai egység üzemeltetése során, amely veszélyes anyag felhasználásával, tárolásával, szállításával vagy feldolgozásával foglalkozik. Szükséges bevonni azon szervezeteket is a folyamatba, akik az előbb említett tevékenységekhez szorosan kapcsolódó beszerzési, karbantartási vagy egyéb tevékenységet látnak el [9].

A könyvben a kockázat alapú folyamatirányítási rendszer elemein keresztül kerülnek bemutatásra a veszélyes anyagokkal foglalkozó létesítmények biztonságos üzemelést elősegítő módszerek és lépések. A szerzőpáros által kidolgozott rendszer fő elemei a CCPS szerint a biztonsági kultúra iránti elköteleződés, a működésből eredő veszélyek és kockázatok megértése, ezen feltárt kockázatok - fenyegetettségek kezelése, valamint a saját magunk és más üzemeltetők tapasztalataiból történő tudásmegosztás és tanulás. Biztonsági kultúra alatt azon viselkedési módokat értjük, melyek az egyének és az üzemeltetésben résztvevő csoportok biztonságához való viszonyát, hozzáállását és a biztonságos üzemeltetés iránti elköteleződését írják le. A fenti négy alappillért egészíti ki és támogatja további öt elem, melyek ugyancsak elengedhetetlenek egy veszélyes üzem biztonságos működéséhez. Ezen alkotórészek az adott létesítmény biztonsági kultúrája, műszaki szabványoknak, szabályoknak való megfelelés fontossága, megfelelő kompetenciák megléte, a rendelkezésre álló munkaerő bevonása a folyamatokba, illetve az érdekelt felek megszólítása és beavatása [9].

A rendszer elemeinek ismertetése mellett hasznos kiegészítésként tanulságos események bemutatása is megtörténik. A kitekintés célja még egyértelműbben ismertetni – mélyíteni, hogy az egyes lépések milyen módon befolyásoltak egy már megtörtént baleset vagy üzemzavar kimenetelét, sőt gyakran az események kiinduló okai is valamely alapelem hiányára vagy nem megfelelő kidolgozottságára voltak visszavezethetők az adott létesítményben.

### **Kátai-Urbán Irina – Vass Gyula: Veszélyes Tevékenységek Osztályozása és Áttekintő Értékelése Magyarországon**

A szerzőpáros célja a Magyarországon iparbiztonsági szempontból megtalálható veszélyforrások áttekintése és csoportosítása.

A 2011. évi CXXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról hatálybalépése után egységes iparbiztonsági szervezet és eljárási rendszer jött végre a Katasztrófavédelem szervezetén belül. Az egységes iparbiztonsági rendszer szabályozása kiterjed a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos balesetek elleni védekezésre, a veszélyes áruszállításra, a létfontosságú rendszerek és létesítmények védelmére, illetve a nukleáris biztonság katasztrófavédelmi feladatainak ellátására [10].

A cikkben a szerzőpáros azonosítja a hazánkban a civilizációs katasztrófák bekövetkezése szempontjából fontos veszélyforrásokat.

A veszélyes tevékenységeket saját rendszerük alapján a következők szerint csoportosítják:

- a veszélyes anyaggal és áruval foglalkozó tevékenységek;
- a veszélyes hulladékkal kapcsolatos tevékenységek;
- a sugárzó anyagokkal foglalkozó tevékenységek;
- a bányászati veszélyes tevékenységek.

A cikkből egyértelműen kiderül, hogy a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemekben tevékenységükből eredően tüzek és robbanások keletkezhetnek, az egészségre és a környezetre káros anyagok juthatnak a levegőbe a felszíni és felszín alatti vizekbe, ezáltal az iparbiztonsági hatóság ellenőrzése alá tartozó létesítmények veszélyeztethetik a lakosság élet és vagyonbiztonságát, illetve az épített és természeti környezetet. A cikkben kifejtik, hogy a létesítményekből levegőbe jutható veszélyes anyagok mennyiségüktől és egyéb tulajdonságaiktól, valamint a terület domborzati viszonyaitól függően az esemény helyszínétől akár több tíz kilométerre is környezetkárosító veszélyt jelenthetnek, illetve az események lefolyása akár több órára is tehető. Kiemelik, hogy hazánk vízrajzi tulajdonságaiból adódóan különleges veszélyt jelentenek az élővizekbe bekerülő veszélyes anyagok, és ezen események környezetünkre gyakorolt katasztrófális hatásai akár több hétig és akár több száz kilométer távolságban is jelentkezhetnek [10].

A szerzők kitérnek a veszélyes anyagokkal foglalkozó üzemek csoportosítására, és arra a tényre, hogy a hazai jogi szabályozás csak 2012-ben vonta be a veszélyesáru-szállítás ideiglenes tárolással foglalkozó létesítményeit, illetve a veszélyes anyagok csővezetéken történő szállítását a jogalkotó a jelen szabályozás hatálya alá. Fontosnak tartom megjegyezni, hogy a kutatásomban szereplő Paksi atomerőmű létesítményi tűzoltóság vonulási területén rendszeres felkészülés tárgyát képezi a csővezetéki szállítás során fellépő meghibásodásokból fakadó meghibásodások során szabadka kerülő veszélyes vegyi anyagokkal kapcsolatos kárelhárítás.

### **Pántya Péter: A tűzoltói beavatkozás veszélyes üzem**

A szerző tanulmánya a veszélyes ipari létesítményekben – különösen a vegyi és energetikai objektumokban – végrehajtott tűzoltói beavatkozások sajátos kockázatait és követelményeit elemzi. A szerző hangsúlyozza, hogy az ilyen környezetben végzett beavatkozások során a hagyományos tűzoltási feladatok kiegészülnek a veszélyes anyagok jelenlétéből, a technológiai rendszerek sérüléséből és az esetleges lánreakciós eseményekből fakadó komplex veszélyekkel. A tanulmány kiemeli a megfelelő felderítés, az egyéni védőeszközök, a speciális műszaki képességek és az összehangolt irányítás jelentőségét [11].

Kapcsolata a kutatott témával különösen erős az atomerőművi és radiológiai veszélyhelyzeti beavatkozások területén. A publikáció rámutat arra, hogy a veszélyes üzemekben történő tűzoltói tevékenység csak speciális felkészültséggel, előre kidolgozott beavatkozási tervekkel és magas szintű koordinációval végezhető biztonságosan. Ezek az alapelvek közvetlenül kapcsolódnak az első beavatkozó kapacitások, a speciális műszaki képességek, valamint az SBK- és nukleárisbaleset-kezelési rendszerek fejlesztéséhez, amelyek a kutatásod központi elemei.

### **Pántya Péter: Katasztrófavédelem beavatkozó hatékonyságának növelése a tűzoltósági területen**

A szerző munkájában a katasztrófavédelmi szervezetek reagálóképességének és műveleti hatékonyságának fejlesztési lehetőségeit vizsgálja. A szerző kiemeli, hogy a beavatkozások eredményességét alapvetően meghatározza a megfelelő technikai felszereltség, a speciális szakmai felkészítés, az információáramlás gyorsasága, valamint az együttműködő szervezetek közötti koordináció. A tanulmány hangsúlyozza továbbá a korszerű műszaki eszközök, a mobil tartalékrendszerek és a gyakorlatorientált képzések szerepét a káresemények következményeinek csökkentésében [12].

Kapcsolata a kutatott témával közvetlen, mivel a publikáció által bemutatott fejlesztési irányok jól illeszkednek az atomerőművi veszélyhelyzeti reagálás és az első beavatkozó kapacitások fejlesztésének kérdésköréhez. A speciális műszaki képességek, a gyorsan telepíthető beavatkozó rendszerek, valamint a komplex veszélyhelyzetek kezelésére alkalmas szervezeti és technikai megoldások a nukleáris és radiológiai események kezelésében is alapvető jelentőségűek.

## **Tóth András, Muhoray Árpád, Pellérdi Rezső: Magyarország jelentősebb ipari katasztrófái**

A szerzők tanulmányukban a hazai ipari balesetek tapasztalatait elemzik, különös figyelemmel a veszélyhelyzeti tervezés, a reagálási képesség és a kárelhárítás szervezeti kérdéseire. A szerzők bemutatják, hogy a nagy ipari katasztrófák – például vegyi üzemekben vagy energetikai létesítményekben bekövetkező események – rávilágítottak a megelőzés, a kockázatelemzés, valamint a gyors és összehangolt beavatkozás jelentőségére. A tanulmány hangsúlyozza a több szervezet együttműködésére épülő irányítási rendszer, a megfelelő veszélyhelyzeti tervek és a folyamatos felkészítés szerepét [13].

Kapcsolata a kutatott témával közvetlenül megjelenik az ipari és nukleáris veszélyhelyzetek kezelésének összetettségében. A publikáció által bemutatott tapasztalatok jól alkalmazhatók az atomerőművi súlyos balesetek és radiológiai események kezelésének vizsgálatában, különösen az első beavatkozási kapacitások, a speciális műszaki képességek és a veszélyhelyzeti tartalékrendszerek fejlesztése területén. A tanulmány megerősíti, hogy a komplex ipari események sikeres kezelése előre tervezett beavatkozási struktúrát, magas szintű koordinációt és speciális szakmai felkészültséget igényel, amely a nukleáris létesítmények biztonsági rendszerében is alapvető követelmény.

## **International Atomic Energy Agency: Manual for first responders to a radiological emergency**

International Atomic Energy Agency „Manual for First Responders to a Radiological Emergency” című kiadványa gyakorlati útmutatót nyújt a radiológiai veszélyhelyzetek első beavatkozási számára.

A kézikönyv részletesen ismerteti a radiológiai események felismerésének módszereit, a helyszíni felderítés és zónakijelölés alapelveit, a sugárvédelmi intézkedéseket, valamint a személyi állomány és a lakosság védelméhez szükséges eljárásokat. Kiemelt figyelmet fordít a döntéshozatal támogatására, a kommunikációra, a dekontaminálásra és a különböző reagáló szervezetek együttműködésére [14].

Kapcsolata a kutatott témával kiemelkedően szoros, mivel a dokumentum közvetlenül az első beavatkozási képességek fejlesztésére és alkalmazására fókuszál radiológiai veszélyhelyzetekben.

A kézikönyv által meghatározott nemzetközi ajánlások és műveleti elvek jól illeszkednek az atomerőművi súlyos baleset-kezelés, a speciális műszaki képességek, valamint a veszélyhelyzeti tartalékrendszerek kutatásához. A publikáció különösen fontos alapot biztosít a sugárvédelmi felkészítés, a gyors telepíthetőségű beavatkozó rendszerek és a komplex nukleáris eseményekre kialakított reagálási struktúrák értékeléséhez és fejlesztéséhez.

### **International Atomic Energy Agency: INES The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual**

Az International Atomic Energy Agency „INES – The International Nuclear and Radiological Event Scale User's Manual” című kézikönyve a nukleáris és radiológiai események nemzetközi besorolási rendszerét ismerteti. A dokumentum célja egységes módszert biztosítani az események súlyosságának értékelésére és kommunikációjára a lakosság, a hatóságok és a nemzetközi szervezetek felé. Az INES-skála hét szintbe sorolja a nukleáris eseményeket a biztonsági jelentőség, a környezeti kibocsátás, a sugárterhelés és a védelmi rendszerek sérülése alapján. A kézikönyv részletes példákon keresztül mutatja be a különböző eseménytípusok értékelésének szempontjait és az osztályozási folyamatot [15].

Kapcsolata a kutatott témával jelentős, mivel az atomerőművi és radiológiai veszélyhelyzetek kezelése során alapvető fontosságú az események gyors és pontos minősítése.

Az INES-rendszer támogatja a veszélyhelyzeti döntéshozatalt, a beavatkozási szintek meghatározását és a nemzetközi információcserét, amelyek kulcsszerepet játszanak az első beavatkozási kapacitások és a speciális műszaki képességek alkalmazásában.

A dokumentum hozzájárul a kutatásban vizsgált nukleáris veszélyhelyzeti reagálási rendszerek, valamint az SBK-kezelési és kommunikációs folyamatok értékeléséhez és fejlesztéséhez.

## **1.8. A FELHASZNÁLT IRODALOM ÖSSZEFÜGGÉSEI ÉS ILLESZKEDÉSE A KUTATOTT TÉMÁHOZ**

A kutatás során feldolgozott szakirodalom egymásra épülő, több szinten kapcsolódó ismeretanyagot biztosít, amely lefedi a nukleáris és ipari veszélyhelyzetek elméleti alapjait, rendszerszintű kockázatelemzését, valamint a gyakorlati beavatkozás lehetőségeit. Az egyes források különböző megközelítésekből vizsgálják a veszélyes üzemek működését és a súlyos balesetek kialakulását, ugyanakkor jól illeszkednek a kutatás központi témájához, amely a nukleáris létesítményekben bekövetkező események kezelésére és a beavatkozási hatékonyság növelése összpontosít.

A Dobor–Kossa–Pátzay szerzőhármas munkái alapvető jelentőségűek a nukleáris balesetek megértése szempontjából. Az általuk elemzett események különösen a Three Mile Island baleset, a Csernobili katasztrófa és a Fukusimai Daiichi baleset rámutatnak arra, hogy a súlyos balesetek kialakulása többtényezős folyamat, amelyben a műszaki hibák, az emberi tényezők és a szervezeti hiányosságok egyaránt meghatározó szerepet játszanak.

Ezek az esettanulmányok közvetlenül alátámasztják a kutatás azon alapfeltevését, hogy a hatékony beavatkozás csak a baleseti folyamatok mélyreható ismeretére épülhet. A nukleáris események elemzése szorosan kapcsolódik a kockázatalapú megközelítéshez, amelyet Cramer és Greenberg munkája rendszerezett formában mutat be. A kockázatértékelés és kockázatkezelés elveinek alkalmazása lehetővé teszi a veszélyes technológiai folyamatok során fellépő kockázatok azonosítását, elemzését és csökkentését. Ez a szemlélet közvetlenül illeszkedik a kutatás céljához, mivel a beavatkozási stratégiák kialakítása során elengedhetetlen a potenciális események valószínűségének és következményeinek együttes vizsgálata.

Pátzay és Dobor jegyzete az ipari veszélyforrások átfogó rendszerezésével járul hozzá a kutatáshoz. A fizikai, kémiai, biológiai és radiológiai veszélyek egységes keretben történő értelmezése lehetőséget biztosít arra, hogy a nukleáris baleseteket ne elszigetelten, hanem az ipari katasztrófák szélesebb kontextusában vizsgáljuk. Különösen fontos a veszélyes anyagok környezeti terjedésének (emisszió, transzmisszió, imisszió) bemutatása, amely alapot ad a beavatkozások hatékonyságának és a másodlagos hatások értékeléséhez.

A hazai szabályozási és iparbiztonsági környezet bemutatását Kátai-Urbán és Vass munkája biztosítja. A szerzők által ismertetett rendszer, amely a 2011. évi CXXVIII. törvényhez kapcsolódó egységes iparbiztonsági struktúrán alapul meghatározza a veszélyes tevékenységek kezelésének szervezeti és jogi kereteit. Ez különösen fontos a kutatás gyakorlati alkalmazhatósága szempontjából, mivel a beavatkozási modellek csak a hazai jogszabályi és szervezeti környezet figyelembevételével értelmezhetők.

A nemzetközi szervezetek, különösen az International Atomic Energy Agency által kiadott útmutatók és skálák (pl. INES) egységes értelmezési keretet biztosítanak a nukleáris események súlyosságának meghatározásához és a beavatkozások összehasonlíthatóságához. Ezek az iránymutatások lehetővé teszik, hogy a különböző események tapasztalatai rendszerezett formában beépüljenek a hazai gyakorlatba.

A tűzoltói és beavatkozási aspektusokat tárgyaló szakirodalmak (pl. Pántya, Heuel és munkatársai) közvetlen kapcsolatot teremtenek az elméleti modellek és a gyakorlati alkalmazás között. Ezek a források rámutatnak arra, hogy a beavatkozás hatékonysága nagymértékben függ:

- a felkészültségtől,
- a rendelkezésre álló technikai eszközöktől,
- valamint a dekontaminációs és sugárvédelmi eljárások megfelelő alkalmazásától.

Az irodalom áttekintése alapján egyértelműen megállapítható, hogy a kutatás interdiszciplináris jellegű, amely a nukleáris biztonság, az iparbiztonság és a katasztrófavédelem határterületén helyezkedik el. A feldolgozott források egymást kiegészítve biztosítanak:

- elméleti alapokat (baleseti modellek, kockázatelemzés),
- rendszerszintű megközelítést (iparbiztonsági és jogi környezet),
- valamint gyakorlati alkalmazhatóságot (beavatkozási és kárelhárítási módszerek).

A szakirodalmi bázis így közvetlenül támogatja a kutatás fő célkitűzését, amely a nukleáris létesítményekben bekövetkező események kezelésének fejlesztése, különös tekintettel a beavatkozó szervezetek elsősorban a tűzoltóság és a katasztrófavédelem szerepére és lehetőségeire.

## **2. ATOMERŐMŰVEK BALESETELHÁRÍTÁSI ÖSSZEFOGLALÁSA**

## **TECHNOLÓGIAI ÉS ISMERETEINEK**

### **2.1. A FEJEZET BEVEZETÉSE ÉS A HOZZÁTARTOZÓ TUDOMÁNYOS PROBLÉMA**

A nukleáris létesítmények biztonságos üzemeltetése a modern ipari társadalmak egyik kiemelt jelentőségű feladata, amely közvetlen hatással van az energiaellátás stabilitására, a környezetbiztonságra és a lakosság védelmére. Az atomerőművek működése során alkalmazott többlépcsős műszaki és szervezeti védelmi rendszerek célja a balesetek megelőzése és következményeik minimalizálása, azonban a nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy a súlyos események bekövetkezése alacsony valószínűségük ellenére nem zárható ki teljes mértékben.

A nukleáris balesetek, mint például a Csernobili katasztrófa vagy a Fukusimai Daiichi baleset, rávilágítottak arra, hogy a komplex technológiai rendszerekben kialakuló események gyakran több, egymással kölcsönhatásban álló tényező eredményeként következnek be. Ezen események kezelése túlmutat az üzemeltetői kompetenciákon, és széles körű katasztrófavédelmi együttműködést igényel, amelyben az elsődleges beavatkozást végző szervezetek, különösen a tűzoltóság szerepe meghatározó.

Magyarországon a nukleáris létesítmények biztonságát és az esetleges balesetek kezelését komplex jogi és szervezeti rendszer szabályozza, amelynek központi eleme a katasztrófavédelem integrált működése. A MVM Paksi Atomerőmű Zrt. mint kritikus infrastruktúra különös figyelmet igényel, mivel egy esetleges súlyos baleset következményei nemcsak lokális, hanem regionális szinten is jelentkezhettek. A telephely sajátosságai, a technológiai rendszerek kialakítása, valamint a külső veszélyeztető tényezők (pl. természeti események) egyaránt befolyásolják a kockázati szintet és a beavatkozási lehetőségeket. Katasztrófavédelmi szempontból a nukleáris események kezelése speciális kihívásokat jelent, mivel a hagyományos tűzoltási és műszaki mentési feladatok sugárvédelmi szempontokkal egészülnek ki. A beavatkozások során egyidejűleg kell biztosítani az életvédelmet, a sugárterhelés minimalizálását, valamint a technológiai folyamatok stabilizálását. A nemzetközi ajánlások, különösen az

International Atomic Energy Agency iránymutatásai hangsúlyozzák az integrált reagálás, a megfelelő felkészültség és a döntéstámogató rendszerek jelentőségét.

A fejezethez kapcsolódó tudományos probléma abból fakad, hogy bár a nukleáris létesítmények biztonsági rendszerei magas szintű védelmet biztosítanak, a külső beavatkozó erők különösen a tűzoltóság szerepe és lehetőségei a súlyos balesetek kezelésében nem kellően feltártak és rendszerezettek.

A nemzetközi tapasztalatok (pl. Fukushima esetében alkalmazott külső vízbetáplálás) igazolják, hogy a hagyományos tűzoltási eszközök és módszerek kritikus szerepet játszhatnak a balesetek eszkalációjának megakadályozásában, ugyanakkor ezek integrációja a nukleáris balesetkezelési rendszerekbe nem minden esetben megoldott. A nukleáris technológia megfelelő szintű ismerete a beavatkozást végzők és irányítók számára elengedhetetlen.

A kutatás központi problémája tehát annak vizsgálata, hogy:

- milyen módon illeszthetők a katasztrófavédelmi beavatkozási képességek a nukleáris balesetkezelési rendszerekbe,
- milyen technikai és szervezeti feltételek szükségesek a hatékony külső beavatkozáshoz,
- valamint hogyan növelhető a beavatkozó állomány biztonsága és hatékonysága sugárveszélyes környezetben.

## 2.2. A NUKLEÁRIS ENERGIA-TERMELÉS

Az atomerőművek bármily bonyolultnak tűnhetnek, felépítésük nagyban hasonlít egy hőerőművéhez, a legnagyobb különbség, hogy az atomerőművek a hőenergiát nem egy meghatározott energiahordozó elégetésével, hanem a nukleáris reaktorban zajló láncreakcióval állítják elő. Az így felszabaduló hőenergiát hűtőközeggel továbbítják, majd gőz termelésére használják, a gőz ezt követően a turbina forgólapátjaira jutva meghajtja azokat, ebből a mozgási energiából termel villamos energiát a generátor. A gőz a kondenzátorokba kerül, ahol lecsapódik, újra folyékony halmazállapotúvá alakul.

Az így lehűlt vizet előmelegítés után újra visszajuttatják a gőzfejlesztőkbe. A nukleáris reaktorokat közel hetven éve állították az energiatermelés szolgálatába.

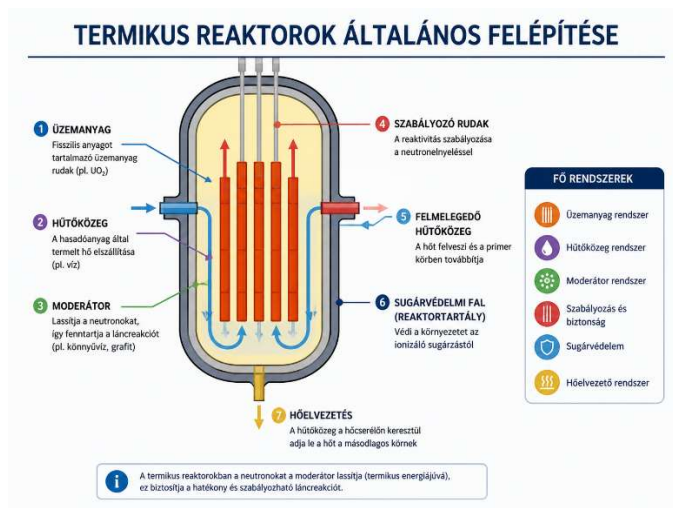
Az első kísérleti nukleáris erőmű az USA-ban Arco városa mellett épült 1952-ben. Az első lakossági energiatermelésre használt atomerőművet az oroszországi Obnyinszkban 1954 -ben állították üzembe. Az első generációs atomerőművektől hosszú, több évtizedes út vezetett a napjainkban kivitelezés alatt álló 3+ generációs erőművekig, valamint a fejlesztés alatt álló negyedik generációs atomerőművekig [16].

### **Atomreaktorok elvi felépítése**

Az Encyclopedia Britannica szerint az első atomreaktort 1942-ben alkották meg, ez volt a CP-1 (Chicago Pile No. 1), mely igen alacsony kimeneti teljesítménnyel bírt.

Az elmúlt évtizedek fejlesztéseinek köszönhetően a reaktorok teljesítménye és üzemeltetési biztonsága nagymértékben megnőtt. Termikus atomreaktor fő alkotóelemei World Nuclear Association alapján a következők [17]:

- Üzemanyag, vagy más néven hasadóanyag
- Moderátor anyag, vagy moderátor közeg (hűtőközeg)
- Reaktivitás szabályozás
- Sugárvédelem (többszintű)



1. ábra: Termikus reaktorok általános felépítése szerkesztette a szerző [17] alapján)

A felsorolásban leírt alkotóelemekkel minden üzemelő reaktornak rendelkeznie kell, csak így szavatolható a megfelelően szabályozott és biztonságos működés. Azonban az alkotóelemek kialakítása, elrendezése, elhelyezése már nagyfokú eltérést mutat a különböző reaktortípusoknál melyekre a következőkben igyekszem megfelelő példákat mutatni.

### 2.2.1. NUKLEÁRIS REAKTOROK OSZTÁLYOZÁSA

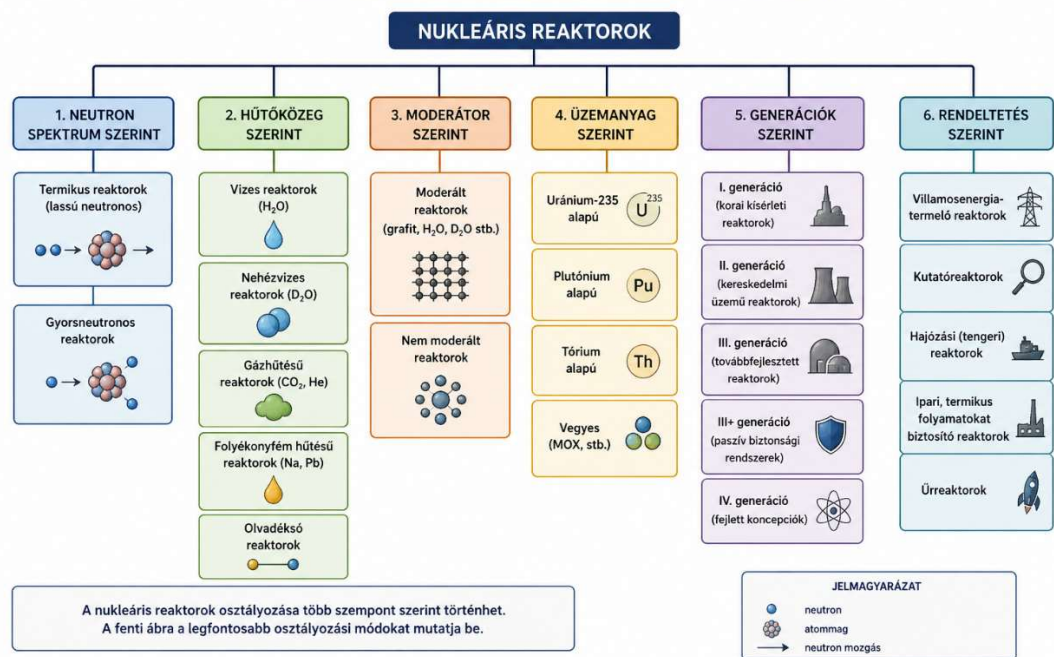
Az atomreaktorok megfelelő tipizálására – osztályozására nagyon sok különböző szempontrendszer létezik, ezek közül mutatok be a cikk ezen fejezetében néhányat.

A nukleáris reaktorokat megkülönböztethetjük a felhasználás módja szerint [18]:

- Kísérleti reaktorok
- Kutatóreaktorok
- Oktatóreaktorok
- Kritikus rendszerek vagy zéró teljesítményű reaktorok
- Hasadóanyag termelő reaktorok
- Energiatermelő reaktorok

A kutatásaim szempontjából kiemelt fontosságúak az energiatermelő reaktorok, ezért ezen típus további elemzéseim tárgyát képezi. Az energiatermelő erőművi reaktorok nagy változatosságot mutatnak, az elmúlt évtizedekben több típusuk is használatba állt.

# NUKLEÁRIS REAKTOROK OSZTÁLYOZÁSA



2. ábra: Nukleáris reaktorok osztályozása (szerkesztette a szerző [18] alapján)

### **2.2.2. ENERGIATERMELŐ ERŐMŰVI REAKTOROK**

Az olyan atomreaktor, amelyben ipari méretekben használják fel a hasadási energiát elektromos áram előállítására, erőművi reaktornak nevezzük. Megkülönböztethetjük őket a felhasznált moderátor anyag, moderátor közeg alapján [19].

Folyadék moderátoros reaktorok

- Könnyűvizes (light water) reaktorok  
Könnyűvizes reaktoroknak nevezzük azon energiatermelő reaktorokat, melyeknél a hűtő közeg és a moderátor anyag egyaránt „normál” (sótalan víz) víz. A könnyű vizes reaktoroknak két típusát különböztetjük meg a nyomott vizes (PWR) és a forraló vizes (BWR) egységeket.
- Nehéz vizes reaktor  
Nehézvizes reaktoroknak nevezzük azon energiatermelő reaktorokat, melyeknél a hűtő közeg és a moderátor anyag egyaránt nehézvíz (a hidrogén deutérium nevű izotópját tartalmazó víz.). A nehéz vizes reaktoroknak három típusát különböztetjük meg, a nyomott nehézvizes reaktorokat (PHWR), a CANDU (kanadai deuterium- uranium nyomott nehézvizes reaktorokat) és a CANDU -B könnyűvíz hűtésű nehézvizes reaktorokat [19].

Szilárd moderátoros reaktorok

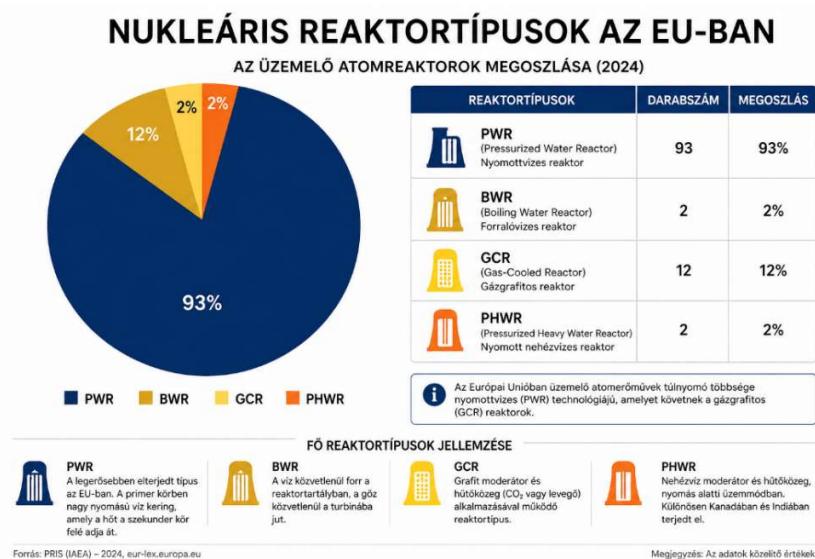
- Grafit moderátoros reaktoroknak nevezzük azon energiatermelő reaktorokat, amelyeknél a moderátor anyag grafit. Ezen típuson belül a hűtőközeg lehet gáz, vagy könnyűvíz.
- Moderátor nélküli reaktoroknak nevezzük azon reaktorokat, melyekben nem található moderátor anyag, vagy közeg, így az aktív zónában a neutronok nem lassulnak le [19].

Az alábbiakban bővebben kitérek az egyes reaktortípusok sajátosságaira, működési módjaik bemutatására.

### **2.2.3. FOLYADÉK MODERÁTOROS REAKTOROK**

Könnyűvizes (light water) reaktorok két típusát különböztetjük meg a nyomott vizes (PWR) és a forraló vizes (BWR) egységeket. A világon 2020 december 31.-én 441 működőképes reaktorból 365 könnyűvizes volt, ezen belül 303 PWR és 62 BWR egység. Európai Unió viszonylatban 93 db PWR, 2 db BWR reaktor blokk üzemel jelenleg [20].

A két reaktortípus között az alapvető különbség a primer és szekunderkör, valamint a hermetikus tér, vagy konténment kialakításában van. A nyomottvízes (PWR) nukleáris reaktor moderátora és hűtőközege egyaránt könnyűvíz, üzemanyaga alacsony dúsítású urán. Fő jellemzője, a vastag falú (10 – 20 cm falvastagságú) reaktortartály és a kétkörös kialakítás. Teljesen elválik egymástól a primer és a szekunderkör.



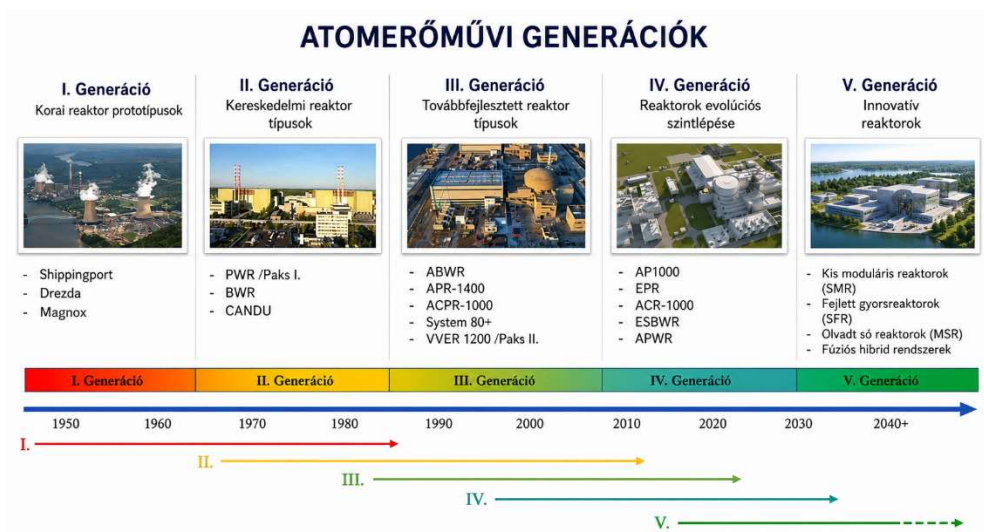
3. ábra: Nukleáris reaktortípusok az EU-ban (szerkesztette a szerző [20] alapján)

A reaktor aktív zónájában felszabaduló hőenergiát nagyméretű hőcserélőkön adja tovább a szekunder körnek, ahol a turbinák működtetéséhez használatos gőzt állítják elő. A primer és szekunder vízkör teljes elkülönítése létfontosságú, mivel egymástól fizikailag elhatárolt, eltérő nyomású hűtővízkörökről beszélünk. A hermetikus tér csak meghatározott fővízköri nagyberendezéseket foglal magában. A primerköri vizet itt megfelelően magas nyomáson tartják, hogy az 300 °C hőmérsékleten se tudjon felforni. A gőzfejlesztőkön áthaladó primerköri víz vissza hűl és így áramlik vissza a reaktorba.

A forralóvízes (BWR) nukleáris reaktorok egykörös kialakításúak, a reaktor aktív zónáján áthaladó víz nagy mennyiségű hőenergiát vesz fel. Az aktív zónában lévő víz egy része felforr, a keletkezett gőzt leválasztva telített gőzt juttatnak a turbinákra. Ez esetben a turbinák is a hermetikus térbe kerülnek elhelyezésre, hiszen a rajtuk keresztül enyhén radioaktív közeg áramlik [21].

## 2.3. ATOMERŐMŰVI GENERÁCIÓK

A második világháborút követő minden olyan nukleáris erőművi fejlesztést, amely az atomenergia békés felhasználását célozta első generációsnak tekinthetünk. A fejlesztésben érdekelt szaktekintélyek, a nukleáris energia felhasználásának úttörői az ötvenes évek előtt is az atomenergia-termelés felépítését kívánták elérni, de a második nagy háború és az atom hasadás által létrehozott hatalmas energia hadászati célú felhasználása egy évtizeddel eltolta nukleáris energia lakossági energiatermelési célú alkalmazásának lehetőségét [22].



4. ábra: Atomerőművi generációk (szerkesztette a szerző [22] alapján)

### 2.3.1. ELSŐ GENERÁCIÓS ATOMERŐMŰVEK

A világháborút követően az Amerikai Egyesült Államokban 1951-ben üzembe állították a világon az első, nátrium-kálium hűtésű kísérleti szaporító gyorsreaktorot. Ez a reaktor energiatermelésre csak korlátozott mértékben volt alkalmas, villamos teljesítménye csupán a reaktorcsarnok megvilágítását tette lehetővé. Ekkor még a villamos teljesítménynél jóval fontosabb volt a reaktor működése során létrehozott Plutónium 239, mely atombomba robbanótöltetének fontos eleme. Az első villamos hálózatra kapcsolt atomerőművet 1954-ben állították üzembe oroszországi Obnyinszkiben, mely grafit moderátoros, vízhűtésű, egy reaktorblokkos erőmű volt. Nagy-Britannia első hivatalosan is kereskedelmi célú atomerőművét 1953-ban állította üzembe Windscale-ben.

Az erőművet II. Erzsébet királynő nyitotta meg, azonban négy évvel az üzemkezdetet követően az erőműben súlyos tüzeset történt. 1957-ben állították üzembe a Magnox atomerőművet, mely plutónium termelésére alkalmas széndioxid hűtésű, grafit moderátoros erőmű volt. Az Amerikai Egyesült Államokban ugyancsak 1957-ben állították üzembe a Shippingport könnyűvízes atomerőművet, mely hadászati célokra plutóniumot termelt, viszont már 60 MW villamos teljesítményre is képes volt [22].

### **2.3.2. MÁSODIK GENERÁCIÓS ATOMERŐMŰVEK**

A napjainkban működő nukleáris reaktorok többsége második generációs atomerőművekben üzemel. A Nukleáris Világszövetség (World Nuclear Association) adatai szerint 2021-ben 234 darab az 1970-es évektől 1990-ig épült úgynevezett II generációs atomerőművi blokk üzemel. Ezen reaktorok átlag kora jelentősen meghaladja a 30 évet, lassan tervezett élettartamuk végéhez közelítenek, sok közülük üzemidőhosszabbításban részesült, vagy üzemidő növelés előtt áll.

A II. generációs erőművek tervezésekor nagy mennyiségű tapasztalat állt rendelkezésre. Ne felejtjük el, hogy az első generációs erőművek az 50-es évek legelején álltak működésbe. Érdekességként megjegyezném, hogy az utolsó első generációs atomerőmű 2015-ben fejezte be működését. A prototípusok, kezdetleges hibáiból konstrukciós gyengeségeikből, üzemeltetési nehézségeikből nyert információk segítségével, biztonságnövelő átalakítások alkalmazásával kerültek megépítésre a II. generációba sorolt atomerőművek.

Megítélésem szerint az egyik legmeghatározóbb újítása nyomásálló rendszerek alkalmazása volt, mely súlyos baleset esetén képes megakadályozni a radioaktív anyagok szabadba jutását. Ez az úgynevezett hermetikus tér, vagy konténment alkalmazása. A hazánkban üzemelő paksi atomerőmű mind a négy blokkja második generációs, fontos megjegyezni, hogy a 2000-es évektől kezdve sorozatos teljesítmény és biztonságnövelő fejlesztésen estek át, ahogy azt a védelmi rendszerek és a technológia fejlődése lehetővé tette [22] [23].

### **2.3.3. HARMADIK GENERÁCIÓS ATOMERŐMŰVEK**

A napjainkban épülő atomerőműveket a szakirodalom a harmadik, vagy a 3+ generációba sorolja, ezek az úgynevezett evolúciós erőművek. A fejlesztés kezdete az 1990-es évekre tehető, az amerikai, japán és nyugat európai könnyűvízes reaktorflotta üzemeltetői tapasztalataira alapozva. A második generációs erőművekhez képest kibővített és továbbfejlesztett biztonsági - technológiai megoldásokkal, valamint a gazdasági tényezők optimalizálásával fejlesztették tovább az erőműveket. A működtetésben a megnövelt hatásfok, a magasabb üzemanyag hasznosítás és bizonyos fejlett dúsítási eljárásokkal együtt valósították meg a jelenleginél jóval hosszabb, akár 60 éves üzemidőt. Az aktív és passzív biztonsági rendszerek jelentős fejlődésen mentek keresztül, köszönhetően az általános technológia és informatikai fejlődésének, valamint a sajnálatos módon bekövetkezett nukleáris balesetektől levont mértékadó következtetéseknek köszönhetően. Ezekre példák azok a passzív biztonsági funkciók, amelyek nem igényelnek külső energiát, aktív vezérlést vagy kezelői beavatkozást, hanem a gravitációra vagy a természetes hővezetésre támaszkodva csökkentik az üzemzavarok és balesetek következményeit [22] [23].

### **2.3.4. NEGYEDIK GENERÁCIÓS ATOMERŐMŰVEK**

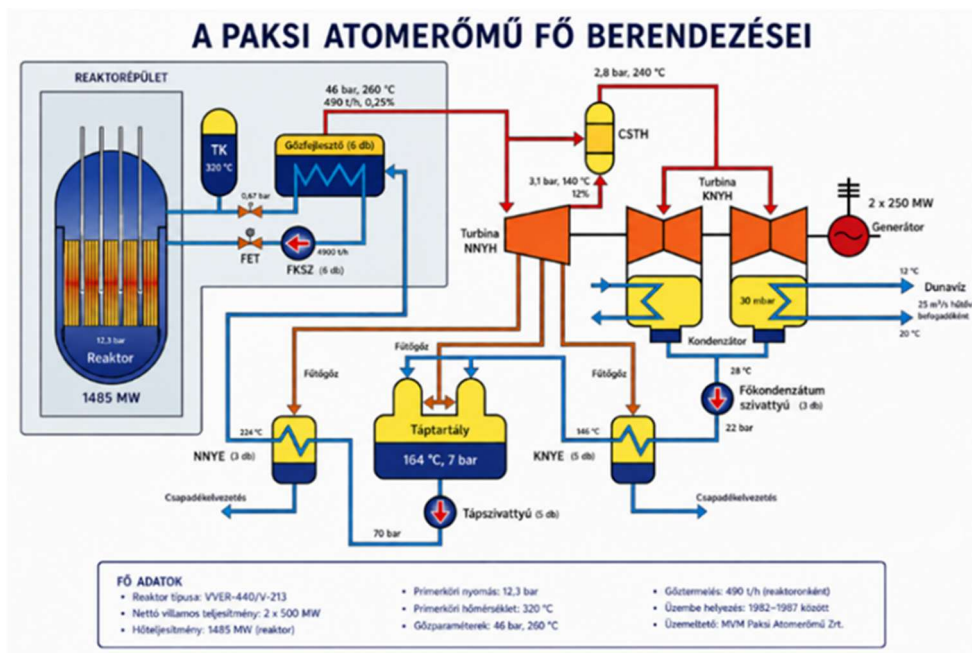
A negyedik generációba tartozó atomerőműveket innovációs erőműveknek nevezni a szakirodalom, mert olyan megoldásokat - fejlesztéseket vetítenek előre, melyek teljesen új perspektívába helyezik az atomerőművek üzemeltetését.

A negyedik generációs erőművi besorolás előfeltétele, hogy megfeleljenek mindazon szigorú biztonsági és üzemeltetési követelményeknek, mint a nukleáris hulladék minimalizálása és újra felhasználása, az üzemanyag cellák érzékenységének jelentős csökkentése, valamint a proliferációállóság a katonai célra történő felhasználhatatlanság, (az atomfegyverek gyártásához szükséges minőségű hasadóanyag keletkezésének kizárása) [24].

A disszertáció témájához közvetlenül kapcsolódóan bemutatom a hazánkban jelenleg is üzemelő energiatermelő atomreaktorokat, valamint ismertetem a Paks 2 atomerőművi nagyberuházás során felépítendő reaktorokat.

## 2.4. A PAKSI ATOMERŐMŰ

A Paksi atomerőmű 1982 óta része a magyar villamos energiatermelésnek, rendszerbe állásától számítják Magyarországon a lakossági „atomenergia szolgáltatást”. Napjainkban a Paksi erőmű a hazánkban termelt villamos energia több mint felét szolgáltatja. A Duna jobb partján fekvő nukleáris energiatermelő létesítmény négy darab egyenként 1485 MW hőteljesítményű, 500 MW villamos teljesítményű blokkból és a hozzájuk kapcsolódó primer és szekunder körri rendszerekből áll. Az 5. ábra a paksi atomerőmű fő berendezéseit mutatja [25].



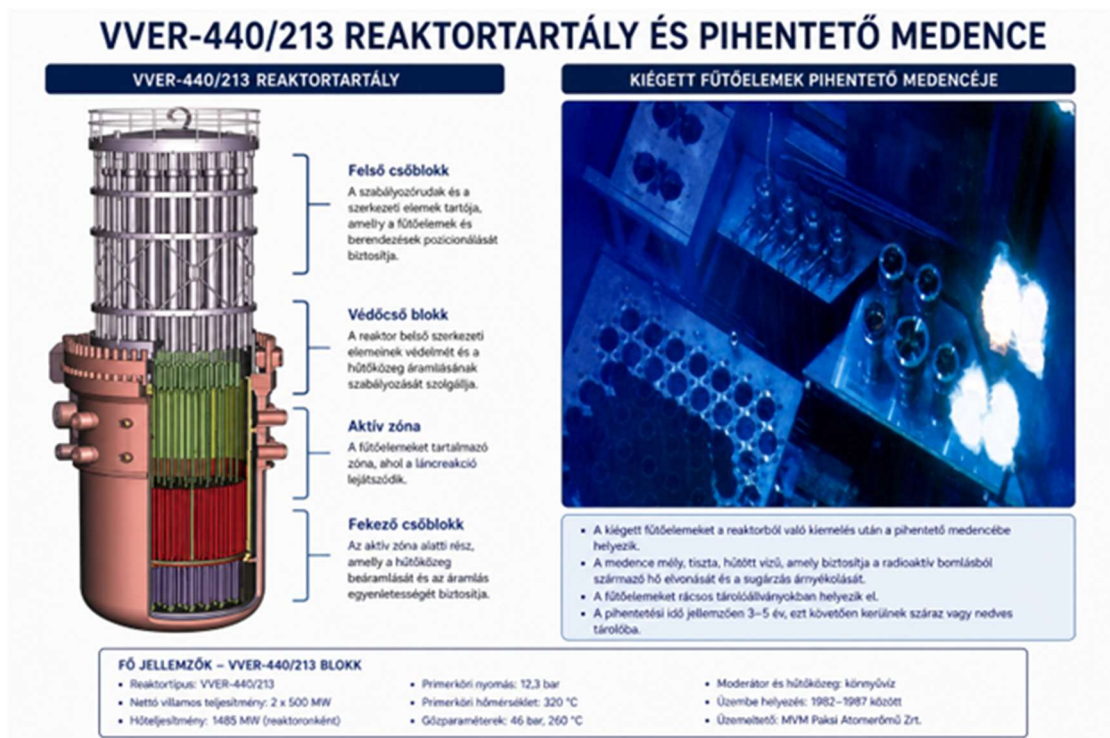
5. ábra: A paksi atomerőmű fő berendezései (forrás: [25])

Az alábbiakban röviden be kívánom mutatni a Paksi atomerőműben a reaktorblokkokat, a primer és a szekunderkört.

### 2.4.1. A PAKSI ATOMERŐMŰBEN ÜZEMELŐ REAKTOROK

A Paksi Atomerőműben négy darab a 3. ábrán bemutatott VVER-440/213 nyomott vizes reaktorblokk található. Két teljesen szeparált vízkörből, a primer körből és a szekunder körből épülnek fel. A nyomott vizes reaktorok sajátossága, hogy a primer körben lévő vizet százhuszonhárom báros nyomás tartja folyadék halmazállapotban, így a zárt körben áramló folyadék háromszáz Celsius fokos hőmérsékleten sem képes forni. A reaktortartály azon része, ahol a láncreakció megy végbe, „aktív zónának” nevezzük.

Az aktív zónát háromszáztizenkét db üzemanyag kazetta, harminchét db szabályozó és biztonságvédelmi kazetta, valamint a hűtővíz alkotja, mely egyben moderátor közeg szerepét is betölti. Az SZBV kazetták (szabályozó és biztonságvédelmi kazetták) közül normál üzem közben harminc db az „aktív zóna” felett található. Ezen biztonságvédelmi eszközök, segítségével a reaktor tíz - tizenkét másodpercen belül megbízhatóan leállítható. A további hét (SZBV) elemmel a normál üzemi teljesítményt szabályozzák. Minden egyes SZBV kazetta alsó részéhez egy fűtőelem köteg csatlakozik, ezért kihúzott állapotukban nem befolyásolják negatívan a láncreakciót. Az üzem során lecsökkent teljesítményű fűtőelemeket a reaktor mellett található úgynevezett „pihentető medencébe” helyezik. A 3. ábrán a négyes blokki pihentető medence látható, itt három évig tárolják a kiégett üzemanyagot. Radioaktív bomlás útján úgynevezett remanens hő fejlődik bennük. A víz elnyeli a keletkező sugárzást, valamint a keletkezett hőt is [26].



6. ábra: VVER-440/213 reaktortartály és pihentető medence (szerkesztette a szerző [26] alapján)

Az 1. táblázat a reaktort és annak legfontosabb adatait mutatja be, mint az üzemanyag tömegét, tartály méretét, hő és hasznos teljesítményét [26].

<b>Reaktor tömege:</b>	<b>472 tonna</b>
<b>Magassága:</b>	23,5 méter
<b>Hőteljesítménye:</b>	1485 MW
<b>Hasznos teljesítménye:</b>	500 MW
<b>Melegági hőmérséklete:</b>	297 °C
<b>Hidegági hőmérséklete:</b>	267 °C
<b>Fővízköri hőlépcső:</b>	32,5 °C
<b>Üzemanyag:</b>	Urándioxid 3,82 %-os dúsítású
<b>Üzemanyag tömege:</b>	42 tonna
<b>Aktív zóna felépítése:</b>	312 db üzemi kazetta 30 db biztonságvédelmi kazetta 7 db szabályozó kazetta

1. táblázat VVER 440/213 Reaktor egyes fontosabb adatai (forrás: [26])

Az itt eltöltött 3 év során a tárolt üzemanyag sugárzása és hőtermelése olyan jelentős mértékben lecsökken, mely lehetővé teszi biztonságos szállításukat. Ekkor pihentető medencéből a KKÁT-ba szállítják őket. Ötven évig itt őrzik a kiégett üzemanyagot, előreláthatóan a nagyaktivitású tároló kialakításáig és az ott történő elhelyezésükig. A kiégett fűtőanyag egy részét Oroszországba szállítják újra dúsításra. A szállító konténer felépítése – anyaga és a benne található víz, csökkenti a radioaktív sugárzás mértékét és a szállítás során elvezeti a kiégett üzemanyag által termelt hőt. A konténerek speciális kialakítása, valamint a benne lévő biológiai védelem miatt sugárzás még vasúti szerencsétlenség esetén sem nem juthat a környezetbe [26].

#### **2.4.2. A PRIMERKÖR RENDSZEREINEK ISMERTETÉSE**

A primerkör magát a reaktort, a keringető hurkokat, a főkeringtető szivattyúkat, a gőzfejlesztőket és a térfogat kompenzáló egységet befogadó nukleáris rendszer. A 7. ábra az I. kiépítés reaktorcsarnoka látható. A fővízkör része a térfogat kiegyenlítő rendszer, mely a térfogatkompenzátorból és a négy darab hidroakkumulátorból áll blokkonként. A térfogatkompenzátor álló elrendezésű, melynek alsó részét hűtőkör meleg ágával, míg felső részét (szelepeken keresztül) a hidegággal kötik össze. A tartályban 325°C-os, telített állapotú víz, és felette nitrogénpárna található. Legfontosabb feladata a nukleáris alapon történő gőztermelés, az előre tervezett nyomás és hőmérséklet megtartása, valamint a hőhordozó közeg környezetbe jutásának megakadályozása.



7. ábra: Paksi Atomerőmű reaktorcsarnoka (szerkesztette a szerző [26] alapján)

A primerkör szerves részét képezi az úgynevezett hermetikus tér, mely a Paksi atomerőműben tervezett legsúlyosabb tervezett üzemzavar az NA 500-as primerköri csővezeték teljes keresztmetszetű törésekor a radioaktív gőz kijutását akadályozza meg [26].

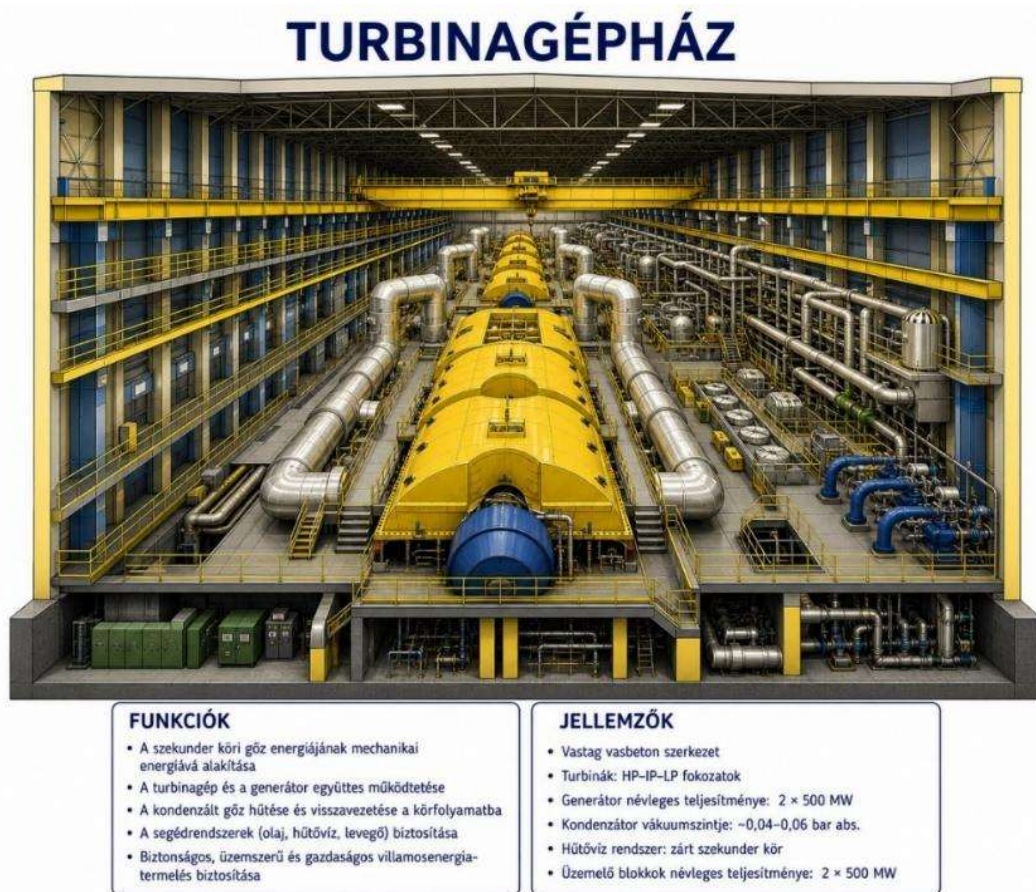
### 2.4.3. A SZEKUNDER KÖR BEMUTATÁSA

A gőzfejlesztők tápvízoldali részeit, a „főgőzrendszert”, a turbina különböző elemeit (nagy és kis nyomású), a kondenzátort és a tápvízrendszert befogadó rendszer, melynek legfontosabb feladata a gőz energiájának forgó mozgássá való átalakítása a turbinák segítségével, így teszi lehetővé a generátorok hajtását. A reaktor által létrehozott 1485 MW-nyi hőenergiát sóltalanvíz zárt rendszerben továbbítja a gőzfejlesztőkbe.

Itt a primerköri víz a gőzfejlesztőben szekunder körű gőzt hoz létre, mégpedig úgy, hogy a gőzfejlesztőben található 222°C-os, 46 bar nyomású tápvizet a csövekben keringő 297°C-os primer körű víz 260°C-ra melegíti. A keletkező gőzből a vízcseppeket leválasztják, a turbinalapátok sérülésének elkerülésére. Erre szolgálnak az úgynevezett cseppeleválasztók, melyeket a kilépő gőz útjába helyeznek, ezeken terelőlemezek, áthaladva a vízcseppek lecsapódnak, ennek köszönhetően a kilépő gőz nedvességtartalma

0,25 % alá csökken. A megtermelt gőzmennyiség eléri az óránként közel háromezer (2940) tonnát, mely a turbinákat hozza mozgásba és működteti percenként háromezres fordulaton. A Paksi Atomerőműben 8 darab turbina és ugyanennyi 230 MW-os generátor található. A turbinákban egy tengelyen helyezkedik el az egy nagynyomású és két kisnyomású ház, valamint a generátor fogórésze. A turbina nagynyomású háza 7 fokozatú, a két kisnyomású ház öt-öt fokozatú.

A 5. kép az I. kiépítés turbinagépházát mutatja. A turbina által létrehozott forgó mozgás a generátorok segítségével 15,75 Kv feszültségű elektromos áramot termel, melyet transzformátorokon keresztül a villamos hálózatba juttat százhusz és négyszáz Kv-on [26].



8. ábra: Paksi Atomerőmű turbinagépháza (szerkesztette a szerző [26] alapján)

## 2.5. PAKS II ATOMERŐMŰ

A VVER-1200 orosz fejlesztésű reaktor, mely továbbfejlesztett nyomottvízes vízhűtéses, vízmoderátoros. Biztonsági rendszerei beszéljünk akár aktív, vagy passzív rendszerekről, korunk legmodernebb technológiáit alkalmazzák. Hermetikus tere két elkülönülő részből áll, külső és belső burokból, ezek egyéni védelmi funkciókat látnak el. A külső burkot 1 méter vastag és elviseli akár egy személyszállító repülőgép becsapódását.

Ezen túlmenően a konténment rendszer képes ellenállni a földrengésnek és a robbanások következtében létrejövő nagynyomású lökéshullámoknak. A belső burok acél borítású, amit további acél elemekkel erősítettek meg. A megerősített rendszer nagymértékben nyomás és hőálló. A hermetikus téren belül a reaktorsérülések során kilépő gőz le kondenzálására befecskendező egység lett beépítve [27].

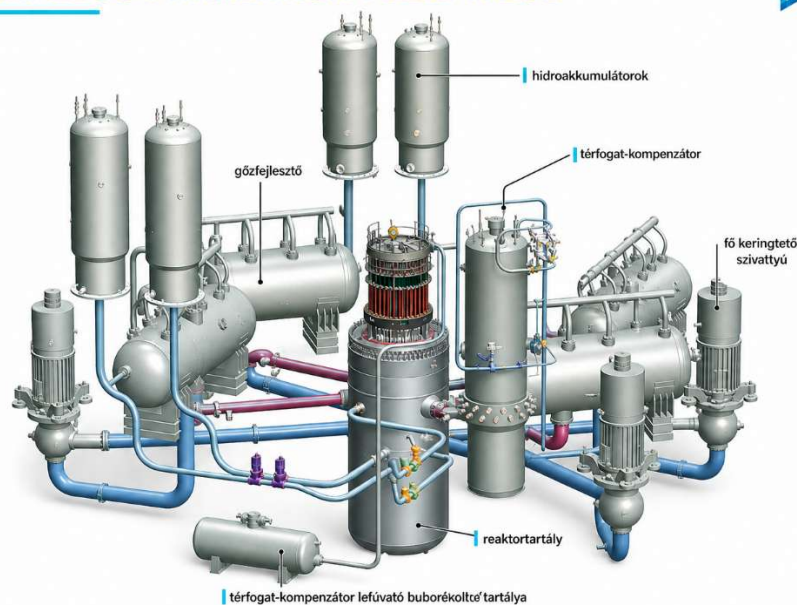


9. ábra: Paks 2 atomerőmű működési séma (szerkesztette a szerző [27] alapján)

A felépítmény különlegessége, hogy a pihentető medence is a konténmenten belül található, ami a hűtővíz rendszer betáplálását is végzi. A kiegészítő üzemanyag átmeneti tárolójához tartozó 2000 köbméteres hűtővíz jelentős része alacsony és magasnyomású rendszereken keresztül pótvízként is felhasználható. A magas nyomású szivattyúk szivárgás esetén, az alacsony nyomású szivattyúk nagy átmérőjű csőtöréskor indulnak. Konténmenten belüli nyomás és hőmérsékletcsökkentésre a tartalék hűtővízrendszereket nitrogénnel helyezik nyomás alá.

Az Európai nyomottvizes hatásfoknövelt reaktorhoz hasonlóan rendelkezik zónaolvadék csapdával, amiben egy speciális anyaggal állítják meg a láncreakciót, az olvadéktároló saját hűtőrendszerrel rendelkezik. A reaktor aktív és passzív biztonsági rendszerei a primerköri csővezeték törése esetén is 72 órás hűtést biztosítanak. A hidrogénrobbanás megakadályozására hidrogénrekombinátorokat alkalmaznak a hermetikus térben, amivel a belső nyomás csökkenthető. A berendezéssel felgyorsítják a hidrogén-oxigén egyesülést, melynek eredményeként víz keletkezik. A reaktorban a 160 báros nyomáson tartott hűtővíz 328 Celsius fokos, amely moderátorként is funkcionál. A reaktortartály különleges lengéscsillapítókra épített, 20 cm falvastagságú, négy kivezető csonkkal rendelkezik, melyek a gőzfejlesztőkhöz csatlakoznak. A reaktor aktív zónájában 163 üzemi kazettában darabonként 312 fűtőelem található 121 szabályozó rúddal [28].

## VVER 1200 PRIMERKÖR FELÉPÍTÉSE



10. ábra: VVER 1200 primerkör felépítése (forrás: [28])

A VVER-1200 reaktornál a hűtés aktív és passzív rendszerek segítségével egyaránt megtörténhet, a passzív rendszer üzemeltetése nem igényel villamos betáplálást vagy emberi beavatkozást. A reaktor hőteljesítménye a Rosatom adatai alapján 3212 MW, a primerköri hűtőközeg melegági hőmérséklete 328,9 °C. Szekunderköri gőztermelése gőzfejlesztőnként 1602 tonna/óra, ez blokkonként eléri a 6408 tonnát óránként.

## **2.6. NUKLEÁRIS REAKTOROK BIZTONSÁGA ÉS A HOZZÁ KAPCSOLÓDÓ KATASZTRÓFAVÉDELMI FELADATOK**

Nukleáris reaktorok üzemeltetésénél legyen szó kutatási – oktatási célú vagy energiatermelő berendezésekről a biztonságot kell elsődleges szempontnak tekintenünk. Bármily nagy társadalmi és anyagi haszon mellett is létfontosságú a biztonság mindenkori megőrzése. Ezt jól szemlélteti a cikk előző fejezetiben bemutatott 2. és 3+ generációs reaktorok biztonsági szempontokat messzemenően szem előtt tartott tervezése. Csak a Paksi atomerőműben több, mint 120 évnnyi reaktor üzemeltetési tapasztalatot gyűjtöttek a szakemberek, az új generációs reaktorok üzemeltetéséhez sok évnnyi nemzetközi tapasztalat áll rendelkezésünkre. Atomerőművek a biztonság azt jelenti, hogy különböző intézkedések sorával kizárják, hogy az ionizáló sugárzás az emberi életet, az egészségét, vagy az anyagi javakat és a természeti környezetet a nemzetközileg elfogadott mértéken túl veszélyeztethesse [29].

### **2.6.1. AZ ATOMERŐMŰVI ÜZEMELTETÉS BIZTONSÁGI FILOZÓFIÁJA**

Működő energetikai reaktorok elsődleges üzemeltetési szempontja a biztonság. A nukleáris biztonság megőrzése nagy mértékben függ a tervezés, kivitelezés, karbantartás és üzemeltetés alapos és magas színvonalú szemléletétől. A reaktorban keletkező radioaktív izotópok olyan potenciális veszélyforrást jelentenek, melyek nagy mértékben károsíthatják a környezetet és az emberi egészséget, a környezet elszennyeződésének kockázatával párosítva. Éppen ezért a szakemberek legfontosabb feladata a primer és szekunder kör egyensúlyának mindenkori fenntartása és a megtermelt hőenergia elszállítása és hasznosítása.

A reaktorüzemeltetés alapvető biztonsági kritériuma a hűtővíz megléte, valamint a megfelelő védelmi és szabályozó rendszerek hibamentes működtetése. Az egymáshoz kapcsolódó, bonyolult technológiai rendszereken keresztül megvalósuló energiatermelési folyamat során minden rendszer és rendszerelem a bekövetkező paraméterváltozások függvényében van kihatással egymásra. Ezen folyamatok szakszerű ismerete és kezelése biztosítja a mindenkori hatékonyság és a veszélyforrás lehető legalacsonyabb szinten tartását, az optimális termelést.

Az energiatermelő folyamat során a következő alapvető összekapcsolt rendszerhatások következnek be:

- A reaktorból elszállított hőmennyiség változása a gőzfejlesztők által megtermelt gőzmennyiség megváltozásán keresztül van kihatással a szekunderköri rendszerek paramétereire;
- A szekunderkörben történő tápvíz oldali hőmérsékletváltozásai negatív visszacsatolásként eredményeznek hatást a reaktor teljesítményére;
- A villamos hálózaton bekövetkező változások befolyásolják a blokkok által megtermelt energia elszállításának lehetőségeit;
- A környezet hőmérsékletváltozása a hűtővíz hőmérsékletének megváltoztatása útján fejt ki hatást az energiatermelő körfolyamat hatásfokára.

Látható tehát, hogy az üzemeltetés során az egyes rendszerelemeken bekövetkező változások befolyással vannak a komplett működési folyamatra. Az egyensúlyi állapot fenntartása a bekövetkező változások nyomon követése mellett megfelelő információcserével kell, hogy társuljon. Az üzemeltetés és a biztonságpolitika fontos szempontja, hogy a reaktor rendszerének elemei és a fővízkör szerkezeti elemei komoly veszélyforrást jelentenek, mivel azok a felhalmozódott radioaktív anyagok miatt felaktiválódnak. Így minden primerköri rendszerelem potenciális veszélyforrást jelent a környezetre és az emberi egészségre. Ennek tudatában vannak meghatározva az üzemeltetési és biztonsági eljárásrendek. A kritériumok teljesítésére a tervezők az úgynevezett mélységben tagolt védelem elvét alkalmazzák, amely fizikai gátakat jelent az üzemanyag és a környezet között [29].

## 2.7. ÜZEMZAVAROKKAL KAPCSOLATOS BIZTONSÁGI MEGFONTOLÁSOK

A reaktor biztonsági rendszereit a feltételezhető legsúlyosabb üzemzavar elhárítására tervezték, melyek működése során a legsúlyosabb tervezett üzemzavari szituációban is biztosított marad a zóna hűtése és sikeresen megőrzi az üzemanyagkazetták épségét.

A tervezett legsúlyosabb üzemzavar a főkeringtető hurok teljes keresztmetszetű törése, melyből kétirányú hőhordozó kiáramlás történik. Ezzel egyidőben teljes feszültségkimaradás lett feltételezve. Az üzemzavar következtében életbe lépnek a biztonsági védelmi funkciók, ezáltal az SZBV rudak gravitációs úton beesnek a zónába, és leáll a nukleáris láncreakció. Az üzemzavari védelem értelmében villamos és zóna üzemzavari jelek indulnak, aminek hatására leválnak a biztonsági sínszakaszok a normál betáplálásról, a dízel generátorok elindulnak és elindul a Lépcsőzetes Indítási Program is.

A Zóna Üzemzavari Hűtőrendszer (továbbiakban: ZÜHR) szivattyúi és a sprinkler rendszer számára megnyílik az út a reaktorba és a hermetikus térbe történő betáplálásra. Az üzemzavar hatására a reaktor aktív zónájába termelődő remanens hő még olyan jelentős, hogy hűtőközeg nélkül jelentős üzemanyag károsodás léphetne fel és a kazetták inhermetikussá válnának. Ennek elkerülésére a zóna hűtésére van szükség, amely feladatot a ZÜHR lát el. Mivel az üzemzavar teljes feszültségkimaradás mellett feltételezett esemény, ezért az aktív elemeket tartalmazó hűtőrendszer mellett betáplálás nélkül is üzemelő passzív hűtőrendszer is biztosítja a zóna hűtését. A legfontosabb biztonsági funkciókat mérnöki gátak sokasága biztosítja. Ilyen a környezet és a lakosság védelme, melyet egy baleset során szivárgásmentes gátakból álló rendszer szavatol.

Az első gát a nukleáris üzemanyag burkolata, mely megakadályozza a maghasadás során létrejövő izotópok hűtővízbe jutását. A burkolat tömörségvesztése során a hűtőközegbe jutott sugárzást kibocsátó szennyeződés terjedését második gátként a primerkörü hűtőkör berendezéseinek nyomásálló kivitelű fala gátolja. A harmadik mérnöki gátat a primerkörü „főberendezéseket” befogadó hermetikus tér nyomásálló fala (és a lokalizációs rendszer alkotja. Ezen túlmenően aktív és passzív biztonsági rendszerek állnak az üzemeltető rendelkezésére, hogy az ionizáló sugárzás a telephelyen többszörös terhelést, vagy a szabadba jutva környezetszennyezést okozzon és az adott területre jellemző háttérsugárzás mértékét az egészségügyi határérték fölé emelje [30].

### 2.7.1. LÉPCSŐZETES INDÍTÁS PROGRAMJA

Amint arról már szó esett, az atomerőművi blokkok elsődleges biztonsági szempontja a reaktor, az aktív zóna hűtése. Ezt a feladatot minden üzemi és üzemzavari helyzetben el kell tudni látni. Ennek kivitelezésére lett kialakítva egy olyan logikai sorrend, mely szerint az üzemzavari fogyasztók elindulnak normál villamos vagy a zóna üzemzavari rendszer indítására, illetve ezekhez tartozik kiegészítésként a fontossági séma, hogy normál villamos energia betáplálási vagy dízel-generátoros indításúak-e. A lépcsőzetes indítású program (továbbiakban: LIP) feladata, hogy üzemzavari szituációban fogadja az indítójeleket. Villamos jel fogadása esetén leválasztja a biztonsági rendszert a hálózatról és elindítja a dízelt generátort.

A továbbiakban a LIP listában szereplő fogyasztókat emberi beavatkozástól függetleníti úgy, hogy letiltja azok kézi működtetését. A rendszer automatikája biztonsági okokból, hogy a fogyasztók egyidejű bekapcsolása esetén ne lépjen fel hirtelen nagy terhelés, amelyet az elosztók és a dízelgenerátor egyidejűleg nem bírnának el, a terhelést a szoftveres rendszer meghatározott időben elosztja. Előre meghatározott sorrendben rákapcsolja a program a zóna hűtését az üzemzavar alatt is biztosító fogyasztókat a biztonsági sínre. Mivel a zóna biztonságos hűtéséhez üzemzavari helyzetben nem mindig szükséges a teljes ZÜHR, így akkor csak a rendszer egyes részei, illetve berendezései indulnak el [31].

A LIP három program alapján működik:

Lépcsőzetes automatika I-es program: abban az esetben indul, ha a primerkör melegági hurokhőmérséklete, a 6-ból 2 hurokban nagyobb, mint 150°C és feszültség vagy frekvenciacsökkenés lép fel;

- LIP1-ben és TLIP-ben induló programok:
  - Kisnyomású ZÜHR szivattyúk (közbenső hűtőkör szivattyúk, helység ventilátorok);
  - Nagynyomású ZÜHR;
  - FKSZ közbenső hűtőköri szivattyúk;
  - SZBV közbenső hűtőköri szivattyúk;
  - Hermetikustéri ventilátorok;
  - Sprinkler szivattyúk;
  - Szervezett szivárgások szivattyúi.

Lépcsőzetes automatika II-es program: a primerköri indítás/leállítás hideg állapotában indul, illetve programváltás a LIP II-re akkor történik, ha a melegági hurokhőmérséklet 6-ból 5 hurokban kisebb, mint 150°C;

- LIP 2-ben induló programok:
- Pótvíz szivattyú;
- Töménybór szivattyú;
- FKSZ közbenső hűtőköri szivattyúk;
- SZBV közbenső hűtőköri szivattyúk;
- Hermetikustéri ventilátorok;
- Hőhordozó kivonó szivattyú;
- Kisnyomású ZÜHR szivattyúk (közbenső hűtőkör szivattyúk, helység ventilátorok);
- Szervezett szivárgások szivattyúi;
- Átrakó és pihentető medence hűtőköri szivattyú;
- Autonóm szivattyúk.

- Technológiai lépcsőzetes automatika program: abban az esetben, ha a LIP I program mellé ZÜHR jel is fellép.

A LIP indulása után 15 perces időzítés indul el, aminek a feladata, hogy megtiltsa a program manuális bénítását, melynek leteltével az adott rendszer bénítása a blokk- vagy tartalék vezénlyőből végezhető [31].

#### Aktív ZÜHR rendszer

A rendszer feladata a primerköri hűtőközeg hirtelen lehülése miatt felszabaduló reaktivitás lekötése a fővízkörbe táplált 41-46 g/dm<sup>3</sup>-es bórsav oldattal, ezen felül pótolja a csőtörés következtében elveszett primerköri hőhordozót. A hűtés biztosításával az üzemanyag burkolatok sérüléseinek elkerülése is biztosítható.

A feszültségcsökkenés hatására a normál villamos üzemi betáplálás megszűnik, majd a dízel generátorok felfutása után rákapcsolódnak a rendszerek a biztonsági sínekre és elindulnak a lépcsőzetes indítási programnak megfelelően a létfontosságú szivattyúk és ventilátorok. [31]

## 2.7.2. KISNYOMÁSÚ ZÜHR

A nem kompenzálható folyást eredményező üzemzavari helyzetekben, tehát a fővízkör nyomáscsökkenése esetén biztosítja az aktív zóna hűtését, így a remanens hő elvezetésével szubkritikus állapotban tartja a reaktort. A kisnyomású ZÜHR tartályokból 14-17,5 g/dm<sup>3</sup> bórsav oldatot juttat a fővízkörbe, hogy hűtse az aktív zónát.

A tartályok álló elrendezésű, túlfolyóval ellátott rozsdamentes acéltartályok, 285-297 m<sup>3</sup> hűtőközegkapacitással. A szivattyúk szívóági nyomása 0,8 bar, míg a nyomóágon 100-350 t/h vízszállítás valósulhat meg, 7-8 bar nyomáson. A rendszer működésbe lép, amint a térfogatkompenzátor szintje és nyomása vagy a primerkörüi nyomás túl alacsony, illetve, ha a hermetikus tér nyomása az atmoszferikushoz képest túl magas. A reaktoron kialakított csonkok számának csökkentése érdekében a ZÜHR egyik része nem közvetlenül a reaktortartályba, hanem a hidroakkumulátorból vezetékén keresztül juttat bórsavas hűtőközeget a reaktorba. A kisnyomású rendszer üzemeltetésére azonban csak akkor van lehetőség, ha a hidroakkumulátorok hűtővize már beürült a reaktorba és a primerkör nyomás lecsökkent 7 bar alá. A rendeltetésszerű feladatának biztonságos ellátása érdekében három párhuzamos rendszer lett kiépítve, egymástól független technológiai, villamos és irányítástechnikai paraméterekkel.

Redundáns rendszerként, bármely kör meghibásodása sem eredményezi a többi rendszer meghibásodását vagy üzemképtelenségét. Minden rendszerrész tartalmaz egy tartályt, egy szivattyút, egy hőcserélőt, egy zsomp összefolyót, valamint az ezekhez tartozó csővezetéseket és szerelvényeket. Ha a tartály leürült, akkor a hermetikus térben összegyűlt víz, a zsomp összefolyón és a hőcserélőn keresztül jut a szivattyú szívóágába, és a továbbiakban ez a közeg végzi az aktív zóna hűtését. A zsomp összefolyó kialakítása révén képes a 2 mm-nél nagyobb mechanikai szennyeződések kiszűrésére, hogy a szivattyúk szívóágára törmelékek és egyéb szennyeződések ne kerülhessenek. A kisnyomású ZÜHR közvetlen kapcsolatban áll a nagynyomású ZÜHR rendszerrel, mivel a nagynyomású ZÜHR tartály leürülése után a kisnyomású ZÜHR rendszer biztosítja a nagynyomású szivattyúk működéséhez szükséges közeget. A kisnyomású ZÜHR tartály leürülése után a zsomp összefolyón át begyűjtött hőhordozó egy hőcserélőn át kerül lehűtésre mielőtt a technológiai folyamatba újra fel lenne használva. A hőcserélő a biztonsági hűtővíz rendszerről van betáplálva, ami normál üzem során is feltöltött és kilégtelenített állapotban van [32].

### 2.7.3. NAGYNYOMÁSÚ ZÜHR

Olyan üzemzavari szituáció esetén, ahol a pótvízszivattyúkkal a hűtőközeg elfolyás nem kompenzálható, a nagynyomású ZÜHR feladta ezt pótolni, valamint csökkenteni az aktív zóna reaktivitását.

A rendszer a főkeringtető hurkok hidegágának ki nem zárható részein keresztül csatlakozik a fővízkörhöz, biztosítja a felsőblokk hűtését, továbbá a gőzfejlesztő csőtörése esetén a térfogatkompenzátorba fecskendez hűtőközeget, hogy a fővízkör nyomáscsökkenését ellensúlyozza. A rendszer működésének határoló nyomása 93,5 bar. Amennyiben üzemzavari helyzet során az aktív zóna nyomása ennél nagyobb, nyitnak a nyomóági villamos armatúrák.

A nagynyomású ZÜHR 41-46 g/dm<sup>3</sup>-es, 30-40°C-os bórsav oldatot használ hűtőközegként a fővízköri feladatok ellátására. A nagynyomású ZÜHR rendszer a biztonságos üzemelés érdekében három párhuzamos, technológiai, villamos és irányítás-technikailag is független rendszerként került kiépítésre, melyeknek meghibásodása nem befolyásolja a másik két rendszer működését. A rendszer szívóágához kapcsolódik a kisnyomású ZÜHR rendszer szívókollektora, hogy a nagynyomású tartály leürülése után munkaközeget biztosítson a nagynyomású szivattyúnak.

A rendszer szivattyúi a LIP részeként működnek, és megfelelő védelmi jelre kinyitnak a hermetizáló armatúrák a hűtőközeg továbbításához, valamint LIP során a nagynyomású szivattyú kikapcsolására nincs lehetőség. A nagynyomású ZÜHR rendszer 24 órát meghaladó üzemképtelensége esetén, vagy üzemből történő kivétel esetén a blokkot folyamatos leállítással 150°C alá kell hűteni, mivel ezen hőmérsékleti határon felül a nagynyomású rendszernek mindig beszakaszolt állapotban kell lennie.

A nagynyomású tartály álló elrendezésű, rozsdamentes palástlemezről hegesztett, búvó és túlfolyó nyílással ellátott, melyen a szívóági csonk a tartály aljától kb. 20 cm-re emelkedik ki, hogy a tartály alján leülepedett esetleges szennyeződések ne kerüljenek a szivattyúba. A nagynyomású szivattyúk 0,8 bar szívóági és 135-140 bar nyomóági nyomással üzemelnek, mely során 25-65 t/h hűtőközeget továbbítanak [33].

#### **2.7.4. PASSZÍV ZÜHR RENDSZER**

A rendszer lényege, hogy külső segédenergia nélkül képes biztosítani a zóna megbízható hűtését villamos betáplálás hiánya esetén. A passzív rendszer a fizika törvényeit kihasználva működik, mivel jelentős primerköri nyomáscsökkenés esetén az ún. hidroakkumulátorok által tárolt hűtővíz beáramlik a primer csővezetékekbe. A hidroakkumulátorokban a primerköri nyomásnál magasabb lesz a nitrogénpárnás nyomás, így a határoló gátak kinyílnak.

A hidroakkumulátorok akkor lépnek működésbe, amikor a primerköri nyomás 36 bar alá csökken, és 14-17,5 g/dm<sup>3</sup> bórsavkoncentrációjú hűtővizet juttat a reaktorba. Egy reaktorhoz négy tartály tartozik, melyből 2 a felső, 2 pedig a reaktor alsó ágához csatlakozik, belső víztérfogatuk pedig egyenként 50 m<sup>3</sup>, 20 m<sup>3</sup> térfogatkitöltő nitrogénnel. A reaktor teljesítmény alatti biztonságos üzemének feltétele mind a négy tartály üzemképessége [34].

#### **2.7.5. KONDEZÁTOR HŰTŐVÍZ RENDSZER**

A rendszer alapvető feladata, az erőmű blokkjainak megfelelő mennyiségű és minőségű hűtővíz biztosítása, a blokkokhoz tartozó kondenzátorok és az azokat kiszolgáló technológiai hűtővizek ellátása által. A vizet az MJO 2200 típusú, félaxiális, előperdítő lapátosorsos örvényszivattyúk szállítják el, a víz energiatartalmát megnövelve, ami által nő a sebessége. Egy reaktorblokk vízigényét két MJO szivattyú hivatott biztosítani, ebből adódik, hogy a vízkiviteli műben összesen 8 db MJO szivattyú üzemel. Egy MJO szivattyú teljesítménye 32.400-68.400 m<sup>3</sup>/h.

A Dunavíz kettős gerebensoron érkezik az MJO szivattyúkra, ahonnan végcsappantyúkon át jut el a nyersvíz tároló medencébe. A kialakítás következtében a szivattyú üzemén kívüli helyzetében a végcsappantyúk megakadályozzák, hogy a víz visszaáramoljon a szivattyúk felé. A szivattyúk beépítésének és a járókerekek kialakításának köszönhetően a lapátok a legalacsonyabb vízállás esetén is víz alatt vannak.

A szivattyúk által szállított víz a nyersvíz medencébe jut. A vízkiviteli mű két víztároló medencéje nyersvíz és szűrtvíz részre van osztva, mely részeket dobszűrők választanak el egymástól.

A szűrtvíz medencékből a kondenzátor hűtővíz gravitációs úton, blokkonként egy-egy 3600 mm átmérőjű vezetéken jut el a kondenzátorok lecsatlakozási pontjáig. Mint már fentebb említésre került, egy blokkhoz 2 db turbina rendszer, és mindegyikhez 2 db kondenzátor tartozik.

A beérkező 3600 mm-es csővezetékről minden kondenzátorhoz egy-egy 2000 mm átmérőjű lecsatlakozás kapcsolódik, vagyis bejövő csővezetékenként 4 db.

A szűrtvízes medencék szintjét a gazdaságossági és felhasználási szempontok alapján szabályozzák. A kondenzátorokból kilépő ágon lecsatlakozások vannak beszerelve, melyeken keresztül az egyéb segédüzemi fogyasztók hűtővíz ellátása biztosítható.

A kondenzátorok belépő csappantyúi teljesen nyitott állapotban vannak, míg a kilépő vezetékek a blokk aktuális állapotának megfelelő mértékben vannak nyitva, ezzel szabályozva a vízfelhasználást. A kondenzátoronkénti hűtővízforgalom így 44000 m<sup>3</sup>/h körül alakul [35].

## **Tápvíz rendszerek**

A szekunder kör azon része, mely a gőzfejlesztőkbe juttatja a szekunderkörü hűhordozót, az a tápvíz rendszer. Ezek a blokkonként meghatározott, eltérő rendeltetésű alrendszerekből álló hűtővíz biztosító rendszerek összessége, az üzemi, üzemzavari és kiegészítő üzemzavari tápvízrendszerből épül fel.

### **2.7.6. ÜZEMI TÁPVÍZ RENDSZER**

Feladata a főkondenzátum rendszeren érkező kondenzátum gáztalanítása és előmelegítése, továbbá megfelelő vízkészlet tárolása és a nagynyomású előmelegítőben előmelegített tápvíz eljuttatása a gőzfejlesztőkbe. A gőzfejlesztőn belül a rendszer szabályozza a vízszintet, továbbá részt vesz a primerkörü rendszerek lehűtési és felfűtési technológiájában is. Normál működés során is ellátja munkaközeggel az üzemzavari tápvízrendszer szívóágát, hogy az bármikor működésbe tudjon lépni. A főkondenzátum szivattyúk a hűtővizet a kisnyomású előmelegítőbe áramoltatják, ahonnan a táptartályba kerül.

Innen jut a tápszivattyúk szívóágára a kondenzátum, ahonnan a nagynyomású előmelegítőre kerül, innen az elzáró szerelvényeken és szintszabályzókon keresztül ellátja a gőzfejlesztőket megfelelő mennyiségű hűtővízzel.

Blokkonként négy tápszivattyú működik 72 bar nyomáson, 740 t/h tömegárammal, és egy automatikus tartalékba van helyezve. A táptartályban a hűtővíz 164°C-on, 6 bar-on van tartva, és 2300 mm a tartály feltöltött vízszintje. A 120m<sup>3</sup>-es táptartályban megy végbe a tápvíz termikus gáztalanítása, részben előmelegítése. A táptartályokon lévő gáztalanító oszlopok végzik a gáztalanítást úgy, hogy a vizet apró cseppekre bontja és forráspontig hevíti. A forrásban lévő víz gázoldó képessége kicsi, így az elnyelt gázok felszabadulnak. A folyamat lényege, hogy mivel a vízben oldott oxigén korróziót okoz, ezért azt el kell távolítani, így a kisnyomású előmelegítőből érkező 148°C-os hőmérsékletű főkondenzátum a táptartály gáztalanító dómjában keveredik a turbina megcsapolásáról vett fűtőgőzzel. A szivattyúk a tápvizet a 3 sorba kapcsolt nagynyomású előmelegítőkön keresztül juttatják el a tápfej elosztó kollektorába, ahol a tápvíz hőmérséklete már 225°C.

Az előmelegítők után a tápvíz kollektorból szétszakaszolja a tápvizet a páros és páratlan számú gőzfejlesztőkre. A tápvíz a táptartály összekötő vezetékénél csatlakozik a lehűtő rendszer szívóágához, illetve annak nyomóága pedig a tápvíz szivattyúk nyomóágához csatlakozik [36].

### **2.7.7. SÓTALANVÍZ RENDSZER**

Üzemzavari helyzetben a 3-3 db 1000m<sup>3</sup>-es sótalan víztartályban lévő vízmennyiség biztosítja a blokkok lehűtését. Normál üzem során, blokkindításnál ezek a tartályok biztosítják a megfelelő mennyiségű és minőségű vizet a szekunderköri rendszerek feltöltéséhez, valamint a szekunderköri hűtővíz veszteségek folyamatos utánpótlása is innen történik. Ezen felül tápvíz veszteses üzemzavarok esetén biztosítja a kiegészítő üzemzavari tápvízrendszer (továbbiakban: KÜTR) szivattyúk hűtővízigényét.

A rendszer a két szomszédos blokkra közös, tehát kiépítésenként 3 sótalanvíz tartály van hozzárendelve a technológiához. A sótalanvíz előállítását az atomerőmű vegyészeti osztályán lévő vízlágyító végzi a Dunából vett vízből. A tartályokból három szivattyú szállítja a sótalanvíz gerincbe, ahol a blokki fogyasztók lecsatlakozásai elvezetik a technológia adott pontjaira.

A két különálló sótalánvíz tartály együttes vezetékei össze vannak kötve egymással, így szükséges esetben a két rendszer együttesen is üzemeltethető. Normál üzem során a sótalán vízrendszer 15 m<sup>3</sup>/h vízfogyasztást biztosít blokkonként 12 bar nyomáson a 30°C-os hőmérséklettel, amely paramétereiből látható, hogy a sótalánvíz rendszer és a táptartályban lévő víz között nagy a hőmérsékletkülönbség. Ennek értelmében, a tápvíz tartályba csak teljes feszültségkimaradásos üzemzavar esetén lehet közvetlenül betáplálni, egyébként a kondenzátoron keresztül kell bejuttatni a hűtővizet [36].

### **2.7.8. A LEHŰTŐ RENDSZER**

A lehűtő rendszer a blokkok lehűtési üzemmódjában ezeken a vezetékeken keresztül vesz részt a tápvíz rendszer lehűtésében, hogy leállított reaktor mellett is biztosítva legyen a primerköri hőelvonás. A blokk tervezett vagy üzemzavari leállításakor a szekunder kör a lehűtő rendszer által közre játszik a primerkör megfelelő sebességgel történő lehűtésében. Ezen felül blokkindításkor a felfűtésben és üzemben kívüli állapotban a remanens hő elvezetésében van szerepe. Egy blokkhoz egy lehűtő rendszer tartozik, mely két önálló párhuzamos ágból áll. A párhuzamosítás oka, hogy amennyiben az egyik ág üzemképtelenné válik, vagy javításra szorul, a másik ág teljes mértékben képes ellátni a rendeltetett feladatát. A rendszer azon kevés szekunderköri rendszer közé tartozik, amely normál üzem közben nem működik, de üzemkész állapotban van [37].

### **2.7.9. ÜZEMZAVARI TÁPVÍZRENDSZER**

A primerköri hűtés elengedhetetlen része a gőzfejlesztők megfelelő tápvíz ellátása. Annak érdekében, hogy ez mindenkor biztosított legyen, blokkonként egy üzemzavari tápvízrendszer került kialakításra. A rendszer két üzemzavari tápszivattyút és azok csővezetékét foglalja magába. Szívókollektora a tápvízével közös és mint már említésre került annak szívóága állandóan feltöltött állapotban van. Az üzemzavari tápvízszivattyúk nyomóága azonban eltér a normál üzemi tápvízrendszerétől, ugyanis a nagynyomású előmelegítők megkerülésével kapcsolódnak a tápvíz kollektorra. Az üzemzavari tápvízszivattyúk normál villamos betáplálás esetén is működőképesek maradnak a diesel generátorok által, tehát a biztonsági villamos betáplálási sorba vannak illesztve. Egy üzemzavari szivattyú 60 bar-on 65 t/h tömegárammal képes vizet juttatni a kollektoron keresztül a gőzfejlesztőbe. A gőzfejlesztő adott vízcsökkenése vagy a tápvíz kollektorok nyomáscsökkenése esetén.

Alapvetően a rendszer úgy lett tervezve, hogy leállított reaktor mellett képes legyen biztosítani a gőzfejlesztőkön keresztül a primerköri remanens hő elvezetését, ami kb. 60 t/h. A blokk lehűtése esetén, amikor az üzemi tápszivattyúkat leállítják, az üzemzavari tápvíz szivattyúk látják el a hőelvezetést, amíg a lehűtő rendszer szivattyúi el nem indulnak és átveszik ezt a feladatot [38].

### **2.7.10. KIEGÉSZÍTŐ ÜZEMZAVARI TÁPVÍZRENDSZER**

Azokra a nagyon kis valószínűséggel bekövetkező eshetőségekre, amikor sem az üzemi, sem pedig az üzemzavari tápszivattyú nem képes ellátni a feladatát, működésbe lép a külön erre a célra kiépített KÜTR, hiszen a primerköri remanens hő nem maradhat hőlevonó közeg nélkül. Blokkonként egy KÜTR került létesítésre az üzemi és üzemzavari rendszerek és azok útvonalaitól függetlenül. A rendszert három sótalánvíz tartály, két kiegészítő üzemzavari tápvíz szivattyú (továbbiakban: KÜTSZ), gőzfejlesztőnként külön kiegészítő üzemzavari tápfej, valamint a rendszer csővezetékei és armatúrai alkotják. A szivattyúk szívóága az udvartéren elhelyezett, már említett sótalán víztartályokra csatlakozik, melyben a vízminőség, a vízszint és a víz hőmérséklete (30-35°C) mindenkor szigorúan szabályozott. A szivattyúk nyomóága közös nyomó kollektorba csatlakozik, melyről a páros és páratlan számú gőzfejlesztők szeparáltan megtáplálhatók, a tolózáraknak köszönhetően. Ennek a kialakításnak köszönhetően lehetőség van arra, hogy az egyik ági kollektortörés esetén azt a tolózárakkal kiszakaszolják és a hőelvezetés továbbra is biztosított legyen másik három gőzfejlesztőn keresztül. Mint már említésre került a sótalán víztartályok össze vannak kötve egymással, ebből következik, hogy a KÜTR szivattyúk mind a hat sótalánvíztartályt képesek használni, valamint a további biztonsági kialakítás eredményeképpen a KÜTR nyomóágak is összekötésre kerültek, amivel biztosítani lehet a szomszédos blokkok hűtővízellátását is.

A biztonsági további fokozása érdekében a KÜTR rendszerhez udvartéri külső csatlakozási pontok is lettek kialakítva, amivel a tűzoltóság speciálisan erre a célra felszerelt eszközein keresztül megtáplálást lehet biztosítani. Az Atomerőmű Tűzoltóság ezt az úgynevezett súlyosbaleset-kezelési protokollja alapján végzi. Normál üzemi állapotban a rendszer és szivattyúi feltöltött készenléti, villamos szempontból beszakaszolt állapotban vannak [38].

### **2.7.11. BIZTONSÁGI HŰTŐVÍZ RENDSZER**

Az atomerőmű olyan berendezéseinek az ellátásra szolgál, amelyek normál üzemi állapotban állandó és biztonságos hűtést vagy üzemzavar esetén lehűtést igényelnek. Normál üzemben ez a rendszer biztosítja azt, hogy a hűtést igénylő berendezések és technológiai közegek az optimálisan biztonságos tartományon belül legyenek tartva. A rendszer a blokkok leállítása után is tovább üzemel, a remanens hő folyamatos elvezetése érdekében. Üzemzavar esetén a ZÜHR hőcserélői számára juttat hűtővizet, továbbá szükség esetén a diesel generátorok felé is biztosítja a vízbetáplálást. A biztonsági hűtővíz rendszer szivattyúira előszűrt Duna-víz érkezik, melyet az utószűrőkön keresztül továbbít a fogyasztókig.

A biztonsági hűtővíz rendszer fogyasztói:

- Főkeringtető szivattyú és az SZBV közbenső hűtőkör hűtése;
- pótvíz szivattyú motorok-, és olajrendszerük hűtése;
- pihentető medence hűtőkör hőcserélői;
- hidrogén égető hőcserélői;
- főépületi gáztisztító rendszer hőcserélői;
- fedélzeti tűzoltó rendszer kamerák hűtése;
- reaktor akna, BOX, és egyéb primerköri recirkulációs léghűtő rendszer hűtése;
- ZÜHR hőcserélői, valamint ezen rendszerek és villanymotorok hűtése;
- lehűtő kondenzátorok és szivattyúk csapágyhűtése;
- főgőz rendszerhez tartozó gamma detektorok hűtése;
- dízelgenerátorok hűtése.

A redundáns biztonsági elvek betartása érdekében kiépítésenként három, egymástól független vízszállító, kilégtelenített csővezeték rendszer került kiépítésre, ágaként két mennyiség szabályozás mentes szivattyúval, mivel azok vízforgalmát a fogyasztók felhasználási követelményei határozzák meg. Normál üzem során ágaként egy szivattyú üzemel, melyeket kiépítésenként 3x2 BQS szivattyú lát el vízzel [39].

A primer köri fogyasztókhoz és a ZÜHR fogyasztókhoz a szekunder kör felől a hűtővíz csőrendszer két különböző helyen csatlakozik a primer körbe, ahonnan a beérkező kollektorról ágazik tovább az egyes fogyasztókhoz.

A hármas redundáns rendszerek működéséből fakadóan az egyes ágak üzemképtelensége esetén lehetőség van az ágak közti átkötésen keresztül pótolni a hűtővizet. A szivattyúk működtetésére szolgáló áramellátási igényeknek megfelelően teljes rendszer-áramellátászavar esetén a betáplálást a diesel generátorok biztosítják. A rendszer rendelkezik passzív biztonsági elemmel, ez a biztonsági hűtővíz tartály, mely a páratlan blokkokon a szekunderkörben található meg.

Mivel a rendszer üzemképtelensége hatással van a nukleáris biztonságra, ezért 2-2 komplett csere-tartalék villamos motor és szivattyú áll rendelkezésre a vízkiviteli műben, hogy a maximális 24 órán belüli javítási idő tartható legyen. Ezen felül minden biztonsági hűtővízszivattyú rendelkezik tartalékkal, ami abban az esetben indul el, ha a nyomóoldalon a nyomás 3 másodpercet meghaladóan 4 bar alá esik. A BQS szivattyúk az MJO szivattyúkhoz hasonlóan a hidegvizes csatornából vételeznek vizet gerebensorokon és szalagszűrőn keresztül, melyek felfogják a nagyobb szennyeződések és automatikus tisztítást is végeznek túlnyomásos túlterhelődés elleni védelemmel ellátva.

A vízszivattyúk által szállított víz automatikus légtelenítésű DDS típusú forgó dobszűrőkön keresztül halad át a további tisztítás és üzembiztonság céljából. A biztonsági fogyasztókon a hűtővíz keresztülhaladva felmelegszik és a gépházban a fogyasztói sor után újra egyesült csővezetéken keresztül jut el a dozimetriai aknáig, ahol az elmenő vízáram folyamatos ellenőrzésen megy keresztül.

A teljes biztonsági hűtővíz rendszer úgy lett megtervezve, hogy ne kapcsolódjon más külső rendszerekhez és független legyen a többi hűtővíz rendszertől. Az atomerőmű biztonságos megvalósítási elve alapján három külön biztonsági hűtővíz kör üzemel, ezek az X, Y és W jelű vízutak, melyek áganként és kiépítésenként is függetlenek egymástól, egészen a dozimetriai aknáig.

A rendszer működése és működési védelme nagyban kötött a primerköri és hermetikus téri nyomáshoz, valamint az üzemi hőmérsékletéhez. Az ezekben bekövetkező változások függvényében kerülnek automatikusan működtetésre vagy szabályozásra a rendszerek és azok meghibásodása esetén az azokat kiváltó egységek és rendszerátkötések [39].

### **2.7.12. FŐVÍZKÖRI RENDSZER**

A fővízköri rendszer feladata a reaktor aktív zónájában a szabályozott nukleáris láncreakció során keletkező hőmennyiség felvétele és szeparált átadása a szekunderköri víznek, mely által a gőzfejlesztőkben elgőzölögtetve a szekunderköri vizet előállításra kerül a turbinák üzemeltetéséhez szükséges telített gőz.

Egy reaktorhoz hat NA 500-as csővezetékekből álló fővízköri hurok tartozik, azonos berendezésekkel és minden hurkon a kezelhetőséget és kizárhatóságot biztosító főelzáró tolózárrakkal (továbbiakban: FET). A hőhordozó hűtővíz 0-14 g/dm<sup>3</sup> bórsav koncentrációjú tisztakondenzátum, amit a minimális korrózió érdekében szigorú vízkémiai paramétereken belül kell tartani, tehát vízalapja olyan minőségű és mennyiségű sómentes víz, melyre a technológiai folyamatokhoz szükség van.

A hűtővíz a reaktor felső, melegági elvezetésein lép ki és egy FET-en keresztül lép be a gőzfejlesztőbe, itt a hőátadó csővezetékeken keresztül átadja a hőt a szekunderköri hőhordozónak, ahonnan a hidegágon elhelyezkedő FKSZ keringteti vissza a hűtővizet 7100 m<sup>3</sup>/h tömegárammal a hidegági FET-en keresztül a reaktor alsó, hidegági becsatlakozásába. A hurkokat számozással azonosítják, melyhez minden blokkon a pihentető medence adja a támpontot. A szekunderköri fal felől nézve, a pihentető medence jobb oldalánál található az 1-es hurok és a számozás az óramutató járásával megegyezően folytatódik [40].

### **2.7.13. A FŐVÍZKÖR FŐBERENDEZÉSEI:**

A FET-ek működtetésére szolgáló villanymotor és hajtás a „fedélzeten” található, a Reaktor épület A301-es helységében, valamint a hozzá tartozó elzáró szerelvény a „BOX” -ban, az A201-es helységben, ahol a gőzfejlesztők is el vannak helyezve. A térrészek, emeletek közti földem áttörésre gumimembrános megoldást használnak. A hermetikus térben lévő berendezések biztonságos üzeméhez folyamatos légcserére van szükség, melyhez kb. 500 m<sup>3</sup>/h levegőáramoltatást valósítanak meg.

A levegőcsere az A301 felől az A201 helység felé irányítottan történik meg a ventilátorok által. Normál esetben a FET 10 bar alatti nyomáskülönbség mellett üzemeltethető, amely alól kivételt képeznek az üzemzavari helyzetek, amikor akár 127 bar nyomáson is üzemeltethetők. A magas nyomás esetén azonban korlátozásokat kell figyelembe venni.

A tolózár zárónyelvén megengedett maximális nyomás 196 bar, melyet maximum 60 percig lehet fenntartani. Az NA 500-as csővezetékek speciális minőségjelű saválló acélból készülnek. Beépítésük teljesen hőszigetelten történik, a külső hőmérséklet okozta hőveszteség elkerülése érdekében. A csővezetékek szigetelését ausztenites borítás védi. A szigetelések fedésére alumínium nem használható, annak csőtörés esetén bekövetkező kedvezőtlen kémiai reakciója miatt, mivel a hűtésre használt víz és az alumínium reakciója során erős H<sub>2</sub> képződés következik be, ami robbanáshoz vezethet. Egy zárt téri robbanás ezen csővezetékeket összekötő rendszerek estében kiszámíthatatlan következményekkel járna. Mint már említésre került, a primerköri hőhordozó keringtetése a primerköri hurkon és a gőzfejlesztőn keresztül az FKSZ által történik. Az FKSZ egy függőleges elrendezésű, egyfokozatú, különálló villamos motorral ellátott, zárt járókerekes centrifugál szivattyú. Működését csúszógyűrűs tengelytömítés, axiális tehermentesítő mágnes és speciális segédrendszerek egészítik ki, melyek a szavatolják a működés biztonságos paramétereit (pl.: közbenső hűtőkör, záróvíz rendszer, olajrendszer, autonóm hűtőkör, záróvíz rendszer, szervezett szivárgás rendszere és tömítőblokk mosató rendszer) [40].

#### **2.7.14. TÉRFOGATKIEGYENLÍTŐ RENDSZER**

A térfogatkompenzátor biztonsági szelepeinek rendeltetése a primerköri rendszerek túlnyomás elleni védelme. Adott túlnyomáson a szelepek nyitnak és gőzt engednek a térfogatkompenzátorból a buborékolató tartályba, csökkentve a fővízköri nyomást. A térfogatkiegyenlítő tartály függőleges elrendezésű, szigetelt szénacél tartály, ausztenites belső plattírozással ellátva. Teljes térfogata 44 m<sup>3</sup>. A tartály alján található NA 300-as csonkon keresztül, két vezetékkel kapcsolódik a fővízkörhöz. A tartályon több vízszint és nyomásmérő berendezés található, valamint a hengerpalást alsó részén fűtőtestek vannak bevezetve a vízhőmérséklet szabályozására. A tartály tetején búvónyílás lett kialakítva, megfelelő tömítéssel az üzembiztonság érdekében, egy vízbefecskendezésre szolgáló és egy biztonsági szelepek felé történő vízelvezető csonkkal. A tartályban a telített gőzös nyomástartás elvét alkalmazzák, tehát a tartályon belül a víztér felett telített állapotú gőz található. Ez annyit jelent, hogy olyan víz-gőz állandó arányú egyensúlyi állapotot tart fenn a rendszer, amelyben egységnyi idő alatt ugyanannyi gőz kondenzálódik vízzé, mint amennyi a vízből kiforrás hatására gőzzé alakul.

A rendszer fontos szerepet játszik a primerköri technológia biztonságos működésében, valamint jelentős szerepet tölt be a védelmi rendszerben, mivel első védvonalként szolgál a primerköri nyomás megfelelő szinten tartására minden üzemállapotban. A térfogatkiegyenlítő rendszer és a kiegyenlítő tartály szerves része a fővízkörnek. Ennek értelmében üzemképességét minden esetben biztosítani kell. Üzemből történő kivételre csak abban az esetben kerülhet sor, ha a primerköri hőhordozó hőmérséklete  $60^{\circ}\text{C}$  alá csökkent és a reaktorban a vízszint a főosztósík alá csökkent [41].

Feladatai:

- Nyomásmentes állapotban létrehozza a szükséges primerköri nyomás;
- Normál üzemállapotban szabályozza a primerköri nyomást;
- Biztonsági szelepekkel szabályozza a fővízkört;
- A rendszer a reaktortartály hideg túlnyomásvédelmét is ellátja;
- A technológiai lefúvatások és biztonsági szelepek áteresztésekor keletkező gőzök lekondenzálását végzi a buborékoltató tartályba.

### **2.7.15. LOKALIZÁCIÓS TORONY RENDSZERE**

Az atomerőműben a nukleáris technológia rendszerelemei a túlnyomásra tervezett hermetikus téren belül kerültek elhelyezésre. A hermetikus tér több helységből álló, bonyolult geometriájú, de egy közös légteret alkotó 1,5 méter vastag vasbeton fallal határolt, külső és belső felületén lemezborítással ellátott része a reaktorépületnek. Biztonsági okokból a tervezett legnagyobb üzemzavar esetére is tömören zárónak kell lennie, és ahhoz, hogy az esetlegesen kialakult üzemzavari helyzetből adódó túlnyomás ne érje el a szerkezeti elemek károsodását okozó megnövekedett értéket, két különböző elven működő nyomáscsökkentő rendszer került kiépítésre. Az egyik rendszer a sprinkler rendszer, amely hideg bórsav oldatot permetez a hermetikus tér légterébe, lekondenzálva a bent keletkezett gőzt, csökkentve ezzel a nyomást. Azonban a nagy átmérőjű csővezeték törése olyan gyors nyomásnövekedést eredményezne, amely során a hermetikus tér határoló és nyomástartó elemei biztosan megsérülnének, ezért a nyomáselvezetésre a hermetikus tér kialakítása során hozzáépítésre került a lokalizációs torony rendszer, ami időkiesés nélkül részt vesz a hermetikus tér nyomásvédelmében.

A lokalizációs rendszer a primerkörü nyomáscsökkentésre szolgáló biztonsági rendszerek passzív eleme, tehát nem rendelkezik segédenergiát igénylő aktív elemmel. A gőz-levegő keverék a gőzfejlesztők boxából két átömlő folyosón keresztül jut el a toronyba. A lokalizációs toronyban egymás fölött került elhelyezésre 12 db, 12g/dm<sup>3</sup> koncentrációjú 30-40°C hőmérsékletű bórsav oldattal feltöltött tálca, melyekben buborékoltató kondenzátorok lettek kialakítva, táv működtetésű töltő és ürítő csővezetékekkel, valamint vízszint jelző szondákkal. Az egyenként 100m<sup>3</sup>-es tálcák feladata, hogy vízzárral válasszák el a tálcák köpenyterét a hermetikus tér légterétől, lekondenzálva a rajta átbuborékoló gőzt. A köpenytér a tálca vízszintje feletti, lemezzel határolt, a hermetikus tér légterétől elválasztott térrész.

A hermetikus tér felől áramló gőz a tálca alján elhelyezett vályúba áramlik, ahol egy nyíláson át a tetején és oldalán zárt harangnak ütközve visszakényszerül a bóros oldatot tartalmazó tartály vályúba. A köpenytér oldalán két darab önzáró áteresztő szelep biztosítja a kapcsolatot a hermetikus légtérrel. A lokalizációs rendszer négy levegőcsapdával rendelkezik, amikhez darabonként 3 tálca köpenytere kapcsolódik 500 mm névleges átmérőjű átömlő csővel, ezek feladata pedig a hermetikus térből kiszorított, a buborékoltató tálcák vízzárain kondenzált levegő befogadása és benntartása.

A buborékoltató tartályok tálcáit a kisnyomású ZÜHR rendszer tartályaiból lehet feltölteni. A buborékoltató kondenzátorok hűtéséhez a technológiai hűtővíz rendszer biztosít közeget. Mivel a rendszer hatással van a nukleáris biztonságra, ezért annak üzemből történő kivonására csak leállított és lehűtött blokk esetében kerülhet sor. A rendszer részt vesz a súlyos balesetkezelésben is, melynek során a reaktorakna elárasztásra kerül.

A reaktorakna külső hűtésével megvalósítható az olvadék benntartása a tartály szerkezeti épségének megóvásával. Ezen felül így a beton és olvadék reakciója is meggátolható. Amennyiben üzemzavar során már nem várható további olyan esemény, melynek kezeléséhez a tálcákon lévő vízmennyiségre és a buborékoltató tálcák működésére van szükség, lehetőség van a buborékoltató tálcák tervszerű leürítése is az elegendő mennyiségű hűtőközeg biztosítására a reaktorakna elárasztásához. A vízmennyiség jelentős része a tálcaürítő armatúrák nyitásával engedhető le és az alsó tálcákon történő túlfolyással a hermetikus tér padlóján gyűlik össze [42]

## 2.7.16. A SPRINKLER RENDSZER

Amíg a lokalizációs torony a primerköri túlnyomásvédelem passzív eleme, addig a sprinkler rendszer feladata, hogy üzemzavar esetén, mint aktív védelmi rendszer megakadályozza a hermetikus tér nyomásának növekedését és megkösse a gáz-gőz elegyben lévő jódot izotópokat.

A rendszer a normál hermetikus téren belüli nyomás 100 mbar-al történő megnövekedésekor lép életbe, azaz 1,1 bar abszolút nyomás esetén, amikor is 14 g/dm<sup>3</sup>-es bórsav tartalmú oldatot permetez a hermetikus térbe. Ahhoz, hogy a jódot izotópok is megkötésre kerüljenek, az oldathoz kálium-hidroxidot és hidrazin-hidrátot adagolnak.

A rendszer biztonsága érdekében három redundáns rendszer került kiépítésre, amelyek a korábbiakban elemzett rendszerekhez hasonlóan egymástól független működéssel rendelkeznek, technológiai, villamos és irányítástechnológiai oldalról egyaránt.

A sprinkler szivattyúk indulása automatikus, a LIP program része. A szivattyúkkal egyidejűleg elindulnak a közbenső hűtőkori szivattyúk, a helységűtő ventilátorok, nyitnak a biztonsági hűtő armatúrák, nyitnak a ZÜHR szivattyúk kollektorainak armatúrái. Amennyiben a hermetikus térben depresszió lép fel, a sprinkler rendszer befecskendezési útvonalai kizáródnak, mivel a későbbi befecskendezés során rontaná annak hatásfokát.

A vegyszertartály csővezetékének armatúrája a vízszugár szivattyú felé kinyit, amennyiben a hermetikus tér nyomás eléri a normál nyomáshoz viszonyított +100mbar-t. A nukleáris biztonság érdekében a sprinkler rendszer két szivattyújának egyidejű működésképtelensége esetén a blokkot le kell állítani.

A sprinkler rendszer vegyszertartályához a kisnyomású ZÜHR tartály biztosít munkaközeget, amit a vízszugárszivattyú üzemeltet. A sprinkler szivattyú szállított mennyisége 90-560 t/h, szívóági nyomása 0,8 bar, a nyomóági pedig 6,5-7 bar. A vegyszertartály térfogata 11m<sup>3</sup>, hőmérséklete atmoszférikus nyomáson 20-40 °C., Amivel a sprinkler rendszer aktív védelmi eleme a biztonságnak, ezért annak működőképességére különös figyelmet kell fordítani [43].

## **2.8. A SÚLYOS BALESETKEZELÉS RENDSZEREI**

### **A reaktorakna elárasztása**

A jelenlegi tervezésen felüli üzemzavarok következményeképpen előfordulhat, hogy az aktív zóna egésze vagy bizonyos része megolvad a hűtés hiányosságából fakadóan. A reaktortartályra ható megnövekedett hőterhelés miatt az olvadék kikerülhet a reaktortartályból, ezért a súlyos balesetkezelési eljárás legfőbb célja a reaktortartály épségének védelme és az olvadék reakcióba lépése más anyagokkal. Ennek megakadályozására kialakításra kerültek olyan rendszerek, melyek feladata a reaktorakna elárasztása és a reaktortartályfal külső hűtése. A feltételezett zónaolvadással járó üzemzavari esemény után a gőzfejlesztő boxba juttat hűtővizet, ahonnan a padlón összegyűlve a normál üzem során levegőhűtésére szánt nyílásain át lefolyva elárasztja a betonaknákat, melyek elégséges hűtéssel látják el a reaktortartály külső felületét. Hogy az elárasztás elég gyorsan bekövetkezzen, megfelelő mennyiségű hűtővizet kell a reaktortartályhoz juttatni. Ekkora mennyiségű fel nem használandó és megfelelő minőségű hűtőközeg áll rendelkezésre a lokalizációs torony buborékoltató kondenzátor tálcákon, ami igénybe vehető abban az esetben, ha már nem várható további box túlnyomást előidéző üzemzavari esemény, hiszen ahhoz a tálcák funkcionális működésére szükség lenne. Az ürítő armatúrák villamos oldali betáplálási problémája esetén azt a dízel generátor látja el feszültséggel. A második generációs nyomottvizes erőművektől letérően a harmadik generációs nyomottvizes erőművek esetében ez a tervezés már túlmutat. Az új, fokozott biztonsági rendszer már tartalmaz egy úgynevezett zóna olvadék csapdát is, melynek a feladata kifejezetten a fent említett olvadékok kezelése és hűtése, speciálisan erre az eljárásra kiépített technológiai és épületgépészeti megoldásokkal [44].

### **2.8.1. HIDROGÉNREKOMBINÁTOR RENDSZER**

Amennyiben a primerkörből kiváló hidrogén üzemzavari szituációban a hermetikus tér légterébe kerül, robbanóképes elegy keletkezik. Ennek forrása lehet a hűtőközegben oldott formában található hidrogén, a fővízköri hőhordozó alkotóelemeire bomlása a neutron sugárzás hatására végbemenő radiolízis során, vagy a primerköri vízben lévő hidrazin-hidrát bomlása révén. További hidrogén felszabadulást eredményezhet a zónaolvadás következtében megolvadt fűtőelem pálcák cirkónium ötvözetének vízgőzzel történő reakciója, melynek során intenzív hidrogén gáz képződés megy végbe.

Ezen gáz keletkezésének megakadályozására és a létrejött mennyiség kezelésére lettek kiépítve a hidrogénrekombinátorok. A berendezések passzív működtetésűek, a palládium katalizátorok segítségével égetik el a hidrogént úgy, hogy a környezeti hőmérséklet nem változik meg. A hermetikus tér épségének megőrzése és a környezetbe történő veszélyes anyag kibocsátás elkerülése érdekében ez a rendszer szintén fontos nukleáris védelmi szerepet tölt be. A hidrogénrekombinátorok kémiai reakcióval, katalitikus égéssel csökkentik a hidrogén mennyiséget, miközben vízgőz keletkezik a rajta átáramoltatott közegből [44].

### **2.8.2. PIHENTETŐ MEDENCE LEÜRÜLÉS ÉS HŰTŐKÖR ÜZEMKÉPTELENSÉG MEGAKADÁLYOZÁSA**

A pihentető medence hűtésének kimaradása és a kiégett fűtőelemek sérüléséből származó balesetek megelőzésére külön eljárás kidolgozása vált szükségessé. Megállapításra került, hogy a pihentető medencéhez tartozó csővezetékek nem kizárható részeinek sérüléséből adódhat hűtőközegvesztés, ami aztán kiégett fűtőelem sérülésével járhat a megfelelő alternatív hűtővíz biztosítása nélkül [44].

### **2.8.3. ÖSSZEFOGLALÓ AZ ATOMERŐMŰVEK BEAVATKOZÓ TŰZVÉDELMEÉRŐL**

Szükségesnek tartom áttekinteni a legfontosabb szakmai szabályzókat, melyek alapvetően meghatározzák a beavatkozó tűzvédelem területén történő szakszerű beavatkozást.

*Az 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról [45].* A törvény hatálya az atomenergia békés célú alkalmazására és az azzal kapcsolatos jogosultságokra, valamint kötelezettségekre, továbbá az embereknek, valamint az élő és élettelen környezetnek a természetes és mesterséges eredetű ionizáló sugárzás káros hatásai elleni védelmére terjed ki. A törvényben megfogalmazott alapelvek közül jelen dolgozat szempontjából a 4. § (2) a legfontosabb, mely kimondja, hogy Az atomenergia alkalmazása közben a biztonságnek minden más szemponttal szemben elsőbbsége van.

Ez határozza meg és jellemzi legjobban egy nukleáris erőmű működésének szakmaiságát ez kell, hogy jellemezze a tűzoltói munkát és beavatkozásokat az ionizáló sugárzásnak kitett, vagy azzal szoros összefüggésben működő egyéb területeken is.

A törvény célja:

- Az atomenergia biztonságos alkalmazásának szabályozása
- Az élet, egészség, környezet és vagyon védelme
- A nukleáris biztonság és sugárvédelem követelményeinek rögzítése
- A nukleáris károkért való felelősségi rendszer meghatározása

A törvény hatálya kiterjed többek között:

- nukleáris létesítményekre, radioaktív anyagokra és sugárforrásokra
- radioaktív hulladék kezelésére
- nukleáris anyagok szállítására
- sugárvédelemmel kapcsolatos tevékenységekre

A hatóságok feladata az engedélyezés, ellenőrzés, felügyelet, szükség esetén korlátozó intézkedések elrendelése.

Nukleáris létesítmények szabályozása, a törvény rögzíti a létesítés - üzemeltetési követelményeket, biztonsági elemzések szükségességét, leszerelési kötelezettségeket, fizikai védelem követelményeit.

Sugárvédelem alapelvei az indokoltság elve, optimalizálás (ALARA elv), dóziskorlátok alkalmazása, lakosság és munkavállalók védelme, sugárveszélyes tevékenységek engedélyezése.

Nukleárisbaleset-elhárítás:

- A törvény előírja a nukleáris vészhelyzeti tervek készítését, balesetelhárítási szervezetek együttműködését, lakosságvédelmi intézkedések biztosítását, mérési és monitoring rendszerek működtetését.

Radioaktív hulladék kezelése:

- A törvény szabályozza a radioaktív hulladék gyűjtését, kezelését és tárolását, a végleges elhelyezését, hosszú távú biztonsági követelményeket.

Nukleáris károkért való felelősség:

- A törvény meghatározza az üzemeltető objektív felelősségét, kártérítési kötelezettséget, biztosítási követelményeket, nemzetközi egyezményekhez való igazodást.

Tervezési és ellenőrzési kötelezettségek, biztonsági jelentések készítése, rendszeres felülvizsgálatok, hatósági ellenőrzések, biztonsági kultúra fenntartása.

A következő kiemelkedő fontosságú jogszabály A 167/2010. (V. 11.) Korm. rendelet az országos nukleárisbaleset-elhárítási rendszerről, mely meghatározza Magyarország országos nukleárisbaleset-elhárítási rendszerének szervezeti és működési kereteit [46]. A szabályozás rögzíti az irányítási struktúrát, az együttműködő szervezetek feladatait, valamint a lakosságvédelmi intézkedések végrehajtásának rendjét. A rendelet kiemelt szerepet tulajdonít a sugármérő és riasztórendszerek működtetésének, a beavatkozó állomány sugárvédelmének, valamint a döntéshozatal mérési adatokon alapuló támogatásának. A szabályozás biztosítja, hogy nukleáris vagy radiológiai esemény esetén országos szinten koordinált, több szervezet együttműködésén alapuló beavatkozás történjen.

A rendszer fő elemei:

- Kormányzati szintű irányítás
- Központi és ágazati szervek
- Területi (megyei) védelmi szervezetek
- Nukleáris létesítmények saját védelmi rendszerei
- Mérő- és riasztó hálózatok
- Beavatkozó szervezetek (katasztrófavédelem, rendőrség, egészségügy)

#### Irányítás és koordináció:

- A nukleáris baleset-elhárítás kormányzati irányítás alatt áll
- A koordinációt a katasztrófavédelem központi szervei végzik
- Az országos nukleárisbaleset-elhárítási rendszer szintjei:
  - o létesítményi szint, helyi/területi szint, országos szint

#### A rendszer fő feladatai:

- Sugárzási helyzet folyamatos monitorozása
- Riasztás és értesítés biztosítása
- Lakosságvédelmi intézkedések:
  - o elzárkóztatás, vagy kitelepítés
  - o jódpofilakszis alkalmazása, élelmiszer és vízfelhasználás korlátozása.
- Sugárfelderítés és mérési tevékenység
- Beavatkozó állomány sugárvédelme
- Tájékoztatás és kommunikáció a lakosság felé

#### Beavatkozó szervezetek szerepe:

- A rendelet rögzíti többek között a katasztrófavédelem feladatait, a rendőrség és honvédség közreműködését, az egészségügyi szervezetek szerepét, a sugárvédelemért felelős szervezet bevonását.

#### Mérő- és riasztórendszer:

- A rendelet előírja az országos sugárzásmérő hálózat működtetését, az adatok folyamatos gyűjtését, a gyors riasztási mechanizmus biztosítását, a nemzetközi adatszolgáltatási kötelezettségeket.

#### Lakosságvédelmi intézkedések:

- A rendszer feladata a veszélyeztetett területek meghatározása, megfelelő védőintézkedések elrendelése, lakossági tájékoztatás és a kitelepítési és befogadási tervek végrehajtása.

Tervezési kötelezettségek:

- A rendelet előírja az országos nukleárisbaleset-elhárítási terv készítését, ágazati és területi tervek kidolgozását, a rendszeres gyakorlatok végrehajtását és a folyamatos felülvizsgálatot.

Az előzőeken felül meghatározónak tartom a magyar tűzvédelem alaptörvényét, az *1996. évi XXXI. törvényt a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról*, mely pontosan meghatározza a tűz elleni védekezés, a műszaki mentés és a tűzoltóság működésének alapvető jogi kereteit Magyarországon [47]. A jogszabály rögzíti a tűzoltóság feladatait, a tűzmelegelőzési követelményeket, valamint a beavatkozás irányításának rendjét. A törvény szabályozza a tűzoltósági szervezetek együttműködését, a hatósági feladatokat, továbbá meghatározza az állampolgárok és gazdálkodó szervezetek kötelezettségeit. A rendelkezések biztosítják, hogy tüzesetek és egyéb káresemények során a beavatkozás szervezetten, egységes irányítás mellett történjen, elősegítve az élet- és vagyonbiztonság védelmét.

A törvény célja:

- Az élet, testi épség és vagyon védelme tűz és egyéb káresemények ellen
- A tűzmelegelőzés, tűzoltás és műszaki mentés szabályozása
- A tűzoltóság feladatainak és működésének meghatározása
- Az állami, önkormányzati és gazdálkodó szervezetek feladatainak rögzítése

A törvény hatálya kiterjed a tűzmelegelőzési tevékenységekre, tűzoltásra, műszaki mentésre, a tűzvizsgálatra, tűzvédelmi hatósági tevékenységre és a tűzoltóság működésére.

A tűzoltóság alapfeladatai:

- Tűzoltás végrehajtása, műszaki mentési feladatok ellátása
- Életmentés és kárelhárítás
- Veszélyes anyagokkal kapcsolatos beavatkozás
- Lakosság védelme, közreműködés katasztrófahelyzetek kezelésében

Tűzoltósági szervezeti rendszer:

- A törvény meghatározza a hivatásos tűzoltóság, az önkormányzati tűzoltóság, a létesítményi tűzoltóság, az önkéntes tűzoltó egyesületek feladatait.

Műszaki mentés:

- A törvény szerint műszaki mentésnek minősül a közlekedési balesetek felszámolása, a romok alóli mentés, a viharok elhárítása, a veszélyes állapot megszüntetése, a természeti csapások következményeinek felszámolása

Hatósági feladatok:

- A tűzvédelmi hatóság, ellenőrzi a tűzvédelmi szabályok betartását, engedélyezési tevékenységet végez, intézkedéseket rendelhet el, bírságot szabhat ki, tűzvizsgálatot folytathat le.

Kötelezettségek a szervezetek számára:

- A törvény előírja tűzvédelmi szabályzat készítését, tűzvédelmi oktatás biztosítását, tűzvédelmi eszközök fenntartását és a riasztási és menekülési feltételek biztosítását.

Tűzoltás és beavatkozás irányítása:

- A törvény rögzíti a tűzoltásvezető irányítási jogkörét, a beavatkozás során alkalmazható intézkedéseket, a terület lezárásának lehetőségét, a kötelező együttműködést más szervezetekkel.

Állampolgári kötelezettségek:

- A törvény előírja:
  - o tűz jelzési kötelezettséget, segítségnyújtási kötelezettséget
  - o tűzvédelmi szabályok betartását, a tűzoltóság munkájának támogatását

Tervezési és felkészülési feladatok:

- tűzvédelmi tervek készítése, együttműködési megállapodások
- gyakorlatok szervezése, felkészítés és képzés biztosítása

A 273/2024. (IX. 19.) Korm. rendelet a létesítményi tűzoltóságok létrehozásának és működésének részletes szabályairól [48]. A jogszabály rögzíti a személyi és technikai követelményeket, a készenléti feltételeket, valamint a hivatásos tűzoltóságokkal való együttműködés rendjét. A rendelet célja, hogy a magas kockázatú létesítmények területén gyors, szakszerű elsődleges beavatkozás valósuljon meg, csökkentve a káresemények következményeit. A szabályozás biztosítja, hogy a létesítményi tűzoltóságok működése egységes szakmai elvek mentén történjen, és hatékonyan illeszkedjen az országos katasztrófavédelmi rendszerhez.

A rendelet célja:

- A létesítményi tűzoltóságok működésének egységes szabályozása
- A magas kockázatú létesítmények gyors helyszíni beavatkozásának biztosítása
- A hivatásos katasztrófavédelmi szervekkel való együttműködés rögzítése
- A tűz megelőzési és beavatkozási képességek erősítése

Létesítményi tűzoltóság létrehozása:

- A rendelet meghatározza:
  - o mely létesítmények kötelesek létesítményi tűzoltóságot működtetni
  - o a kockázatalapú megközelítést, hatósági előírás alapján történő létrehozást
  - o a készenléti és működési követelményeket

A létesítményi tűzoltóság feladatai:

- tűzoltás - műszaki mentés végrehajtása a létesítmény területén
- életmentés, veszélyes anyagokkal kapcsolatos beavatkozás
- elsődleges kárelhárítás, hivatásos tűzoltóság kiérkezéséig történő beavatkozás

Személyi követelmények:

- A rendelet rögzíti a minimális létszámot, a szolgálatszervezési szabályokat, a szakképzettségi követelményeket, az egészségügyi alkalmasság feltételeit, a rendszeres képzési és gyakorlati kötelezettséget.

Technikai és felszerelési követelmények:

- meghatározott alapfelszerelések, tűzoltó gépjárművek és technikai eszközök
- egyéni védőfelszerelések, kommunikációs eszközök
- speciális kockázatokhoz igazított eszközök (pl. veszélyes anyag)

Készenléti követelmények:

- A rendelet előírja a meghatározott készenléti időket, folyamatos vagy részleges készenlét biztosítását, a riasztási rend kialakítását, gyors reagálóképesség fenntartását.

Együttműködés a hivatásos tűzoltósággal:

- o közös gyakorlatok, beavatkozási tervek összehangolása
- o információcsere, közös irányítási rend kialakítása

Dokumentációs kötelezettségek:

- működési szabályzat, riasztási tervek, beavatkozási tervek (TMMT)
- képzési dokumentáció, karbantartási nyilvántartások

Hatósági felügyelet:

- katasztrófavédelmi hatóság ellenőrzése
- működés felülvizsgálata, hiányosságok megszüntetésének előírása
- működési engedélyek

A 39/2011. (XI. 15.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének általános szakmai szabályairól [49]. A jogszabály rögzíti a beavatkozás irányítási rendjét, a tűzoltásvezető feladatait, valamint a beavatkozás szakaszait és alapelveit. A rendelet kiemelt figyelmet fordít a felderítésre, a beavatkozók biztonságára és az együttműködésre más szervezetekkel. A szabályozás biztosítja, hogy a tűzoltási és műszaki mentési tevékenységek egységes szakmai elvek alapján, szervezeten és biztonságosan kerüljenek végrehajtásra.

A rendelet célja:

- A tűzoltási és műszaki mentési tevékenység egységes szabályozása

- A beavatkozások biztonságos és hatékony végrehajtásának biztosítása
- A beavatkozás irányítási rendjének meghatározása
- A beavatkozó állomány biztonságának növelése

A beavatkozás alapelvei az életmentés elsődlegessége, a személyi biztonság biztosítása, a károk minimalizálása, a szervezettséget és irányítotttságot, az együttműködést más szervezetekkel.

A beavatkozás irányítása:

- A rendelet rögzíti:
  - o a tűzoltásvezető jogkörét, a kárhelyparancsnok feladatait
  - o irányítási szinteket, alegységek alkalmazását
  - o irányítási pont kijelölését

Beavatkozás szakaszai, vonulás, felderítés, beavatkozás és utómunkálatok.

Felderítés:

- A rendelet előírja, a folyamatos helyzetértékelést, a veszélyek azonosítását, a mentési prioritások meghatározását, a beavatkozási stratégia kialakítását.

Műszaki mentést igénylő feladatok:

- közlekedési balesetek, romok alóli mentés
- viharkár felszámolása, veszélyes állapot megszüntetése, vízkár elhárítás

Tűzoltási tevékenység:

- A rendelet szabályozza:
  - o oltási módok megválasztását, oltóanyagok alkalmazását
  - o taktikai eljárásokat, vízellátás megszervezését

Biztonsági előírások:

- egyéni védőfelszerelések használata, veszélyzónák kijelölése, visszavonulási útvonal biztosítása
- beavatkozók nyilvántartása, beavatkozó állomány folyamatos ellenőrzése

Együttműködés más szervezetekkel, mint rendőrség, mentőszolgálat, hivatásos tűzoltóság, közműszolgáltatók.

Dokumentálási kötelezettség: esemény dokumentálása, beavatkozási adatok rögzítése, tapasztalatok feldolgozása.

*A 6/2016. (VI. 24.) BM OKF utasítás a Tűzoltás-taktikai Szabályzat és a Műszaki Mentési Szabályzat Kiadásáról* a tűzoltás – műszaki mentés szakmai kereteit határozza meg [50]. Az utasítás részletesen szabályozza a felderítés, az irányítás, valamint a tűzoltási és műszaki mentési beavatkozások taktikai végrehajtását. A dokumentum kiemelt figyelmet fordít a beavatkozók biztonságára, az egységes vezetési struktúra alkalmazására és a társszervekkel történő együttműködésre. A szabályozás biztosítja, hogy a beavatkozások egységes szakmai elvek mentén, hatékonyan és biztonságosan kerüljenek végrehajtásra.

A BM OKF utasítás célja:

- A tűzoltási és műszaki mentési beavatkozások taktikai egységesítése
- A beavatkozások biztonságának növelése
- A vezetési és irányítási rend részletes szabályozása, a szakmai eljárások standardizálása

Tűzoltás-taktikai Szabályzat fő elemei:

- felderítés részletes szabályai, taktikai alapelvek meghatározása
- oltási módok kiválasztása, erők eszközök megfelelő alkalmazása
- mentési prioritások meghatározása, vízellátás megszervezése

Műszaki Mentési Szabályzat fő elemei, a közlekedési balesetek mentési eljárásai, a romos épületből történő mentés, viharkárok felszámolása, magasból és mélyből mentés, valamint a vízből mentés.

Irányítás és vezetés:

- Az utasítás részletesen szabályozza:
  - o a kárhelyparancsnok feladatait, irányítási struktúrát

- vezetési pont kijelölését, egységek feladatmegosztását
- kommunikációs rendet

Felderítés szerepe:

- folyamatos információgyűjtés, veszélyek azonosítása, taktikai döntések megalapozása
- beavatkozás módosítása szükség szerint

Beavatkozók biztonsága: egyéni védőeszközök alkalmazása, veszélyzónák kijelölése, visszavonulási útvonal biztosítása, állomány nyilvántartása.

Együttműködés a társszervekkel:

- megfelelő koordináció, hivatásos tűzoltóságokkal való együttműködés
- speciális mentő szervezetek bevonása, kommunikációs rend meghatározása

Dokumentáció és értékelés:

- beavatkozások dokumentálása, tapasztalatok feldolgozása
- visszacsatolás a szakmai képzésekbe, szakmai fejlesztés támogatása

*A 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról* meghatározza Magyarország katasztrófavédelmi rendszerének szervezeti és működési kereteit [51].

A jogszabály rögzíti a megelőzés, felkészülés, védekezés és helyreállítás feladatait, valamint meghatározza az állami, önkormányzati és együttműködő szervezetek szerepét. A törvény szabályozza a polgári védelem, az ipari biztonság és a lakosságvédelmi intézkedések rendszerét, továbbá rendelkezik a veszélyhelyzeti intézkedések végrehajtásáról.

A szabályozás biztosítja, hogy katasztrófavédelmi helyzetekben egységes irányítás mellett, összehangolt szervezeti együttműködéssel történjen a beavatkozás. Ezen törvény felhatalmazása alapján a hivatásos katasztrófavédelmi szerv országos szerve ellenőrzi a létesítményi tűzoltóságok tevékenységét.

A törvény célja:

- Az élet, egészség és vagyon védelme katasztrófák esetén
- A megelőzés, védekezés és helyreállítás szabályozása
- A katasztrófavédelmi rendszer működésének meghatározása
- Az állami és önkormányzati feladatok rögzítése

A törvény hatálya:

- Kiterjed a természeti katasztrófákra, az ipari balesetekre, a nukleáris és radiológiai eseményekre, valamint a veszélyes anyagokkal kapcsolatos eseményekre és tömeges káreseményekre.

Irányítási rendszer:

- A törvény meghatározza:
  - o kormányzati szintű irányítást, miniszteri feladatokat
  - o országos katasztrófavédelmi szerv szerepét
  - o területi és helyi védelmi bizottságokat, polgármester feladatait

Katasztrófavédelmi feladatok a megelőzés, felkészülés, a védekezés, a helyreállítás és a lakosságvédelmi intézkedések végrehajtása.

A törvény szabályozza:

- hivatásos katasztrófavédelmi szerv működését
- tűzoltóság szerepét, polgári védelmi szervezeteket
- önkéntes szervezetek bevonását, gazdálkodó szervezetek feladatait

Polgári védelem:

- A törvény rögzíti:
  - o lakosságvédelmi feladatokat, kitelepítés és befogadás rendjét
  - o riasztás és tájékoztatás, egyéni védőeszközök biztosítását
  - o szükségellátás megszervezését

#### Veszélyhelyzet és különleges jogrend:

- A törvény meghatározza:
  - o veszélyhelyzet kihirdetésének feltételeit, rendkívüli intézkedések lehetőségét
  - o hatáskörök átrendezését, gyors döntéshozatali mechanizmusokat

#### Ipari biztonság:

- A törvény szabályozza:
  - o veszélyes üzemek felügyeletét, veszélyes üzemek ellenőrzését
  - o belső és külső védelmi tervek készítését, lakosságvédelmi intézkedéseket

#### Együttműködés:

- rendvédelmi szervek, honvédség, egészségügy, önkormányzatok, civil és önkéntes szervezetekkel

## 2.9. FEJEZETI KÖVETKEZTETÉSEK

A fejezetben bemutatásra kerültek a nukleáris energiatermelés alapvető technológiai sajátosságai, az atomerőművi reaktorok fejlődési generációi, valamint a különböző reaktortípusok biztonsági rendszerei és azok működési elvei. Az elemzés során külön hangsúlyt kaptak a Paksi Atomerőmű, illetve a Paks II beruházás technológiai és biztonsági megoldásai, továbbá azok a rendszerek és eljárások, amelyek a nukleáris biztonság fenntartását és a súlyos balesetek következményeinek mérséklését szolgálják.

Megállapítható, hogy a modern atomerőművek biztonsági filozófiája a mélységben tagolt védelem elvére épül, amely egymásra épülő aktív és passzív biztonsági rendszerek alkalmazásával törekszik a radioaktív anyagok környezetbe jutásának megakadályozására. A primerkör, a hermetikus tér, a lokalizációs rendszerek, a zóna üzemzavari hűtőrendszerek, valamint a tartalék villamosenergia-ellátó rendszerek együttesen biztosítják, hogy még rendkívüli üzemzavari helyzetekben is fennmaradjon az aktív zóna hűtése és a reaktor szubkritikus állapota. A harmadik generációs reaktorok esetében különösen jelentős előrelépést jelentenek a passzív biztonsági rendszerek, amelyek külső energiaellátás és közvetlen kezelői beavatkozás nélkül is képesek meghatározott időn keresztül biztosítani a reaktor biztonságos állapotát.

A nemzetközi nukleáris balesetek tapasztalatai ugyanakkor rávilágítottak arra, hogy a biztonsági rendszerek többszörös redundanciája mellett sem zárható ki teljes bizonyossággal a súlyos balesetek kialakulása. A csernobili és a fukusimai események egyaránt igazolták, hogy komplex technológiai, emberi és külső környezeti tényezők együttes hatása olyan állapotokat idézhet elő, amelyek során a hagyományos üzemeltetői védelmi rendszerek kapacitása korlátozottá válhat. Ennek következtében a nukleáris biztonság értelmezése napjainkra túllépett a kizárólag technológiai szemléleten, és integrált katasztrófavédelmi megközelítést igényel. A vizsgált rendszerek elemzése alapján megállapítható, hogy a külső beavatkozásnak különösen fontos szerepe lehet a súlyos balesetkezelés során. Kritikus jelentőségűek azok a technológiai pontok, ahol alternatív hűtőközeg-betáplálás, mobil villamosenergia-ellátás vagy külső vízutánpótlás válhat szükségessé.

Ilyen területek különösen:

- a gőzfejlesztők alternatív hűtése,
- a pihentető medencék vízutánpótlása,

- a lokalizációs rendszerek vízellátása,
- valamint a biztonsági hűtő- és tápvízrendszerek külső megtáplálása.

A Fukushima Daiichi atomerőműben bekövetkezett események egyértelműen igazolták, hogy a mobil vízbetáplálási lehetőségek és a külső beavatkozó szervezetek gyors reagálása meghatározó szerepet játszhat a zónaolvadás következményeinek mérséklésében. E tapasztalatok hatására a modern nukleáris biztonsági szemléletben kiemelt szerepet kapott a súlyos balesetkezelési rendszerek fejlesztése, valamint a külső beavatkozási képességek integrálása az atomerőművi védelmi filozófiába.

A fejezetben ismertetett rendszerek alapján megállapítható, hogy a tűzoltóság és a katasztrófavédelmi szervek szerepe a nukleáris balesetkezelés során messze túlmutat a hagyományos tűzoltási és műszaki mentési feladatokon.

A súlyos balesetkezelési eljárások részeként a beavatkozó állomány:

- részt vesz az alternatív hűtővíz-betáplálás végrehajtásában,
- közreműködik a mobil dízelgenerátorok telepítésében,
- biztosítja a technológiai rendszerek külső támogatását,
- valamint sugárveszélyes környezetben hajt végre komplex műszaki beavatkozásokat.

Ez a feladatrendszer speciális nukleáris technológiai, sugárvédelmi és taktikai ismereteket követel meg, amelyek nélkül a külső beavatkozás hatékonysága és biztonsága nem garantálható. A nukleáris létesítmények védelme ezért csak integrált megközelítéssel valósítható meg, amelyben az üzemeltető, a nukleáris hatóság, valamint a katasztrófavédelmi és tűzoltó szervezetek összehangolt együttműködése alapvető követelmény.

Az atomenergia alkalmazásához kapcsolódó tűzvédelmi és katasztrófavédelmi szabályozási rendszer komplex, többszintű jogi és szakmai környezetet alkot, amely meghatározza az atomerőművekben végrehajtott tűzoltási, műszaki mentési és súlyosbaleset-kezelési tevékenységek kereteit.

A bemutatott jogszabályok és szakmai szabályzók közös célja az emberi élet, a környezet, a nukleáris biztonság és a létfontosságú infrastruktúra védelmének biztosítása, különös tekintettel az ionizáló sugárzással járó veszélyhelyzetekre. A bemutatott szabályozási környezet tehát közvetlenül kapcsolódik a kutatás témájához, mivel meghatározza az

atomerőművi tűzoltási és műszaki mentési beavatkozások jogi, szervezeti, taktikai és sugárvédelmi kereteit. A szabályozók együttesen biztosítják, hogy nukleáris veszélyhelyzetben a beavatkozás szervezeten, biztonságosan, egységes irányítás mellett és megfelelő műszaki háttérrel történjen meg. A súlyos balesetkezelési feladatok vizsgálata ezért nemcsak tűzoltás-taktikai, hanem nukleáris biztonsági és katasztrófavédelmi szempontból is kiemelkedő jelentőségű.

Összességében megállapítható, hogy a nukleáris létesítmények biztonsága nem kizárólag a technológiai rendszerek megbízhatóságán múlik, hanem jelentős mértékben függ a külső beavatkozási képességek rendelkezésre állásától, a súlyos balesetkezelési eljárások hatékonyságától, valamint a beavatkozó állomány felkészültségétől. A bemutatott technológiai és biztonsági rendszerek elemzése megalapozza annak további vizsgálatát, hogy a katasztrófavédelmi és tűzoltói beavatkozási képességek milyen módon integrálhatók hatékonyan a nukleáris balesetkezelési rendszerekbe, különös tekintettel a Paksi Atomerőmű és a Paks II létesítmény sajátosságaira.

### **3. NUKLEÁRIS ÉS RADIOLÓGIAI KÁRESETEK TAPASZTALATAI**

#### **3.1. A FEJEZET BEVEZETÉSE ÉS A HOZZÁTARTOZÓ TUDOMÁNYOS PROBLÉMA**

A nukleáris és radiológiai káresemények vizsgálata a katasztrófavédelem és az iparbiztonság egyik legösszetettebb és legnagyobb felelősséggel járó területe. Ezen események sajátossága, hogy bár előfordulási gyakoriságuk alacsony, potenciális következményeik a radioaktív anyagok környezetbe jutása révén hosszú távon is jelentős hatást gyakorolhatnak az emberi egészségre, a környezetre és a gazdasági rendszerek működésére.

A nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy a nukleáris és radiológiai események túlnyomó többsége nem egyetlen okra vezethető vissza, hanem komplex, többtényezős eseménylánc eredményeként alakul ki. A műszaki meghibásodások, az emberi tényezők, valamint a szervezeti és biztonsági kultúrával összefüggő hiányosságok együttesen határozzák meg az események kialakulását és lefolyását. Ezt jól példázzák a disszertációban vizsgált mértékadó jelentőségű események, mint a Csernobili katasztrófa vagy a Fukusimai Daiichi baleset, amelyek alapvetően formálták a nukleáris biztonságról alkotott nemzetközi szemléletet.

A radiológiai események ideértve az ipari, egészségügyi vagy szállítási tevékenységek során bekövetkező sugárforrás elvesztéseket vagy szennyeződéseket ugyan kisebb léptékűek lehetnek, azonban gyakoriságuk magasabb, és a beavatkozó állomány számára közvetlen sugárterhelési kockázatot jelentenek. Ezen események kezelése során különös jelentőséggel bír a gyors felismerés, a megfelelő zónakijelölés és a sugárvédelmi intézkedések azonnali bevezetése.

A vizsgálati tapasztalatok rendszerezésében és értékelésében kiemelt szerepet tölt be az International Atomic Energy Agency által kidolgozott módszertan, amely egységes keretet biztosít a nukleáris és radiológiai események besorolására és elemzésére. Az INES-skála alkalmazása lehetővé teszi az események súlyosságának összehasonlíthatóságát, valamint hozzájárul a tapasztalatok nemzetközi szintű megosztásához.

Katasztrófavédelmi szempontból a nukleáris és radiológiai káresemények vizsgálata nem csupán az események utólagos elemzését jelenti, hanem egyben a beavatkozási hatékonyság fejlesztésének alapját is képezi.

A korábbi események tanulságainak közvetlenül be kell épülniük:

- a képzési és gyakorlati rendszerekbe,
- a beavatkozási tervekbe,
- valamint a műszaki és szervezeti fejlesztésekbe.

A vizsgálatok során különös hangsúlyt kap:

- az események kiváltó okainak feltárása,
- a baleseti lefolyás rekonstruálása,
- a beavatkozási lépések értékelése,
- valamint a döntéshozatali folyamatok elemzése.

A fejezet célja, hogy áttekintést nyújtson a nukleáris és radiológiai káresemények vizsgálatából származó legfontosabb tapasztalatokról, különös tekintettel a katasztrófavédelmi beavatkozásokra és azok hatékonyságára. A bemutatott megállapítások hozzájárulnak a beavatkozó szervezetek felkészültségének növeléséhez, valamint a jövőbeni események kockázatának csökkentéséhez.

## 3.2. ATOMERŐMŰVI KÁRESEMÉNYEK VIZSGÁLATA

A nukleáris létesítményekben bekövetkező tüzesetek a biztonsági elemzések egyik kiemelt területét képezik, mivel potenciálisan befolyásolhatják a reaktor biztonsági rendszereinek működését, különösen az elektromos és irányítástechnikai rendszereket. A nemzetközi tapasztalatok alapján a tüzesetek többsége nem vezet súlyos nukleáris balesethez, ugyanakkor a kockázatkezelés szempontjából kiemelt jelentőségűek. Az Nemzetközi Atomenergia-ügynökség (IAEA) elemzése szerint a nukleáris létesítményekben előforduló tüzek leggyakrabban elektromos berendezésekhez, kábelterekhez, kapcsolószekrényekhez és segédüzemi rendszerekhez kapcsolódnak [52].

Ezek a területek kritikusak, mivel egy tűz következtében több biztonsági rendszer egyidejű kiesése is bekövetkezhethet. A tűzvédelmi tervezés ezért redundáns rendszereket, fizikai elkülönítést és passzív tűzvédelmi megoldásokat alkalmaz. A OECD Nuclear Energy Agency által működtetett Fire Incidents Records Exchange (FIRE) nemzetközi adatgyűjtő program a nukleáris létesítményekben bekövetkezett tüzesetek tapasztalatait gyűjti és elemzi. A projekt eredményei szerint a tüzek döntő többsége kis kiterjedésű, gyorsan lokalizált esemény, azonban a kábelterekben és elektromos helyiségekben keletkező tüzek jelentik a legnagyobb biztonsági kockázatot. Az amerikai atomerőművek adatait vizsgáló statisztikai elemzések alapján 1990 és 2014 között mintegy 540 tüzesetet regisztráltak nukleáris létesítményekben [53]. Ez éves szinten átlagosan 20–25 eseményt jelent, amelyek többsége alacsony súlyosságú volt, és nem eredményezett radioaktív kibocsátást. A tapasztalatok szerint a leggyakoribb kiváltó okok közé tartoznak az elektromos meghibásodások, karbantartási tevékenységek és mechanikai berendezések túlmelegedése. A történeti események közül kiemelendő az Windscale tűz, amely rávilágított a nukleáris létesítmények tűzvédelmi kockázataira és hozzájárult a modern tűzvédelmi szabványok kialakításához. A későbbi események, például a kábelterekben bekövetkező tüzek, tovább erősítették a redundáns rendszerek és fizikai elválasztás szükségességét. A nemzetközi tapasztalatok összességében azt mutatják, hogy a nukleáris létesítményekben bekövetkező tüzesetek viszonylag gyakori üzemeltetési események, ugyanakkor súlyos nukleáris következményekkel járó tűz rendkívül ritka. A kockázatot elsősorban nem a tűz közvetlen hatása, hanem a biztonsági rendszerek egyidejű kiesése jelenti, amely extrém esetben a reaktor hűtésének romlásához vezethet.

Az 2. táblázat a jelentősebb atomerőművi tüzeseteket mutatja.

Év	Esemény megnevezése	Helyszín	Kiváltó ok
1957	Windscale tűz	Egyesült Királyság	Grafitmoderátor túlmelegedése
1975	Browns Ferry tűz	USA	Kábelköteg sérülés
1989	Vandellós-1 tűz	Spanyolország	Turbinagépház mechanikai hiba
1991	Kozloduj tűz	Bulgária	Elektromos berendezés hibája
2004	Mihama tűz	Japán	Gőzvezeték repedés
2011	Fukushima tüzeset	Japán	Hidrogénrobbanást követő tüzeset
2015	Zaporizzsja tűz	Ukrajna	Transzformátor meghibásodás

2. táblázat Jelentősebb atomerőművi tüzesetek (forrás: [53])

A nukleáris létesítményekben bekövetkező műszaki mentést igénylő események olyan incidensek, amelyek során a létesítmény infrastruktúrája, technológiai rendszerei vagy kiszolgáló berendezései sérülnek, és azonnali beavatkozást tesznek szükségessé. Ezek az események gyakran nem járnak jelentős radioaktív kibocsátással, azonban a beavatkozó állomány számára komplex műszaki, biztonsági és sugárvédelmi feladatokat jelentenek. A Nemzetközi Atomenergia-ügynökség szerint a nukleáris létesítményekben a műszaki mentést igénylő események leggyakoribb kategóriái:

- robbanások és hidrogénképződés
- gőzvezeték- vagy primerköri csőtörések
- szerkezeti károsodások
- turbinacsarnoki balesetek
- hűtőrendszer meghibásodások
- transzformátor és villamos berendezések sérülései

Az 3. táblázat a jelentősebb atomerőművi műszaki mentést igénylő eseményeket mutatja.

Év	Esemény	Helyszín	Műszaki mentés oka
1979	Three Mile Island	USA	Részleges zónaolvadás, hűtési problémák
1986	Csernobili	Szovjetunió	Robbanás, romeltávolítás
1992	Sosnovy Bor	Oroszország	Gőzvezeték robbanás
2004	Mihama-3	Japán	Gőzvezeték szakadás
2006	Forsmark	Svédország	Elektromos rendszer kiesés
2011	Fukushima Daiichi	Japán	Hidrogénrobbanás, romeltávolítás
2014	Doel	Belgium	Turbinaolaj szivárgás
2022	Zaporizzsja	Ukrajna	Szerkezeti károsodás

3. táblázat Jelentősebb atomerőművi tüzesetek (forrás: [53])

A műszaki mentés nukleáris létesítményekben speciális követelményeket támaszt:

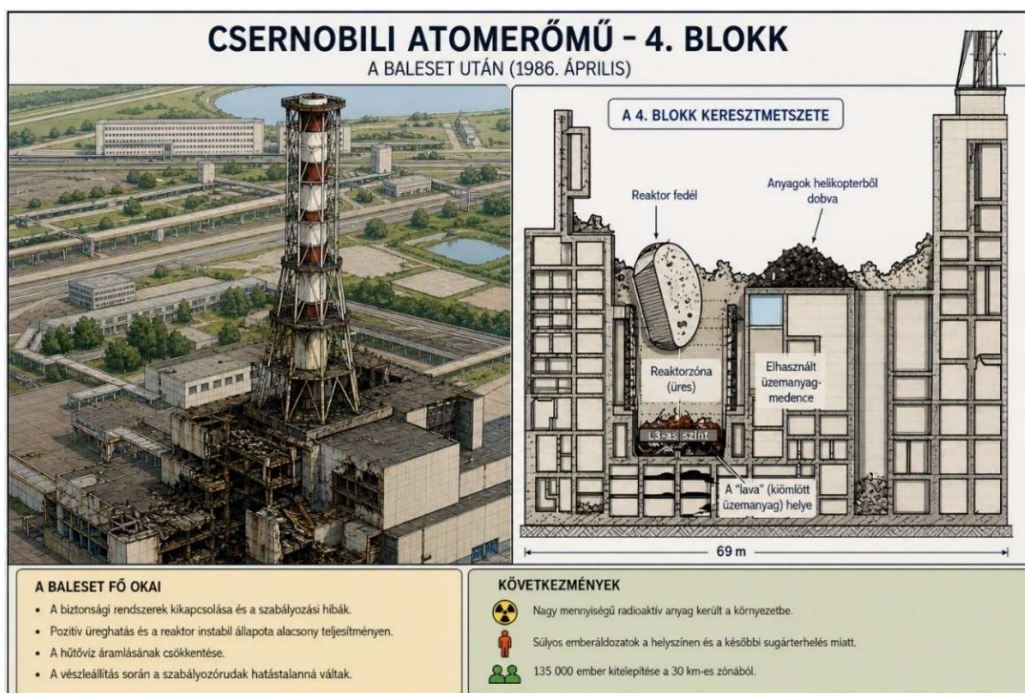
- dozimetriai ellenőrzés mellett történő beavatkozás
- korlátozott tartózkodási idő
- sugárvédelmi zónák kijelölése
- műszaki stabilizálás sugárveszély mellett
- komplex koordináció az üzemeltető és a beavatkozók között

Ezen eseményeknél a műszaki mentési feladatok általában:

- romeltávolítás
- sérült berendezések stabilizálása
- szivárgások megszüntetése
- veszélyes területek lezárása
- sérültek kimentése

### 3.3. A CSERNOBILI IV-ES REAKTOR BALESETE

A robbanás a csernobili atomerőmű négyes blokkján történt, a IV. blokk épületét az épületben bekövetkezett károsodást 11. ábra mutatja. Mindössze 120 km-re Ukrajna fővárosától, Kijevtől. A robbanás során a reaktor üzemanyagának kb. 3.5%-a, azaz 6 tonnányi fűtőelem szóródott szét a reaktor körül. A nagyobb fűtőelem darabok a reaktor közvetlen környezetében a talajra kerültek, a kisebb (néhány mikrométeres) darabkák jelenlétét viszont több száz kilométerre is ki lehetett mutatni. A kevésbé mozgékony izotópok (stroncium, cirkónium, cérium, bárium stb.) az üzemanyagba ágyazódtak, ezért kb. 3.5%-uk került a környezetbe a fűtőelemek darabjaival együtt. A radioaktív anyagok két nagyobb hullámban jutottak ki a reaktorból. Az első kibocsátás közvetlenül a robbanás után volt észlelhető, ebben a szétszóródott üzemanyag, és a nemesgázok domináltak. A második hullámot a baleset utáni 7-10. napokon tapasztalták, amelynek a reaktorban fellépő magas hőmérséklet volt az oka. A 10. napon a reaktorzóna átolvasztotta maga alatt a beton alapot, így más anyagokkal is érintkezhetett. Ennek következtében a zóna hőmérséklete, és ezzel a radioaktív anyagok kibocsátásának mértéke is lecsökkent [54] [55] [56].



11. ábra: A csernobili IV. blokk keresztmetszeti rajza a robbanást követően  
(szerkesztette a szerző [54] alapján)

A reaktorban bekövetkezett robbanások következményeit a 11. ábra kitűnően mutatja. A reaktor fedélszerkezete beleértve a felső biológiai pajzsot a levegőbe emelkedett, átfordult és kb. 105°-os szögben elfordulva zuhant vissza a reaktorba.

A reaktor aktív zónájának felső része beleértve a moderátor grafitlemeit, az üzemanyag egy részét, valamint az aktív zóna egyéb szerelvényeit a reaktortartályból kilökődött és szétszóródott az épület romjai között, valamint a környező állva maradt épületek tetején. A reaktorcsarnok oldalfalai ledőltek. Az épület tartószerkezete megroppant, a belső födémek és válaszfalak jórészt megsemmisültek. A robbanások következtében a radioaktív anyagok egy része a környezetbe jutott. A gáznemű, illékony anyagok nagy magasságba emelkedtek. A robbanás csaknem 0,3 kiló tonna (kb. 300 tonna TNT-vel megegyező) volt [54] [55] [56].

### **A beavatkozás időbeli lefolyása**

- A reaktorrobbanás időpontja: 01:23:40
- 1:26 – A csernobili erőmű tűzoltóságára (Vlagyimir Iljics Lenin atomerőmű) tűzjelzés érkezik. (Az esemény nukleáris jellegéről nem kaptak tájékoztatást a tűzoltók visszaemlékezései alapján.)
- 1:28 – A csernobili erőmű tűzoltósága a riasztást követően elhagyja a laktanya épületét (gyors reagálás, mely megfelelt az akkori a szovjet riasztási rendnek).
- 1:30 – A IV. blokkhoz való kiérkezés 12 -14 fővel, 2 tűzoltószerrel. Megkezdik a beavatkozást az égő tetőszerkezeteken és kábelterekben. (Az elsőnek kiérkező egység létszámáról a fellelhető szakirodalom nem szolgáltat egyértelmű adatokat.)
- 1:35 –Pripyat városi tűzoltók helyszínre érkezése, az egység méretéről nincs pontos adat, feltehetően az erőművi tűzoltó egység és a városi tűzoltó egység létszáma 20 fő körül alakult. A kialakult sugárzási szintekről nincs információjuk.
- 1:40 – Az erőmű tűzoltóparancsnoka kiérkezik a kárhelyszínre. A sugárzási szintekről nem kap, nem kaphat pontos információkat, mivel az erőmű sugárzásmérői nem voltak képesek ilyen szintű sugárzás mérésére. (Meghaladta a mérési maximumukat.)
- 1:50 – Az erőmű tűzoltóparancsnoka átveszi a tűzoltás vezetését. Felmászik a még üzemelő III. blokk tetejére, felderít. A III. blokk tetején is több különálló tűz égett. Intézkedett a III. blokk tüzeinek oltásáról, a még ekkor is üzemelő blokk védelméről.

- 2:10 – Sikerül a turbinaépület tetején keletkezett tüzek jelentős részét körülhatárolni.
- 2:30 – a főbb tüzek lokalizálása megkezdődött, részben megtörtént.
- 3:30 – A Kijevből riasztott egységek megérkeznek az erőműbe.  
A beavatkozásban résztvevők hozzávetőleg 37 tűzorségről érkeztek, létszámuk ekkorra 180–200 fő és 60 - 80 tűzoltószerre tehető.
- 4:50 – A legtöbb tető és egyéb szerkezeti tűz eloltásra került.
- 6:35 – A keletkezett tüzeket a helyszínre érkezett erők eloltják, azonban grafit égése, izzás belső hőtermelés még napokig fennmaradt [54] [55] [56].

### 3.4. A TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁS ÉRTÉKELÉSE

Láthatjuk, hogy a riasztástól számított hozzávetőleg 5 óra 10 perc alatt a keletkezett tüzeket a rendelkezésre álló erők – eszközök segítségével sikerült eloltani. A beavatkozás során alkalmazott oltási módokról, sugarak számáról, a felhasznált tűzoltótechnika paramétereiről az áttekintet anyagok között minimális információ szerepel.

Az AC-40 (АЦ-40) gépjárműfecskendőt széles körben alkalmazták a Szovjetunióban az 1970-es 80-as években, kivittől függően 2400-2500 liter vizet és 150 l habképzőanyagot szállított tengelyen, melyet 2400 l/perces maximális teljesítményű szivattyú juttatott ki. A tűzoltó szerek habbal oltásra mindenképpen alkalmasak voltak, a teljesítményük a TŰ 1-es és az IFA gépjárműfecskendőkhöz hasonlóak voltak. Az átvizsgált képanyag alapján a fecskendők egy része vízágyúval is fel volt szerelve.



12. ábra: A beavatkozáshoz használt Gépjármű fecskendők (szerkesztette a szerző [54] alapján)

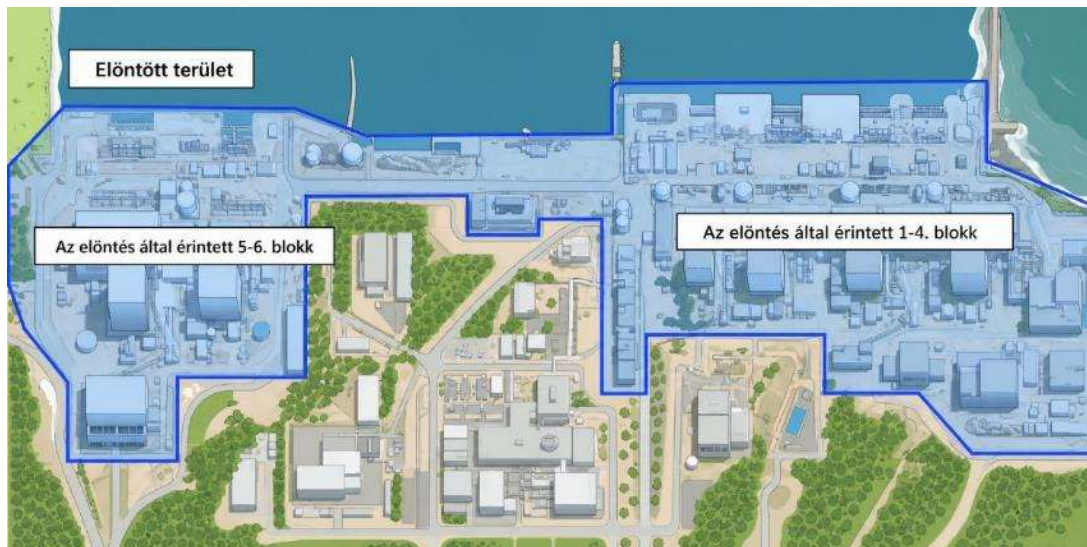
Valószínűsítem, hogy legalább a reaktorépületben és a turbinaépületben történt beavatkozáshoz (a turbinaépületben eltörtek a turbinák olajvezetékei, olajtűz is égett) a járműveken szállított habképző anyag elfogyásáig habbal oltást is végeztek. (Erre a túlélők beszámolóiban között találtam utalást.) Azonban a káresemény kiterjedése nem tette lehetővé az utánpótlás gyors megszervezését, a Pripjat városi tűzoltók az erőmű tűzoltóságának kérésére 5 percen belül kiérkeztek a káresethez, az erőket azonban teljesen lekötötte a nagyszámú hozzávetőleg 30 elkülönülő tüzeset, köztük a IV. reaktor, a turbinagépház és a III. blokk tetőszerkezetének tüze. A sugárveszélyes környezetben való beavatkozáshoz nem rendelkeztek megfelelő dozimetriai támogatással, sem személyi dózismérőkkel. Védőöltözetük ekkor a bevetési ruházatuk, valamint a zárt téri tüzeknél alkalmazott légzőkészülék volt. (A légzőkészülék megfelelő védelmet nyújt a belső sugárterheléstől, a bevetési ruházat viszont csupán alfa és béta-sugárzók ellen nyújt bizonyos szintű védelmet.) Feltételezhetjük, hogy nem rendelkeztek megfelelő számú erővel – eszközzel az elhasznált légző palackok pótlására – töltésére, valamint nem minden beavatkozónak sikerült időben egyéb szűrő típusú légzésvédelmi eszközt biztosítani. A reaktor közvetlen közelében 300 Sv/óra, a kiszóródott üzemanyag közelében 150 – 200 Sv/óra (sievert/óra) volt a sugárzás mértéke. A törmelékkel és épületdarabokkal teli területen a fűtőanyag darabok felismerése is szinte lehetetlen. A reaktor közelében 1 perces munkavégzés alatt, fűtőanyagdarabok közelében 2-3 perces munkavégzés alatt halálos dózist kaphattak a beavatkozók. Itt ki kell hangsúlyozni, hogy sem megfelelő dozimetriai támogatással, sem megfelelő mennyiségű emberrel nem rendelkeztek a munkavégzés idejének lerövidítéséhez, valamint távolsági védelmet sem tudtak megfelelően alkalmazni. Míg, a mentesítésben és a betonszarkofág építésében több mint 600.000 fő, addig a tűzoltásban csupán a fentebb említett 186 fő vett részt. A beavatkozás során közvetlenül halálos mennyiségű dózist kapott 6 tűzoltó, a beavatkozást követő 2-3 héten belül elhalálozott. A sugárzás utóhatásai miatt elhunyt kollégákról nincs adat. A WHO adatai szerint a csernobili atomkatasztrófa következtében és utóhatásai miatt 4000 fő veszítette életét. Maga a beavatkozás az emberveszteségek dacára elérte a célját, sikerült a III. blokk tetőszerkezetének tüzeit eloltani, ezáltal egy újabb nukleáris eseménytől kímélve meg Európát és a világot. A tüzek gyors eloltásával lehetőség nyílt a kárfelmérésre és a kárfelszámolásra. A balesetet követően hét hónapon belül 1986. november 30.-ára felépült a betonszarkofág, mely a sérült reaktor további sugárszennyezését volt hivatott visszatartani [54] [55] [56].

### **3.4.1. CSERNOBIL HATÁSAI**

Csernobil 1986. április 26.-ai balesete óta eltelt több mint 30 évben a dozimetria és az atomerőművi biztonsági szabályzók – biztonsági kultúra nagyon sokat fejlődött. A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség felügyelete alatt tevékenykedik minden működő és már leállított atomerőművet üzemeltető társaság. Az Atomerőmű Tűzoltóság teljes személyi állománya fel van szerelve személyi és hatósági doziméterekkel is. Az atomerőmű ellenőrzött zónájába történő belépéskor minden munkavállaló számára kötelező az elektronikus doziméter felvétele és használata. A Paksi Atomerőműtől teljesen független rendszerek és intézkedések is biztosítják a magyar lakosság biztonságát, ilyen a BM OKF felügyelete alá tartozó országos sugárzásfigyelő rendszer több mint 130 mérőállomásból álló hálózat, mely a háttérsugárzás mérésére és monitorozására épült ki. A csernobili baleset és az elmúlt évtizedek nukleáris baleseteinek tanulságai alapján a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség a radiológiai veszélyhelyzetek első beavatkozóinak részére kézikönyvet készített, a beavatkozás általános irányelveiről és az alkalmazandó módszerekről [55] [56].

### 3.5. FUKUSIMAI ATOMERŐMŰVI BALESET

Mint tudjuk a fukushimai atomerőművi balesetet a tohokui Richter skála szerinti 9-es erősségű földrengés, majd az ennek következtében kialakuló az erőmű területén a partokat elérő közel 15 méteres szökőár okozta. A földrengés következtében a Daiichi atomerőmű addig üzemelő reaktorai az automatikus védelem működésbe lépésének hatására leálltak, az erőmű blokkjai nem termeltek villamos energiát, a rendkívüli erősségű rengés az országos villamos hálózat távvezeték rendszerét megsemmisítette.

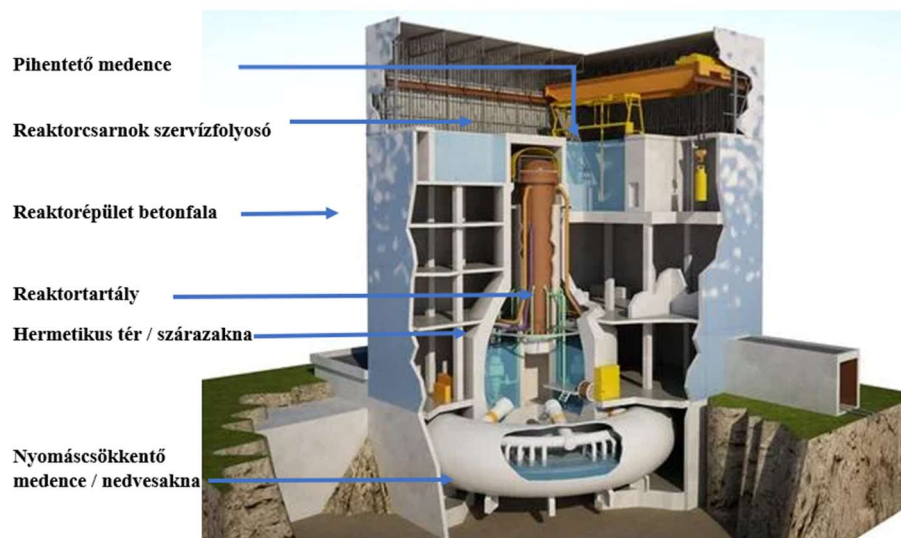


13. ábra Fukushima elöntés (forrás: szerkesztette a szerző [57] alapján)

A cunami átlépve az erőmű védelmére emelt gátrendszeren elöntötte az alacsonyabban fekvő dízel generátor épületeket. Az 1. ábra az erőmű elöntött területeit mutatja. A bezúduló nagymennyiségű sós víz a villamos biztonsági rendszer jelentős részét használhatatlanná tette. Korábban áttelepítésre került egy darab nagy teljesítményű dízel generátor, mely meglévő üzemanyaga elfogyásáig képes volt megfelelő villamos „betáp” biztosítására a reaktorok hűtésének fenntartásához. Az összetett természeti katasztrófa következtében azonban sem külső villamos betáplálást, sem a dízel generátor működéséhez szükséges üzemanyagot nem sikerült a katasztrófa helyszínén biztosítani. Így sodródott a fukushimai 1-2-3-as blokk a lassan elkerülhetlenné váló „nagyon súlyos reaktor baleset” felé, a reaktorok aktív üzemi hűtőrendszerei villamos energia hiányában üzemképtelenné váltak [57].

### 3.6. A NUKLEÁRIS BALESET

A három reaktorban fejlődő hő forralni kezdte a reaktortartályban a hűtővizet, ezért a reaktorban folyamatos nyomásemelkedés következett be és a vízszint csökkenni kezdett. A fejlődő gőzt a reaktortartály alatt körbefutó, kondenzációs kamrában lévő vízen átbuborékolatva igyekeztek kondenzálni. Ezzel időszakosan megakadályozták nyomás további növekedését és sikerült az aktív zónát hűteni, de a reaktortartályból így elvont hő a reaktor közvetlen környezetében maradt. A hőmérsékletkülönbség kiegyenlítődségét követően a „passzív” hűtés is megszűnt, ezért az aktív zóna hőmérséklete és nyomása újra emelkedni kezdett. Az üzemzavari dízel generátorok működésből való kiesése miatt csak az akkumulátor telepről üzemeltetett berendezések maradtak működőképeseek. Az akkumulátorok kimerülésével, órákkal később ezek is leállta.



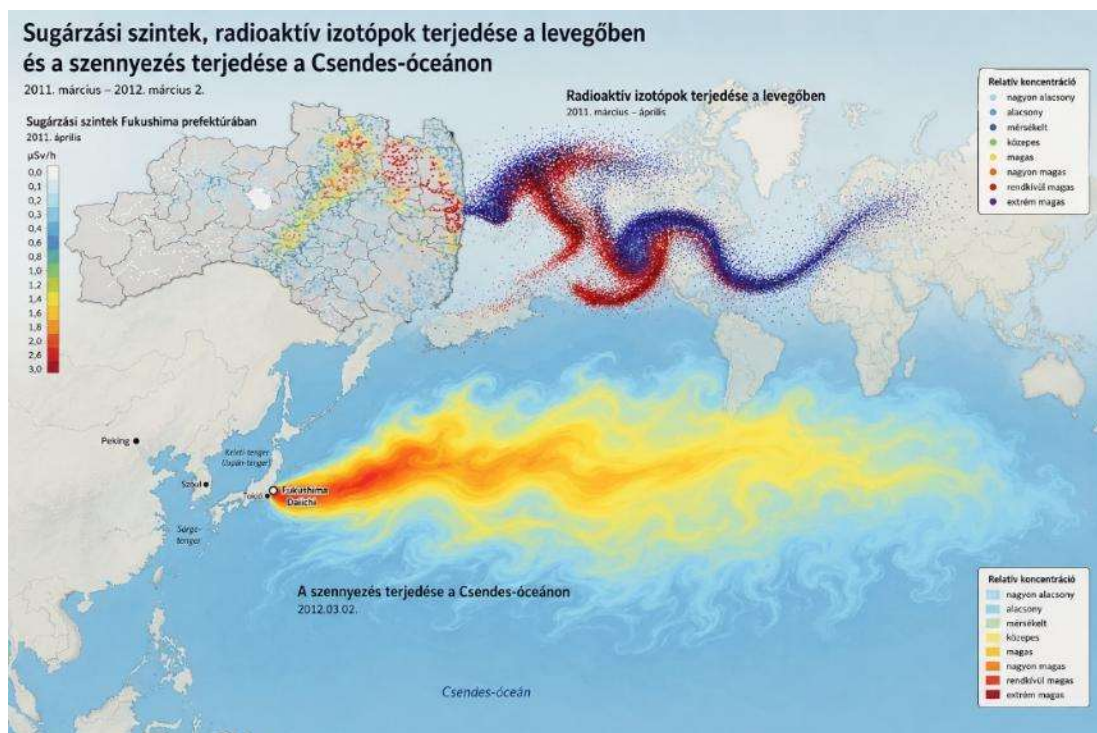
14. ábra: Fukusima: reaktorépület metszete (forrás: szerkesztette a szerző [58] alapján)

A reaktorok aktív hűtését a balesetet követően a helyszínrre érkező mobil szivattyúk és aggregátorok segítségével kísérelték meg kilenc órával később. A nem megfelelő hűtés miatt a reaktorok vízszintje vészesen lecsökkent, az aktív zóna hőmérséklete jelentősen megemelkedett a reaktorok nyomása kritikus szintre ért. Becslések szerint az 1. reaktor aktív zónájának hőmérséklete 6 órával a földrengést követően 2800 °C-ot is elérhette, „teljes zónaolvadás következett be”, a zónaolvadék átégette a reaktortartályt. Azért, hogy megakadályozzák a hermetikus tél falának átlukadását, tűzoltó technika segítségével vizet szivattyúztak be. Sajnos a beavatkozás nem járt sikerrel a konténment fala megnyílt és nagy mennyiségű légnemű radioaktív szennyezés és a több tonna beszivattyúzott hűtővíz nagy része jutott a szabadba.

A Japán Atomenergia Ügynökség információi alapján az 1-es reaktor üzemanyaga a hűtés leállítását követő ötödik órában teljes mértékben megolvadt, a kettes reaktorban 77, a harmasban pedig 44 órával a hűtés megszűnését követően zajlott le ugyanez a folyamat [58] [59].

### 3.6.1. KÖVETKEZMÉNYEK

A balesetet követően jelentős mennyiségű radioaktív anyag jutott a szabadba. A radionuklidok legjelentősebb kibocsátása a levegőbe történt, a kibocsátás fő forrása a 2. blokki hidrogénrobbanás volt március 15-én. A rövid felezési idejű nuklidok közül a jódszizotóp (8 napos felezési idő) került ki legnagyobb mennyiségben, míg a viszonylag hosszú felezési idejűk közül a cézium-137 volt a legmeghatározóbb (felezési ideje 30 év). Nagy mennyiségű radioaktív anyag került a tengervízbe, ami az áramlatokkal a Csendes-óceán szinte minden pontjára eljutott [60] [61] [62].



15. ábra: A fukusamai szennyezés komplex terjedése (forrás: szerkesztette a szerző [60] [61] [62] alapján)

### 3.7. A TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁS

Fukushima Daiichi atomerőmű balesetét követő súlyos balesetkezelési beavatkozások közül a 3. blokki pihentető medence óceánvízzel történő víz betáplálását mutatom be, mivel a súlyosbaleset-kezelés és pótvíz betáplálás kérdésköréhez szervesen kapcsolódik, valamint fontos további elemzésekre érdemes kérdéseket és hasznosítható tapasztalatokat nyújt számunkra. Az 1, 2, 3 reaktorban bekövetkezett robbanást követően az üzemi személyzet képtelenné vált a kialakult helyzet stabilizálására, a már lefektetett tömlővezetékek és üzembe helyezett tűzivíz szivattyúk használhatatlanná váltak. A 3. blokki pihentető medence vízszintje nagymértékben lecsökkent, az ott tárolt üzemanyag felszínre került. A reaktor hűtésére és a pihentető medence vízszintjének növelésére bevetett helikopteres vízpótlás hatástalannak bizonyult, ebben a helyzetben a japán miniszterelnök március 18.-án 0 óra 50 perckor elrendelte, a tokiói hivatásos tűzoltó egységek bevetését a katasztrófa helyszínén. A beavatkozók kiválasztását és felkészítésüket az utasítás kiadását megelőző napon már megkezdték. A források nagyságrendileg megegyeznek az alkalmazott erő és eszköz méretében, hozzávetőleg 35 tűzoltószer, köztük egy a 1. képen is látható 22 méteres gémszerkezetes vízágyúval szerelt különleges szer, valamint a tokiói tűzoltóság speciális „Hyper Rescue” egységeiből 119 fő érkezett és vett részt a beavatkozásban. A művelet végrehajtását végző teljes beavatkozási létszem 139 főre tehető [63].



16. ábra: Tűzoltói beavatkozás Fukushimában  
(forrás: szerkesztette a szerző [64] [65] alapján)

Az egységek március 18-án japán idő szerint hajnali 3 óra körül indultak az úthálózaton 250 kilométerre lévő Daiichi atomerőműhöz. Feladatuk a 3. blokki pihentető medence megtáplálása volt tűzoltó technikai eszközökkel sósvíz felhasználásával [64].

A feladat végrehajtásához a vízszerezés helyén szivattyúkat kellett telepíteni és több mint 800 méternyi tömlőrendszert lefektetni a földrengés, a szökőár és a robbanások által érintett területen. Nagy teljesítményű vízágút szállító különleges szer felállítását is el kellett végezni. A beavatkozás helyszínén az üzemi területen a körülmények igen mostohák voltak, a természeti csapások és a reaktor robbanások jelentős mértékben károsították az erőmű területét. A beavatkozók nyilatkozatai alapján a kárhelyszín az előzetesen vártnál is rosszabb állapotban volt. Az úthálózat a földrengés és a szökőár miatt szinte járhatatlanná vált, ezt tetézte a robbanások következtében fellépő radioaktivitás, melynek jellemző értéke a beavatkozók mérései alapján 0,4 mSv és 100 mSv /óra között változott. A kikerülő egységek a felderítést és a kárhelyszín felmérését követően a gépjárművel való tömlőfektetést elvetették, a manuális beavatkozás mellett döntöttek és kijelölték a tömlőfektetés nyomvonalát. [65] A helyszínen lévő üzemi személyzettől korlátozottan információkat szereztek a sugárzási viszonyokról, melyek nagy változatosságot mutattak, de a háttérsugárzás mértéke a pihentető medence szabadon lévő kiégett fűtőelemei miatt folyamatosan nőtt. A használt védőfelszerelések megegyeztek a rendszeresített védőruházattal, melyhez feladattól függően teljes légzésvédelmet (légzőkészüléket – légző álarccal), vagy szűrő típusú teljes álarcot használtak. A helyszínen személyi dozimétereket és ugyancsak a feladattól függően az üzemi személyzet által is használt védőruhákat kaptak bevetési ruhájuk fölé. Dozimetrikusok segítségével 30 percben határozták meg a maximális bevetési időt, ezért a beavatkozó állományt szakaszokra osztották [66].

Négy szakasz külön feladatot teljesített, ezek a következők voltak:

- szivattyúk telepítéséért felelős szakasz
- tűzoltó technika kezeléséért felelős szakasz
- tömlők fektetéséért felelős szakasz
- a beavatkozók biztonságáért felelős szakasz

A beavatkozást a megfelelő tervezés, nyomvonal kijelölés, a 2. képen látható telepítési helyek, védőruházat, személyi védőeszközök, sugárzási viszonyok meghatározása miatt március 18.-án sötétedést követően tudták csak megkezdeni, ezért a munka körülmények még embert próbálóbbak voltak a beavatkozó állomány számára.

A nagyméretű, ezért rendkívül nehéz szivattyúk telepítését, melyet normál üzemi körülmények között daru segítségével végeznek, ebben a helyzetben a daru összeomlása miatt kézzel kellett elvégezniük [66].
















17. ábra: Kijelölt vízszervezési és telepítési helyek Fukusimában  
(forrás: szerkesztette a szerző [65] alapján)

Az „A” jelű 110 mm átmérőjű nyomótömlők fektetése súlyuk miatt (20 méterenként storz kapoccsal 19 kg) igen nehézkes és embert próbáló. Sötétedés után a terméglágyítást a fecskendők fényárbócaival és fejlámpáikkal oldották meg a beavatkozók, az üzemi terület a tűzoltó fényforrások hatókörén kívül teljes sötétségbe borult. Az eltérő -változókéony sugárzási viszonyok miatt a tömlőfektetést végzők folyamatos mozgásban voltak, az adott munkafolyamatban éppen részt nem vevőket irányítóik a fecskendőikbe küldték. A tömlőfektetéssel 18.-án 23-óra után végzett az erre kijelölt szakasz. Ezt követően kezdte meg működését a 3800 l/perc teljesítményű vízagyú. A 30 perces váltásokban történő beavatkozást követően a résztvevők teljes ruházatát dekontaminálták. A rendszer kiépítésért és üzembe helyezéséért felelős állományt március 19.-én több mint 13 órás munkavégzés után váltották le. A Tokyo Electric Power Company mérései alapján a tűzoltói beavatkozás sikeres volt, a 3. blokki pihentető medence vízszintjének növelését követően a kárhelyszínen a háttérsugárzás mértéke csökkenni kezdett. Az érintett állomány sugárterhelésének meghatározását dozimetriai mérésekkel és egésztest számlálással is ellenőrizték, sugársérülést egy beavatkozó sem szenvedett el. A jól kivitelezett beavatkozással sikerült meggátolni a háttérsugárzás nemkívánatos növekedését, valamint a bevált technikai megoldásokat tovább gondolva a többi blokkon a hűtővíz külső pótlását már nem speciális tűzoltó eszközökkel, hanem betonszivattyúk használatával oldották meg [66].

Ehhez természetesen a blokkok megközelítéséhez a roncsolt épületrészek eltávolítása, valamint a közlekedési utak járhatóvá tételére volt szükség. A beavatkozás irányításánál a rendőrség, a japán önvédelmi erők (SDF) és a hivatásos tűzoltóság között komoly hatásköri problémák léptek fel, melyet csak március 19.-én sikerült megoldani, mikor az SDF kapta meg a kárterületen az irányítói szerepet. Fontos kiemelni, hogy a külső vízbetáplálással egy időben a beavatkozás minden résztvevőjének szerteágazó feladatokat kellett ellátni, mivel a káreset nem „csupán” egy atomerőművi súlyos baleset volt, hanem egy összetett természeti katasztrófa is, amelyben több mint 18000 fő tűnt el, vagy veszítette életét. Úgy gondolom, hogy a kollégák a tőlük elvárható legmagasabb szintű szakmaisággal példamutatóan teljesítették feladatukat, életük és egészségük kockáztatásával [66].

Az ábrán igyekeztem összegezni az általánostól eltérő beavatkozást nehezítő körülményeket és a megoldásuk érdekében tett intézkedéseket, hogy a későbbiekben üzemvitel segítő tevékenységek esetében, gyakorlatok, vagy beavatkozások alkalmával felhasználhassuk őket.

BEAVATKOZÁST HÁTRÁLTATÓ TÉNYEZŐ		MEGOLDÁSI INTÉZKEDÉS	
	Bevetési ruházat felületi szennyeződése	➔	 Tyvek ruha használata
	Magas felületi szennyezettség	➔	 Beavatkozás közbeni és azt követő dekontaminálás
	Hosszan tartó intenzív fizikai igénybevétel	➔	 Szűrő típusú légzésvédelem alkalmazása
	Eltérő dózisteljesítményű terek váltakozása	➔	 Folyamatos dozimetriai felügyelet
	Magas dózisteljesítmény	➔	 Bevetési idő csökkentése, járművek árnyékoló hatásának kihasználása
	Üzemi részről szakemberhiány	➔	 Beavatkozó állomány lássa el dozimetriai feladatait megfelelő eszközellátottság esetén
	Gépjárművel járhatatlan utak	➔	 Manuális beavatkozás, megfelelő beavatkozási létszám esetén

18. ábra: Beavatkozást hátráltató tényezők és megoldási intézkedések a beavatkozók nyilatkozatai alapján (forrás: szerkesztette a szerző [65] alapján)

### 3.7.1.A SÚLYOSBALESET-KEZELÉS

A fukushimai 2011-es összetett természeti katasztrófát és nagyon súlyos atomerőművi balesetet követően az Európai Bizottság stressz-teszt végrehajtását írta elő az atomerőművekkel rendelkező tagállamoknak, ezért Magyarországon az Országos Atomenergia Hivatal (OAH) összeállította Nemzeti Jelentését. Az OAH vizsgálatai alapján sem a földrengés, külső elárasztás, a Duna alacsony vízszintje és szélsőséges időjárás nem vezethet nukleáris veszélyhelyzet kialakulásához. Nem került azonosításra olyan rendszer vagy rendszerelem, amely a zónasérülés kockázatához a jelenleg is alkalmazott biztonsági és felügyeleti rendszerek mellett kiemelkedően hozzájárulna [67]. Az atomerőmű telephelyének létesítésekor nem tervezték földrengés és szélsőséges időjárási körülmények közötti igénybevételekre ezért az erőmű szeizmikus ellenállóképességének minősítése sem történt meg. Ennek kivizsgálása csak jóval később, a '90-es években történt meg. A vizsgálat arra jutott, hogy a primerkörü fővezetékek a szimulált (feltételezett) földrengés során nem sérülnének, ugyanakkor a külső villamos energia és sótalan víz betáplálási lehetőség legalább 72 órán át nem állna rendelkezésre. A vizsgálat eredményeinek hatására kerültek kiépítésre a technológiai viszkózus rezgéscsillapítók, kerültek megerősítésre az üzemzavari zónahűtők és a hermetikus tér nyomáscsökkentő rendszerei. Azonban a villamos betáplálás szempontjából kiemelkedően fontos dízelgenerátorok és hármas biztonságvédelmi rendszereik kiesése nem volt része az erőmű tervezési alapjának. A villamos betáplálás végső tápforrásai az akkumulátortelepek voltak, melyek kapacitása révén a legnagyobb terhelés mellett is fenntartható ugyan a biztonsági fogyasztók működőképessége, de ennek időtartama legfeljebb hozzávetőleg 3,5 óra [68].



19. ábra: SBK dízel generátor vontatás (szerkesztette a szerző)

### 3.8. FEJEZETI KÖVETKEZTETÉSEK

A nukleáris és radiológiai káresemények vizsgálata alapján megállapítható, hogy a súlyos atomerőművi balesetek kezelése rendkívül összetett, több szakterület összehangolt együttműködését igénylő feladat. A Csernobilban és Fukushimaiban bekövetkezett események elemzése rámutatott arra, hogy a nukleáris veszélyhelyzetek kialakulása jellemzően nem egyetlen műszaki hibára vezethető vissza, hanem technológiai, humán és szervezeti tényezők együttes következménye. A vizsgált események közös sajátossága volt, hogy a kezdeti időszakban a helyszíni beavatkozók korlátozott információk birtokában, gyorsan romló körülmények között voltak kénytelenek döntéseket hozni és beavatkozásokat végrehajtani. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a sugárvédelmi támogatás hiánya vagy korlátozott működőképessége jelentősen növeli a beavatkozó állomány kockázatait. A csernobili esemény során a tűzoltó egységek nem rendelkeztek megfelelő dozimetriai háttérrel, személyi dózismérőkkel és a sugárzási viszonyok valós idejű értékeléséhez szükséges információkkal. Fukushimaiban ugyan már fejlettebb sugárvédelmi rendszer működött, azonban az eltérő dózisteljesítményű területek, a folyamatosan változó sugárzási viszonyok és az időkorlátozott munkavégzés továbbra is jelentős kihívást jelentettek.

A tapasztalatok alapján kijelenthető, hogy nukleáris veszélyhelyzetben a beavatkozás egyik alapvető feltétele a folyamatos dozimetriai felügyelet, a megfelelő személyi védőeszközök biztosítása, valamint a beavatkozási idők szigorú korlátozása és nyomon követése. A riasztási kárenyhítési, kárfelszámolási munkálatokban résztvevő egységek különböző riasztási fokozatokban meghatározott kárhelyszínre érkezése és a feladatszabásnak megfelelő munkavégzés beavatkozási létszám a kiterjedt nukleáris események mindegyikében jelentős volt, megközelítette, vagy meg is haladta a 220 főt. A fejezetben vizsgált események kiemelten igazolták a külső vízbetáplálási lehetőségek stratégiai jelentőségét. Mind Csernobil, mind Fukushima esetében megfigyelhető volt, hogy a hagyományos technológiai hűtőrendszerek részleges vagy teljes kiesése után a külső vízbetáplálás vált az egyik legfontosabb kárenyhítési lehetőséggé. A fukushimai beavatkozások különösen jól szemléltették, hogy mobil szivattyúk, tűzoltó technikai eszközök és ideiglenes tömlőhálózatok alkalmazásával a reaktorok és pihentető medencék hűtése átmenetileg fenntartható, ezáltal a radioaktív kibocsátás mértéke csökkenthető.

A tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a külső vízbetáplálási pontok előzetes kialakítása, a kompatibilis csatlakozási rendszerek alkalmazása és a mobil beavatkozó eszközök rendelkezésre állása alapvető részét kell képezze a súlyos balesetkezelési stratégiának. A vizsgált események rámutattak arra is, hogy a vezetési és koordinációs problémák jelentős mértékben befolyásolhatják a beavatkozások hatékonyságát. Csernobil esetében a sugárzási helyzet valós mértékének ismeretlensége, valamint a hiányos információáramlás akadályozta a megfelelő döntéshozatalt. Fukushimában a különböző szervezetek – az üzemeltető, a tűzoltóság, a rendőrség és az önvédelmi erők – közötti hatásköri és irányítási problémák nehezítették az egységes beavatkozás kialakítását. A tapasztalatok alapján megállapítható, hogy nukleáris veszélyhelyzetekben különösen fontos az egységes vezetési rendszer, az előre meghatározott irányítási struktúrák, valamint a különböző szervezetek közötti interoperabilitás biztosítása. A vizsgálatok egyértelműen igazolták a mobil technikai rendszerek alkalmazásának szükségességét. A mobil dízelgenerátorok, nagy teljesítményű szivattyúk, mobil vízszállító rendszerek és külső energiaellátási lehetőségek kulcsszerepet játszanak a súlyos balesetek kezelésében. Különösen a teljes villamosenergia-vesztéssel járó események során. A fukushimai események hatására számos ország – köztük Magyarország is – megerősítette súlyos balesetkezelési rendszereit, különös hangsúlyt helyezve a mobil eszközök alkalmazhatóságára és a külső betáplálási lehetőségek kiépítésére. A magyarországi alkalmazhatóság szempontjából megállapítható, hogy a Paksi Atomerőműben végrehajtott biztonságnövelő intézkedések és a súlyos balesetkezelési rendszerek fejlesztése jelentős mértékben tükrözik a nemzetközi tapasztalatokból levont tanulságokat. A külső vízbetáplálási pontok kialakítása, az SBK dízelgenerátorok rendszerbe állítása, valamint a mobil tűzoltó-technikai eszközök alkalmazása hozzájárulhatnak a hosszú távú hőelvonás biztosításához rendkívüli helyzetekben is. Ugyanakkor a vizsgálatok alapján indokoltnak tekinthető a beavatkozó állomány rendszeres közös gyakorlatoztatása, a nukleáris veszélyhelyzeti vezetési rendszerek továbbfejlesztése, valamint a dozimetriai és sugárvédelmi képességek további erősítése. Összességében megállapítható, hogy a nukleáris és radiológiai káresemények tapasztalatai alapvetően formálták a modern súlyosbaleset-kezelési szemléletet. A nemzetközi események tanulságai egyértelműen igazolják, hogy a sikeres beavatkozás alapfeltétele a megfelelő technológiai redundancia, a mobil műszaki képességek rendelkezésre állása, a sugárvédelmi felkészültség, valamint az üzemeltető és a külső beavatkozó szervezetek magas szintű együttműködése.

## **4. NEMZETKÖZI ÉS HAZAI NUKLEÁRIS ÉS RADIOLÓGIAI ESEMÉNYSOROK OSZTÁLYOZÁSA**

### **4.1. A FEJEZET BEVEZETÉSE ÉS A HOZZÁ TARTOZÓ TUDOMÁNYOS PROBLÉMA**

A nukleáris és radiológiai veszélyhelyzetek kezelése a modern ipari társadalmak egyik legösszetettebb biztonsági kihívása. Az atomenergia békés célú alkalmazása, a radioaktív anyagok ipari, egészségügyi és kutatási felhasználása, valamint ezek szállítása és tárolása olyan speciális kockázatokat hordoz, amelyek a hagyományos katasztrófavédelmi és tűzoltói beavatkozásoktól jelentősen eltérő szakmai felkészültséget és szervezeti együttműködést igényelnek.

A nukleáris események sajátossága, hogy következményeik gyakran nem érzékszervileg észlelhetők, ugyanakkor rövid idő alatt súlyos egészségügyi, környezeti és társadalmi hatásokat idézhetnek elő.

A nemzetközi tapasztalatok azt mutatják, hogy a nukleáris és radiológiai események kezelése során a technológiai biztonsági rendszerek mellett meghatározó szerepe van az első beavatkozók tevékenységének, különösen a létesítményi és hivatásos tűzoltó szervezeteknek. Az olyan események, mint a Csernobil disaster vagy a Fukushima Daiichi Nuclear disaster rámutattak arra, hogy a veszélyhelyzeti reagálás sikeressége nagymértékben függ a sugárvédelmi felkészültségtől, a gyors helyzetértékeléstől, a megfelelő vezetési struktúrától, valamint a beavatkozók védelmét biztosító műszaki és szervezeti intézkedésektől.

A nukleáris események egységes értékelésének és kommunikációjának érdekében a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (IAEA) és a Gazdasági Együttműködési és Fejlesztési Szervezet (OECD) létrehozta a Nemzetközi Nukleáris és Radiológiai Eseményskálát (INES), amely lehetővé teszi az események súlyosságának objektív összehasonlítását.

Az INES rendszer alkalmazása nemcsak a nukleáris létesítményekben bekövetkező balesetek értékelésében bír jelentőséggel, hanem támogatja a veszélyhelyzeti tervezést, a kockázatkommunikációt és a nemzetközi tapasztalatcserét is.

A fejezet célja a nukleáris és radiológiai események osztályozási rendszerének, sugárvédelmi alapjainak, valamint a radiológiai veszélyhelyzetek során végrehajtott tűzoltói és kárelhárítási tevékenységek sajátosságainak bemutatása.

A fejezet kitér az ionizáló sugárzások biológiai hatásaira, a sugárterhelés elleni védekezés alapelveire, a beavatkozási dóziskorlátokra, továbbá a hazai nukleáris veszélyhelyzeti rendszer működésének főbb elemeire. Kiemelt hangsúlyt kap a beavatkozási biztonság, a sugárvédelmi monitorozás, valamint a radiológiai események során alkalmazott műszaki és szervezeti megoldások elemzése.

A nukleáris és radiológiai veszélyhelyzetek felszámolása során az első beavatkozók olyan komplex és dinamikusan változó környezetben hajtják végre feladataikat, ahol a hagyományos tűzoltási és műszaki mentési veszélyek kiegészülnek az ionizáló sugárzásból, a radioaktív szennyeződésből és a hosszú távú egészségügyi következményekből eredő kockázatokkal. A beavatkozások sikerességét jelentősen befolyásolja a sugárvédelmi intézkedések időbeni végrehajtása, a dózisterhelés folyamatos monitorozása, a megfelelő zónakialakítás, valamint a vezetési és döntéshozatali rendszer hatékonysága.

A nemzetközi nukleáris események tapasztalatai ugyanakkor rámutattak arra, hogy súlyos veszélyhelyzetek során a technológiai biztonsági rendszerek részleges vagy teljes funkcióvesztése esetén a beavatkozó szervezeteknek rendkívül rövid idő alatt kell komplex műszaki, sugárvédelmi és taktikai döntéseket meghozniuk. A sugárterhelés korlátozásának követelménye, az életmentési feladatok prioritása, valamint a lakosságvédelmi intézkedések egyidejű végrehajtása jelentős vezetési és szervezési nehézségeket eredményezhet.

Tudományos problémaként fogalmazható meg, hogy a hagyományos tűzoltási és műszaki mentési eljárások önmagukban nem biztosítanak megfelelő választ a radiológiai veszélyhelyzetek során jelentkező összetett kihívások kezelésére.

Különösen fontos kérdés annak vizsgálata, hogy:

- miként biztosítható a beavatkozók sugárvédelmi biztonsága súlyos nukleáris események során,
- hogyan optimalizálható a veszélyes zónában végzett tevékenységek időtartama és személyi állománya,
- milyen módon támogatható a vezetői döntéshozatal valós idejű sugárvédelmi információkkal,
- továbbá hogyan integrálhatók a modern dozimetriai és mentesítési rendszerek a tűzoltói kárelhárítás gyakorlatába.

A probléma aktualitását növeli, hogy a klímaváltozásból eredő szélsőséges időjárási események, az energetikai infrastruktúrák sérülékenysége, valamint a kritikus infrastruktúrák elleni hibrid fenyegetések következtében a nukleáris létesítmények veszélyeztetettsége is növekvő tendenciát mutat. Ennek következtében a nukleáris veszélyhelyzeti reagálás fejlesztése, valamint a sugárveszélyes környezetben végrehajtott beavatkozások tudományos vizsgálata a katasztrófavédelem és a nukleáris biztonság kiemelt kutatási területévé vált.

## 4.2. A NEMZETKÖZI ATOMENERGIA ÜGYNÖKSÉG INESOSZTÁLYAI

A csernobili atomerőmű 1986-ben bekövetkezett súlyos balesetét követően az Nemzetközi Atomenergia Ügynökség továbbiakban IAEA és a Nukleáris Energia Ügynökség a továbbiakban OECD szakértői munkacsoportja létrehozta az INES rendszert. Az atomenergia területén bekövetkezett balesetek egyértelmű és pontos osztályozására.

Az INES rendszer segítségével mérhető és jellemezhető az összes a nukleáris ipar területén bekövetkezett eseménysor, valamint balesetek jelentősége - súlya. A Nemzetközi Nukleáris és Radiológiai Esemény Skála kidolgozását követően elsősorban az atomenergia ipari alkalmazásával kapcsolatos események jellemzésére volt alkalmas, napjainkban már bármely nukleáris létesítménnyel kapcsolatos, vagy radioaktív anyag szállításakor – felhasználásakor bekövetkezett esemény során széles körűen alkalmazható.

Az elmúlt évtizedben (2008-at követő) fejlesztéseknek hála az INES rendszert felhasználhatjuk a radioaktív anyagok és sugárforrások szállítási, tárolási és alkalmazási területén bekövetkező balesetknél is. A szakértők számára egy többszintből álló normarendszer biztosítja a baleseti eseménysorok megfelelő minősítését.

Az 1986-ban a csernobili és 2011-ben a fukushimai atomerőművi balesetek az INES skála legjelentősebb – legnagyobb súlyú 7-es szintű besorolását kapták, mivel mindkét baleset különösen jelentős egészségügyi és környezeti hatásokkal járt.

Az INES kritériumrendszer létrehozása melletti legfontosabb érv volt, hogy a kevésbé súlyos és lokális eseményeket világosan megkülönböztethessük a rendkívül súlyos - kiterjedt balesetektől [69].

Az INES minősítési kritériumok kialakításakor az egyik legfontosabb elv az volt, hogy a kevésbé súlyos és kiterjedt hatásokkal járó eseményeket világosan meg lehessen különböztetni a különösen súlyos - kiterjedt balesetektől [70].

## INES skála szerinti események

INES SKÁLA SZERINTI ESEMÉNYEK					
INES besorolás	Sugárterhelés	Helyszín	Év	Esemény	
0. fokozat 	Az eseménynek nincs biztonsági jelentősége a sugárvédelem és a környezet szempontjából.	Példa: kutatóintézet 	-	Jelentéktelen esemény	
1. fokozat 	Rendellenesség, amelynek nincs jelentős biztonsági hatása a lakosságra és a környezetre.	Példa: atomerőmű 	-	Rendellenesség	
2. fokozat 	Üzemi esemény, amely a dolgozók vagy a környezet sugárterhelésének hatósági dóziskorlátán belüli növekedéséhez vezethet.	Példa: atomerőmű 	-	Üzemi esemény	
3. fokozat 	A dolgozók sugárterhelése meghaladta az előírt hatósági dóziskorlátokat, a veszélyeztetett lakosság néhány tized mSv dózisterhelést szenvedett.	2003 Paks Magyarország 	2003	Paksi atomerőmű esemény	
4. fokozat 	Kismértékű radioaktív környezeti kibocsátás, korlátozott ellenintézkedésekkel, mint a helyi élelmiszerek fogyasztási tilalma.	1973 Windscale Nagy Britannia 	1973	Windscale tűz	
5. fokozat 	Radioaktív környezeti kibocsátás, nukleáris üzemi berendezések súlyos károsodása, reaktor zóna sérülés.	1979 Three Mile Island USA 	1979	Three Mile Island baleset	
6. fokozat 	Jelentős radioaktív környezeti kibocsátás, súlyos egészségkárosító hatások, teljes körű ellenintézkedések bevezetése.	1957 Kisztim Oroszország 	1957	Kisztim (Majak) baleset	
7. fokozat 	Nagy aktivitású sugárzó anyagok környezetbe jutása, kontinentális környezeti és nagyon súlyos egészségkárosító hatások.	1986 Csernobil Ukrajna 	1986	Csernobil katasztrófa	
7. fokozat 	Nagy aktivitású sugárzó anyagok környezetbe jutása, kontinentális környezeti és nagyon súlyos egészségkárosító hatások.	2011 Fukushima Japán 	2011	Fukushima Daiichi atomerőmű baleset	

20. ábra Az Ines skála szerinti események (forrás: szerkesztette a szerző [70] alapján)

Eddig a nukleáris polgári célú létesítmények működése során tudomásom szerint 16 minősített esemény történt (3 – 7 besorolási szintek között), melyek közül kettő a legsúlyosabb 7. fokozatba, míg a 2003. évi paksi esemény a 3. fokozatba nyert besorolást.

### 4.3. AZ IONIZÁLÓ SUGÁRZÁSOK TÍPUSAI

**Alfa-sugárzás:** Az  $\alpha$ -sugár áthatoló képessége igen kicsi, ezért egy papírlap, alufólia vagy az emberi bőr is könnyen elnyeli. Így csak a véletlenül lenyelt, vagy belélegzett  $\alpha$ -sugárzó veszélyes, mert közvetlenül az élő sejteket besugározva, rákos elváltozásokat okozhat.

**Béta-sugárzás:** A  $\beta$ -sugár áthatoló képessége nagyobb az  $\alpha$ -sugárnál, papírlapon, méter vastag levegőrétegen, alufólián, vagy az emberi bőrön is át tud hatolni a néhány cm mélyen lévő szövetekig. A külső dózisterheléshez csak kis mértékben járul hozzá, de a testbe jutva a béta-sugárzó anyagok egyes szervekben feldúsulnak, a felszabaduló sugárzás pedig a környező szöveteket jelentősen roncsolhatja.

Gamma-sugárzás: A  $\gamma$ -sugár töltéssel nem rendelkezik, ezért áthatolóképessége az eddig említett sugárzási típusok közül a legnagyobb. Áthatol vékony betonfalon, centiméternél vastagabb ólomlemezén, több száz méternyi légrétegen. Árnyékolása megfelelő vastag ólom, vas, vagy beton réteggel lehetséges. A külső dózis terhelést java részt ez a sugárzástípus okozza. A gamma-sugárzás okozta belső sugárterhelés kicsi, a nagy áthatolóképesség miatt.

Neutronsugárzás: Maghasadás következtében létrejött nagy energiájú neutronokból álló sugárzás.

A szervezetben jelentős károsító hatást fejt ki, erőteljes sugárterhelést okozhat [71]. A különböző típusú sugárzások áthatolóképességét a 6. ábra mutatja.



21. ábra: A különböző sugárzások áthatoló képességéről (forrás: szerkesztette a szerző [71] alapján)

#### 4.4. A SUGÁRZÁSOK EGÉSZSÉGHATÓ HATÁSA

Az ionizáló sugárzás energia átadására képes, a szervezet nem érzékeli (behatás mértékétől függetlenül). Az ionizáló hatás kémiai elváltozásokat okoz, melyek, a sejtek működését módosítják, ez az emberi testben biológiai hatást vált ki. Az elváltozások nagysága függ a sugárzás minőségétől. Csak a ténylegesen elnyelődő fotonok és részecskék válhatnak ki tényleges biológiai értelemben vett változást. A szövetekben a nagy energiával rendelkező és jelentős áthatolóképességű sugárzás kisebb százalékban okoz elváltozást, mint a nagyobb számú iont létrehozó csekélyebb áthatoló képességű sugárzás [71].

A sugárzásnak való kitettség következtében a szervezetben lejároló folyamatok szakaszai:

- fizikai;
- kémiai;
- kémiai-biokémiai;
- biológiai.

A fizikai fázis alatt az emberi test atomjai gerjesztett állapotba kerülnek. A kémiai fázis közben szabadgyökök keletkeznek, melyek reakcióba lépnek az élő sejtekkel. A kémiai-biokémiai fázis során a sejtekben zajló enzim és anyagcsere folyamatokban változások történnek.

A biológiai szakasz perctől akár évekig is tarthat, a sejtek reprodukciós képessége károsodik, sejt és szöveti elváltozások mennek végbe. Bőrtünetek jelentkeznek, idegrendszeri, gyomor-béltraktus változásai és a vérképző rendszer súlyos károsodása ekkor következnek be. A radioaktív sugárzás szervkárosító hatása elsősorban membránkárosító tulajdonságaira vezethető vissza. A sugárzásnak úgynevezett mutagén hatása is lehet, mely a reprodukció során és az utódok szervezetében érvényesül [72].

A SUGÁRTERHELÉS HATÁSA AZ EMBERI SZERVEZETRE				
ELNYELT DÓZIS (GRAY)	1-2	2-6	6-10	10-15
TÜNETEK MEGJELÉNÉSÉNEK IDEJE: HÁNYINGER, HÁNYÁS VALÓSZÍNŰSÉGE:	 3 óra 1 Gy: 5% 2 Gy: 50%	 2 óra 3 Gy: 100%	 1 óra 100%	 Azonnali! 100%
VEZETŐ TÜNETEKET OKOZÓ SZERVEK:	 Vérképző szervek	 Vérképző szervek	 Gyomor – bélrendszer	 Gyomor – bélrendszer
SZERVKÁROSODÁSRA JELLEMZŐ FŐBB TÜNETEK:	Mérsékelt fehérvérsejt szám csökkenés 	3 Gy < súlyos fehérvérsejt szám csökkenés 	Hasmenés, láz, elektrolit egyensúly zavara 	Hasmenés, láz, elektrolit egyensúly zavara 
SUGÁRBETEGSÉG FOKA:	Könnyű	Közepes (2-4 Gy)	Súlyos (4-6 Gy)	Rendkívül súlyos, akár halálos
KIMENETEL:				

22. ábra: A sugárterhelés hatása az emberi szervezetre (forrás: szerkesztette a szerző [71] alapján)

#### **4.4.1. A SUGÁRZÁS DETERMINISZTIKUS ÉS SZTOCHASZTIKUS HATÁSAI**

Ionizáló sugárzás következtében sugársérülés vagy sugárbetegség alakulhat ki. A test meghatározott részeit ért károsodás esetén sugársérülésről, míg a szervezet egészét érő hatás esetén sugárbetegségről beszélünk.

Az ionizáló sugárzás biológiai hatásait tekintve két csoportba sorolhatjuk, ezek a sztochasztikus és determinisztikus hatások. A determinisztikus hatás jellemzője, hogy a károsodás meghatározott dózisszint, úgynevezett küszöbdózis felett bekövetkezik, súlyossága pedig az elnyelt dózistól függ.

Az akut sugárbetegség klinikai tünetei jellemzően 1 Gy körüli egésztest-dózis felett jelentkeznek. A kezdeti szakaszban az elnyelt dózistól függően néhány órán belül rossz közérzet, étvágytalanság, émelygés, levertség, hányinger, fejfájás, verejtékezés, láz, hasmenés, és mozgáskoordinációs zavar lép fel.

A kezdeti szakaszt a lappangási időszak követi, ekkor a beteg közérzete javul, a tünetek akár jelentősen is enyhülhetnek, ez a hatás 2-3 Gray esetében akár hetekig is eltarthat. A tünetek azonban általában sokkal súlyosabban térnek vissza, bőrbevézések, és az immunrendszer károsodása miatt különböző fertőzések léphetnek fel.

A felépülés lassú és hónapokig is eltarthat, valamint orvosi felügyeletet igényel. Az embernél a félhalálos dózis 5 Gray körüli, az ekkora dózist elszenvedők fele 60 napon belül elhalálozik, a 8-10 Gray egésztestet érő sugárzás esetén az elhalálozás gyakorlatilag biztos.

A sztochasztikus hatás egyik fő jellemzője, hogy nincs küszöbdózisa, a biológiai elváltozás valószínűsége társul hozzá, amely a dózis növekedésével egyenes arányosan nő. A biológiai elváltozások hónapokkal, akár évekkel később okozhatnak rosszindulatú daganatos megbetegedéseket és genetikai elváltozásokat [72] [73]. A 23. ábra segítséget nyújt az egyes beavatkozókra vonatkozó dóziskorlátok és küszöbdózisok megfelelő interpretációjában.

## BEAVATKOZÓI DÓZISKORLÁTOK ÉS KÜSZÖBDÓZISOK – INTERPRETÁCIÓ

Fukushima Daiichi

ALACSONY DÓZISTARTOMÁNY (HÁTTÉR ÉS LAKOSSÁG)	0,008 mSv/nap	 Egy napi természetes eredetű sugárterhelés Magyarországon.	 Nincs kimutatható akut hatás. Ez a normál környezeti tartomány.
	1 mSv/év	 A lakossági sugárterhelésre vonatkozó dóziskorlát.	 Nincs kimutatható akut hatás. Jogszabályi dóziskorlát a lakosság számára.
DIAGNOSZTIKAI TARTOMÁNY	5,8 mSv	 Egy mellkasi tomográf (CT) felvétel.	 Orvosi indokkal elfogadott kockázat. Beavatkozásnál viszonyítási alapként használható.
FOGLALKOZÁSI TARTOMÁNY	20 mSv/év	 A foglalkozási sugárterhelésre vonatkozó effektív dóziskorlát.	 Hosszú távú kockázat növekedése, akut (determinisztikus) hatás még nincs.
BEAVATKOZÓI DÖNTÉSI TARTOMÁNY	100 mSv	 A dóziskorlát a népesség jelentős sugárterhelésének megakadályozásában résztvevő beavatkozók részére.	 Parancsnoki döntési szint. Növeli a daganatos kockázatot.
	250 mSv	 A dóziskorlát az életmentésben résztvevő beavatkozók részére.	 Csak indokolt életmentés esetén. Időkorlátozás és rotáció kötelező.
DETERMINISZTIKUS HATÁSOK TARTOMÁNYA	500 mSv	 A dózis, melynél a vesejétek károsodnak.	 Már biztos biológiai károsodás várható.
	1000 mSv = 1 Sv	 A sugárbetegség küszöbdózisa.	 Akut sugárbetegség kockázata. Súlyos tünetek megjelenhetnek.
HALÁLÓS TARTOMÁNY	4–5 Sv	 A féihalálos dózis (LD50). Kezelés nélkül kb. 50% halálozás.	 Életveszélyes tartomány. Csak extrém, önkéntes életmentő helyzetben.
	8–10 Sv	 A halálos dózis. Nagy valószínűséggel halálos kimenetel.	 Nem összeegyeztethető a normál beavatkozással. Túlélés valószínűsége rendkívül alacsony.

23. ábra: Beavatkozási dóziskorlátok és küszöbdózisok interpretációja (forrás: szerkesztette a szerző)

## 4.5. SUGÁRTERHELÉS FŐBB FORRÁSAI ÉS AZ ELLENÜK VALÓ VÉDEKEZÉS

Az emberi szervezetet sugárterhelés külső és belső forrásból érheti.

A belső sugárterhelés:

- Légzés útján kerülhet sugárzó anyag az emberi testbe. Például dohányzás során. A megfelelő védekezésre egy jó példa, hogy az atomerőmű ellenőrzött zónájában tilos a dohányzás, csak nedves takarítást végeznek és nagyszámú légzésvédő álarc és maszk áll rendelkezésre a terület – helység szennyezettségének megfelelően.
- Lenyeléssel kerülhet a testbe sugárzó anyag. Ezért, az atomerőmű ellenőrzött zónájában kizárólag a SPEC büfében lehet ételt fogyasztani.
- A bőrfelület sérülésein át is kerülhet sugárzó anyag a testbe. Ellene a teljes testfelület eltakarásával védekezhetünk, esetünkben a bevetési ruházat és védőkesztyű biztosít megfelelő ad megfelelő védelmet. Radioaktívan szennyezett körülmények közötti beavatkozás során szerzett sérülés esetén indokolt belső sugárterhelés ellenőrzése [74] [75].

A radioaktív anyagok kétféle módon is veszélyeztetik az emberi szervezetet, külső és belső sugárszennyezést is okozhatnak.



24. ábra: Külső és belső sugárszennyezés behatási útvonalai (forrás: szerkesztette a szerző [75] alapján)

## 4.6. A SUGÁRTERHELÉS ELLENI VÉDEKEZÉS LEHETŐSÉGEI

### A külső sugárforrástól származó sugárterhelés elleni hármass védelem:

- Idővédelem alatt a sugárforrás közelében lehető legrövidebb idejű munkavégzést értjük. A beavatkozás megkezdése előtt a dozimetrikusok (sugárvédreلمي szakemberek) által készített dózistérképét, felhasználva megtervezhető a legrövidebb megközelítési útvonal, kiszámolható az egy főre eső maximális munkavégzés ideje, így elkerülhető a dóziskorlátok túllépése.  
Az idővédelem körébe tartozik a munkafolyamatok előre történő begyakorlása „inaktív körülmények között” így csökkenthető az adott feladat elvégzésének ideje. A megfelelő idővédelem másik példája, ha egy sugárveszélyes körülmények között végrehajtandó feladatra egyszerre nagyobb létszámú beavatkozót veszünk igénybe, megfelelő váltásokban dolgozva csökkenthető az egy személyre jutó munkaidő és dózisterhelés [74] [75].
- A távolságvédelem a gyakorlatban annyit tesz, hogy megpróbálunk egy pontszerű sugárforrástól a lehető legtávolabbról feladatunkat végrehajtani. Megfelelő távolságban elhelyezkedve csökkenthető a sugárterhelés. A távolság négyzetével csökken a kárfelszámolás résztvevőjét érő sugárzás.  $2x - 3x$  nagyobb távolságból az elnyelt dózis  $1/4 - 1/9$ -nyi lesz. Mivel a pontszerű sugárforrásból a tér minden irányába, haladnak át a sugarak, nagyobb távolságból a sugarak kisebb számban haladnak át az emberi testen. Beavatkozásokkor ez a védelem telepíthető vízagyúrok, szakaszosan üzemeltetett kötött sugár, különleges beavatkozó szerek használatával, vagy megfelelő távolságtartással és a felvonulási útvonalak méréseken alapuló megválasztásával biztosítható [74] [75].
- Árnyékolás. A radioaktív sugárzást árnyékoló anyagokat is használhatunk. A gyakorlatban kihasználjuk, a talajszint eltéréseit, az épületek és járművek által nyújtott árnyékoló hatást használjuk fel, ritkábban alkalmazhatunk beavatkozásnál mobil árnyékoló ólomfalakat, vagy bóros vizet tartalmazó tartályokat neutron sugárzás elnyeltetésére [74] [75].

## 4.7. ZÁRT RADIOAKTÍV SUGÁRFORRÁS FELISMERÉSE

A zárt radioaktív sugárforrások ártalmatlannak tűnhetnek, felismerésük, főleg a huzamosabb ideig történő szakszerűtlen tárolás következtében komoly nehézségeket okozhat, olyanok is lehetnek, mint egy fémdarab, gombelem, vagy akkumulátor. Az egyetlen bizonyos módszer az azonosításukra sugárzást érzékelő műszerek használata [76].

Annak hiányában az alábbi jelek utalnak sugárforrás jelenlétére:

- a radioaktivitás szimbóluma, a sugárforrásra vagy a tárolójára festve – gravírozva
- a sugárforrás méretétől függően előfordul, hogy magára a forrásra vagy tartójára a „radioactive” felirat rá van gravírozva.
- szokatlanul nehéz fémszerkezet, mely doboz, henger vagy gömb alakú.
- kémiai elem jeléből és a tömegszámból álló jelölés (Co-60, Sr-90, Cs-137, Ir-192)

### SUGÁRFORRÁSOK ÉS TARTÓK



25. ábra: Sugárforrások és tartók (forrás: szerkesztette a szerző [76] alapján)

(1. zárt sugárforrás tartó (Cs-137), 2. izotóp tartók (Cs-137, I-131), 3. gamma radiográfia munkatartó (Co-60), 4. nagy aktivitású sugárforrás szállító tartó (Co-60), 5. kalibráló forrás (Cs-137, Sr-90), 6. kalibráló zárt sugárforrás (Cs-137, 7. terápiás készülék sugárforrása (Co60), 8. gamma radiográfia sugárforrás (Ir192, Se-75) és 9. sterilizáló készülék sugárforrása (Co-60).

Forrás: a szerző szerkesztése

## **5. A TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁS VIZSGÁLATA SUGÁRVESZÉLYES KÖRNYEZETBEN**

### **5.1. AZ ELSŐ BEAVATKOZÓK HELYZETE**

Minden olyan esemény, amely eltér a normál üzemi állapottól és potenciálisan nukleáris veszélyhelyzet kialakulásához vezethet, szükségessé teszi egy olyan, magasan képzett szakértői személyi állománnyal rendelkező szervezet működését, amely képes a technológiai meghibásodások következményeinek hatékony kezelésére. E szervezet szerepe túlmutat a technológiai hibák enyhítésére kialakított vagy funkcióvesztések megelőzését szolgáló redundáns rendszerek alkalmazásán, mivel feladata a gyors és összehangolt kárelhárítás biztosítása is. A beavatkozás eredményességét és a kialakuló veszélyhelyzet súlyosságát jelentős mértékben befolyásolja a reagálás időtényezője. A helyzet stabilizálása és a normál üzemi állapot helyreállítása alapvetően a beavatkozás megkezdésének gyorsaságától függ. Ennek érdekében a technológiai meghibásodások és a rendszerek hibatűrési tartományának biztosítása kell egy olyan minimális időintervallumot, amely alatt a létesítmény rendszerei önfenntartó módon működőképesek maradnak. Ez lehetővé teszi, hogy a helyszínre elsőként érkező beavatkozó állomány rendelkezzen a szükséges idővel a kárelhárítás előkészítésére, valamint a folyamatos és optimális veszélyhelyzet-kezelés megszervezésére [77].

### **5.2. ÁLTALÁNOS VESZÉLYEK TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁSOK SORÁN**

A beavatkozó állomány komplex, dinamikusan változó veszélyforrásokkal szembesül. Ezek a veszélyek nem izoláltan jelentkeznek, hanem egymással kölcsönhatásban, gyakran halmozott formában növelik a kockázati szintet. A modern beavatkozási környezetet tovább bonyolítja az épített környezet összetettsége, a szintetikus anyagok fokozott jelenléte, valamint az ipari és technológiai rendszerek sérülékenysége. A biztonságos beavatkozás alapfeltétele a veszélyek rendszerszintű azonosítása, értékelése és kontrollja. A tűzoltói beavatkozások során jelentkező veszélyek komplex rendszert alkotnak, amelyek egyidejűleg hatnak a beavatkozó állományra. A hőterhelés, a mérgező égéstermékek, a szerkezeti instabilitás, valamint a veszélyes anyagok jelenléte együttesen jelentős kockázatot hordoz.

A biztonságos beavatkozás alapja a veszélyek folyamatos felderítése, a kockázatok dinamikus értékelése, valamint az egyéni és kollektív védelem az egyéni védőeszközök, tűzoltás taktikai döntések, zónakialakítás, mentesítés) következetes alkalmazása.

### 5.2.1. HŐTERHELÉSBŐL FAKADÓ VESZÉLYEK

A tűzoltói beavatkozások elsődleges kockázati tényezői közé tartozik a hőhatás és az égési folyamatokból eredő veszély. A nyílt láng, a konvektív és sugárzó hő, valamint a zárt térben kialakuló extrém hőmérsékleti viszonyok súlyos egészségkárosodást okozhatnak.

Kiemelt jelenségek:

- **Flashover:** a helyiségben lévő éghető anyagok egyidejű begyulladására, amely rövid idő alatt kritikus hőmérséklet-emelkedést eredményez.
- **Backdraft:** oxigénhiányos égési folyamat során felhalmozódott éghető gázok hirtelen begyulladására, amely robbanásszerű hatással jár.

Ezek a jelenségek jelentősen korlátozzák a túlélési időt, és az egyéni védőeszközök ellenére is életveszélyes környezetet teremthetnek.

### 5.2.2. FÜST ÉS MÉRGEZŐ ÉGÉSTERMÉKEK

A tüzesetek során keletkező füst összetétele rendkívül változatos, számos toxikus komponenst tartalmaz.

A legjelentősebb veszélyt a következők jelentik:

- szén-monoxid (CO), amely a hemoglobinhoz kötődve gátolja az oxigénszállítást
- hidrogén-cianid (HCN), amely sejtszintű légzésgátlást okoz
- irritatív és rákkeltő vegyületek (pl. formaldehid, policiklusos aromás szénhidrogének)

A füst egyben jelentősen rontja a látási viszonyokat, ami növeli a dezorientáció és a beavatkozási hibák kockázatát. Az autonóm légzőkészülékek alkalmazása alapvető, ugyanakkor ezek használata növeli a fizikai terhelést és korlátozza a beavatkozási időt.

### 5.2.3. SZERKEZETI ÉS MECHANIKAI VESZÉLYEK

A tűz hatására az épületszerkezetek teherbírása csökken, amely részleges vagy teljes összeomláshoz vezethet.

Kockázati tényezők:

- hő hatására fellépő anyagfáradás (pl. acél szerkezetek elvesztik szilárdságukat)

- rejtett szerkezeti károsodások
- lehulló elemek és törmelék

Zárt térben különösen jelentős a beszorulás veszélye. A szerkezeti stabilitás folyamatos értékelése a tűzoltásvezető vagy kárhelyparancsnok egyik kulcsfeladata.

#### **5.2.4. ELEKTROMOS VESZÉLYEK**

A beavatkozások során gyakran nem egyértelmű az elektromos rendszerek állapota, vagy az áramtalanítás. A víz, mint oltóanyag alkalmazása tovább növeli az áramütés kockázatát.

Főbb veszélyforrások:

- feszültség alatt lévő vezetékek és berendezések
- sérült elektromos infrastruktúra
- nagyfeszültségű rendszerek jelenléte ipari környezetben

Az elektromos leválasztás hiánya súlyos balesetekhez vezethet, ezért az energiaforrások azonosítása és kizárása kiemelt jelentőségű.

#### **5.2.5. ROBBANÁSVESZÉLY**

A robbanásveszélyes környezet különösen nagy kockázatot jelent.

Ide tartoznak:

- gázpalackok és tartályok (BLEVE jelenség)
- porrobbanásra hajlamos közegek
- gyúlékony gőz-levegő keverékek

A robbanások nemcsak közvetlen fizikai sérülést okoznak, hanem másodlagos károkat, szerkezeti összeomlás, tűzterjedés is előidéznek.

#### **5.2.6. KÖRNYEZETI ÉS METEOROLÓGIAI TÉNYEZŐK**

A környezeti feltételek jelentősen befolyásolják a beavatkozás lefolyását:

- szélirány és szélsébség a tűzterjedés dinamikáját
- csapadék bizonyos anyagú sérült épületszerkezetek esetében omlásveszélyt okoz
- extrém hőmérséklet növeli a fizikai igénybevételt, csökkenő bevetési időt okoz
- korlátozott látási viszonyok

E tényezők különösen szabadtéri és erdőtüzek esetén kritikusak.

### **5.2.7. PSZICHÉS ÉS FIZIOLÓGIAI TERHELÉS**

A beavatkozó állomány jelentős fizikai és mentális megterhelésnek van kitéve. A védőfelszerelés viselése, a hőterhelés és a stressz együttesen gyors kifáradást, dehidratációt, csökkent döntéshozatali képességet eredményeznek.

A pszichés tényezők (időnyomás, életmentési helyzetek) növelik a hibázás valószínűségét, ami közvetlenül befolyásolja a beavatkozás biztonságát. A biztonság dinamikus állapotként értelmezhető, amely a kockázatok és a beavatkozási szükségletek közötti folyamatos egyensúly fenntartását igényli.

## **5.3. KÜLÖNLEGES VESZÉLYEK**

### **5.3.1. VESZÉLYES ANYAGOK JELENLÉTE**

A modern környezetben egyre gyakoribb a veszélyes anyagokkal kapcsolatos események előfordulása.

Ezek lehetnek:

- mérgező, maró vagy reaktív vegyi anyagok,
- robbanásveszélyes anyagok,
- radiológiai szennyeződések.

A beavatkozás során különösen problémás az ismeretlen anyag jelenléte, amely fokozza a bizonytalanságot. Radiológiai események esetén a klasszikus tűzoltási veszélyek kiegészülnek az ionizáló sugárzásból eredő kockázatokkal, ami speciális dozimetriai támogatást igényel. A disszertáció szempontjából kiemelten fontos a radiológiai események – veszélyek és a hozzájuk kapcsolódó nemzetközi és hazai szabályozás ismerete.

### **5.3.2. RADIOLÓGIAI VESZÉLYHELYZETEK**

A radiológiai veszélyhelyzetek kezdeti periódusának meghatározó szakemberei, elsődleges beavatkozó a létesítményi „veszélyhelyzeti” szolgálatok, valamint az első beavatkozást végzők, a létesítményi és a hivatásos tűzoltóság állományának tagjai. A radiológiai és a vegyi káreseteknél a beavatkozás sok hasonlóságot mutat. Mindkét esetben igaz, hogy érzékszerveinkkel általában nem vagyunk képesek a veszélyforrások időben történő felismerésére.

Ez jelenti a beavatkozás legnagyobb nehézségét is, hiszen az elsődlegesen végrehajtandó műveleteket érzékszervi információk hiányában kell megterveznünk.



26. ábra: Radiológiai veszélyhelyzetek (forrás: a szerző szerkesztése [77] alapján)

A „veszélyes anyagok” jelenlétéről, bárcák, jelölések, valamint a speciális műszerek felhasználásával tudunk meggyőződni. A sugárforrást abban az esetben kell veszélyesnek tekinteni, ha az kikerül az ellenőrzés alól és determinisztikus egészségügyi hatást okozhat. A radiológiai veszélyhelyzetek determinisztikus egészségügyi hatásokhoz vezethetnek. Ahol a sugárterhelés nyilvánvaló következménye a szervezet károsodása, ott a legfontosabb veszélyforrás az első beavatkozást végzők számára a determinisztikus egészségügyi hatás.

### 5.3.3. A BEAVATKOZÁS LEGFONTOSABB CÉLJAI

A helyszínrre érkező egységek feladata azonnal elvégezni minden műveletet a lakosságot veszélyeztető determinisztikus hatások megszüntetésére és a sztochasztikus hatások csökkentésére. Elsősegélyben részesíteni a rászorulókat és ellátni a sugársérülteket. Visszanyerni az uralmat a kialakult veszélyhelyzet fölött és enyhíteni a következményeket. A káreset felszámolás alatt a beavatkozó állományt el kell látni megfelelő védőruházattal, légzésvédelemmel, dózismérővel és jódtablettával.

A beavatkozók állapotát a környezetnek és a helyszínnek megfelelően folyamatos monitorozással követni kell. A káreset során a jövőbeli hasonló esetek megelőzése és a kialakulás okainak elemzése érdekében fontos az információk folyamatos gyűjtése.

A megszerzett adatok felhasználásával a további káresetek során a tapasztalatok révén gyorsabb és szakszerűbb beavatkozás érhető el. Minden esetben érdemes felhasználni az előre kidolgozott Tűzoltási Műszaki Mentési Terveket és azokat a sugárvédelmi irányelveknek megfelelően alkalmazni [78].

#### **5.3.4. BEAVATKOZÁS SZERVEZÉSE**

Azokon a helyeken, ahol nukleáris veszélyhelyzettel vagy radioaktív anyag jelenlétével kell számolni, a beavatkozásért elsődlegesen a helyi szervezetek a felelősek. Ezalatt a munkahely dolgozóit, a baleset elhárításáért felelős szervezetet és a létesítmény tűzoltóságát értjük. Hozzájuk társulnak a hivatásos és önkéntes tűzoltóságok tagjai. A beavatkozásért felelős baleset elhárítási vezető kérhet, előre megtervezett protokoll alapján támogatást megyei és országos szintről egyaránt.

Az országos szintű vezetők támogatják a helyi tevékenységet és ha szükséges nemzetközi segítséget is kérhetnek. Az atomerőműre vonatkoztatva például ez azt jelenti, hogy az Átfogó Veszélyhelyzet-kezelési és Intézkedési Terv (továbbiakban: ÁVIT) alapján a beavatkozáshoz szükséges működési állapot szerinti intézkedések lépnek életbe. Az ÁVIT-ban foglaltak teljes és átfogó helyzetkezelési irányelveket tartalmaznak a nukleáris veszélyhelyzetek kezelésére, ugyanakkor az eljárásrendek az egyéb radiológiai káresemények során is alkalmazható végrehajtási protokollokat tartalmaznak [78] [79].

#### **5.4. A BEAVATKOZÁS**

A potenciális sugárveszélyes káresetek alapvető szabálya, hogy feltételezni kell a radiológiai kockázatok jelenlétét, amíg a radiológiai értékelés meg nem erősíti, vagy egyértelműen meg nem cáfolja a feltételezést. Ezen felül a veszélyes zóna határainak kijelölése az elsődleges feladatok közé tartozik, melynek meghatározott be és kiléptetési pontokkal kell rendelkeznie a kárelhárításban résztvevők folyamatos és pontos monitorozásához.

ELSŐDLEGES LEZÁRT TERÜLET MEGHATÁROZÁSA Az első döntés alapján javasolt védőtávolságok			RADIOLÓGIAI VESZÉLYHELYZETEK	
<b>Helyzet leírás</b>	<b>Az első döntés alapján – szabadban</b>	<b>Kezdeti belső lezárt terület (a veszélyes zóna határa)</b>	Radiológiai veszélyhelyzeteknek a radioaktív anyagokkal kapcsolatos eseményeket nevezzük, amelyek:	
Potenciálisan veszélyes árműködésen vagy sérült sugárforrás.	30 m sugárú kör	30 m		az ellenőrzetlen, veszélyes sugárforrásokkal
Potenciálisan veszélyes sugárforrásból származó kiszóródás.	100 m sugárú kör	100 m		a veszélyes ipari és egészségügyi sugárforrások helytelen használatával
Potenciálisan veszélyes sugárforrással kapcsolatos tűz, füst, robbanás.	300 m sugárú kör	300 m		ismeretlen eredetű lakossági sugárterhelések – szennyeződésekkel
Felrobbant vagy fel nem robbant feltételezett bomba.	400 m vagy ennél nagyobb sugárú kör	400 m	káros nagyszámi dózisterhelésekkel	
<b>Helyzet leírás</b>	<b>Az első döntés alapján – épületben</b>	<b>Kezdeti belső lezárt terület (a veszélyes zóna határa)</b>	káros nagyszámi dózisterhelésekkel	
Potenciálisan veszélyes sugárforrással kapcsolatos anyagszóródás, árműködésértesítés vagy elvesztés.	Érintett és szomszédos területek (belső térbe az alatta és fölötte lévő szinteket).	A teljes épület és az épület körül megfelelő távolság a fertőzött levegő szintjét.	rosszzindulatú fenyegetések – tevékenységekkel	
Potenciálisan veszélyes sugárforrást érintő tűz vagy egyéb olyan esemény, amely előidézi a radioaktív anyag terjedését az épületben (pl. a szellőző rendszeren keresztül).	A távolságok növelése a radiológiai monitorozás alapján	A belső lezárt területet addig növelni, ameddig ez a szint mérhető.	szállítási balesetekkel kapcsolatosak	
100 µSv/óra környezeti dózis teljesítmény.	A távolságok növelése a radiológiai monitorozás alapján			
A radiológiai veszélyhelyzetek felismerése, a gyors beavatkozás és a szakszerű eljárás kulcsfontosságú a lakosság és a környezet védelmében.				

27.ábra: Radiológiai veszélyhelyzet esetén az első beavatkozók feladatai  
(forrás: a szerző szerkesztése [78] alapján)

Ahogy a 27. ábrán is látszik, a veszélyes zóna határa az a terület, ahol a környezeti dózisteljesítmény  $100 \mu\text{Sv}/\text{óra}$  felett van. Ezalatt az átmeneti zóna területe kerül kijelölésre egészen  $20 \mu\text{Sv}/\text{óra}$  dózisteljesítmény értékig. A zónahatárok kijelölésében a sugárzási szinten felül a terepviszonyok, épületek elhelyezkedése, időjárási viszonyok, a mentesítés helyigénye is meghatározó szerepet játszanak. A veszélyes zóna határait ennek értelmében csak bővíteni lehet, szűkíteni nem. Szabadban történt káreset helyszínén a beavatkozó állomány a veszélyes anyagoknak megfelelő eljárás alapján legalább 100m-es távolsági felderítéssel keressen veszélyre utaló jeleket. A távolsági felderítés után az üzemeltetési szakemberrel, valamint lehetőség szerint a KML személyzetének bevonásával folytassák az információgyűjtést és a beavatkozáshoz minden esetben kérjék ki a sugárvédelmi szakember véleményét. A sugárveszélyes területeken a beavatkozást és tűzoltást megkezdeni csak akkor lehet, ha a sugárvédelmi szakember erre engedélyt ad. Ez alól kivételt képez az életmentés és a nagy anyagi kár elhárítása érdekében, valamint a lakosság védelmére tett intézkedések, ezalatt a beavatkozók dózisterhelését monitorozni kell. Az atomerőművek tekintetében ez azt jelenti, hogy az ügyeletes mérnök a nukleáris biztonságot érintő kérdésekben felügyeletet gyakorol a kárelhárítást vezető tűzoltás vezető felett.

A sugárterhelés csökkentése érdekében a felállítási helyek és amennyiben szükséges, a vízforrások lehetőleg az átmeneti és biztonságos zóna határán legyenek. A felhasznált oltóanyag szempontjából lényeges, hogy a beavatkozás során azok felhasználása ne vezessen a radioaktív anyagok széthordásához vagy kontrolálhatatlan szétterjedéséhez. A felhasznált erőket és eszközöket az arra kijelölt, előre meghatározott helyen mentesíteni kell [78] [79].

#### **5.4.1. FELDERÍTÉS, KÁRFELSZÁMOLÁS ELŐKÉSZÍTÉSE**

A kárhelyszín megközelítésekor a felállítási helyeket az előzetes információk és adatok segítségével kell kijelölni és a felderítést megelőzően meg kell határozni a veszélyes területen kívüli gyülekező helyeket. Ezt követően a kárhelyparancsnok az Üzemviteli Szervezet és a Sugárvédelmi Szervezet bevonásával adjon utasítást a felderítés megkezdésére a káreset pontos behatárolása érdekében. A helyszíni felderítés és szakértői vélemény alapján intézkedni kell a felderítésben résztvevők váltásáról, tartalékok képzéséről, a beavatkozó állományt tájékoztatni kell a várható hatásokról és a magatartási szabályokról.

A felderítés, beavatkozás megkezdése előtt a sugárzási szint, valamint a sugárterhelés ellenőrzésére, mérésére intézkedni kell, amiről nyilvántartást kell vezetni, pontos sugárzási és területi paraméterekkel [78] [79].

A kárhelyparancsnok a felderítés alapján határozza meg:

- a szükséges védőruházat és légzésvédő készülék használatát;
- a veszélybe került személyek mentésének sorrendjét, módját;
- a beavatkozás lehetőségeit;
- a beavatkozásban résztvevők működési körzetét;
- a veszélyes környezetben tartózkodás idejét (biztonságos bevetési idő);
- az eseménytől függően az alkalmazható eszközöket és oltóanyagokat.

Az Üzemviteli Szervezet és a Sugárvédelmi Szervezet bevonásával helyismeret és mérés alapján meg kell határozni:

- a veszélyforrás helyét;
- a megközelítés módját, távolságát;
- a veszélyes környezet és zóna határait;
- a folyamatos sugárzási szint mérés végrehajtásának módját;

- a veszélyes környezetben tartózkodás idejének megállapításához szükséges adatokat.

A kárhelyparancsnok gondoskodik a sugárvédelmi szervezet szakembereivel a dolgozók kimenekítésében résztvevő személyek kijelöléséről, továbbá a szakértői vélemény alapján határozza meg:

- a kimenekítés módját;
- a szükséges védőeszközök használatát;
- a beavatkozásban résztvevők működési helyét;
- a bevetési helyeken a tartózkodás idejét;
- a kimenekítettek gyülekezési helyét. [80] [81] [82]

### **5.4.2. ÉLETMENTÉS**

Az életmentés során figyelembe kell venni, hogy azzal párhuzamosan a lakosságot veszélyeztető determinisztikus hatások megszüntetésére és a sztochasztikus folyamatok hatásainak csökkentésére el kell kezdeni a beavatkozást.

A veszélyeztetett területeken lévő személyek mentését a sugárveszélyes anyag tulajdonságainak, terjedési irányának és az elszennyezett területnek figyelembevételével kell végrehajtani, ugyanakkor ezek jelenléte nem akadályozhatja a kárfelszámolás kritikus feladatainak végrehajtását.

A mentendő személyeket megfelelő védelem mellett kell ellátni és biztonságos elkülönített helyre szállítani, ahol elsősegélyben kell részesíteni a rászorulókat és ellátni a sugársérülteket. A beavatkozó állománynak figyelmet kell fordítani a veszélyhelyzeti dóziskorlátok betartására [77] [78].

## 5.5. A KÁRELHÁRÍTÁS FOLYAMATA RADIOLÓGIAI VESZÉLYHELYZET ESETÉN

Az eseményt a nukleáris veszélyhelyzet kialakulása indítja el, amely miatt az első beavatkozók riasztásra kerülnek és a meghatározott szabályzók alapján a beavatkozáshoz szükséges működési állapotnak megfelelő intézkedések lépnek életbe. A kárelhárításban részt vevő elsődleges beavatkozók útba indítása előtt a rendelkezésre álló előzetes információk alapján fel kell mérni:

- a személyzet védelmének módját,
- az egyes személyek által végrehajtandó feladatokat.

A vonulás során vagy kikerkezéskor, a felállítási helyen, azaz megfelelő távolságot tartva, a meglévő adatok alapján meg kell állapítani az egyes személyekre engedélyezett dózisoskat [77] [78].

### **A kárelhárításban részt vevők beavatkozását megelőző teendők**

Annak érdekében, hogy a kárelhárítás kezelése megfelelő legyen, szükséges az alábbi biztonsági és végrehajtási szempontokat figyelembe venni és az adott kockázati helyzetre vonatkoztatva használni:

- meghatározásra kell kerülnie a balesetelhárítási tevékenység kategóriájának;
- a tűzoltásvezető vagy kárhelyparancsnok tájékoztatja a kárfelszámolásban résztvevőket a meghatározott és engedélyezett dózis értékéről;
- a balesetelhárítási tevékenységben résztvevő személyeket el kell látni a következő utasításokkal:
  - o Az egyes személyek dózisa lehetőleg ne haladja meg az engedélyezett dózist;
  - o Elő kell készíteni a jódtablettákat, hogy a felelős vezető jódpofilaxisra vonatkozó döntését követően azokat haladéktalanul alkalmazni lehessen;
  - o Meg kell határozni a balesetelhárítási tevékenység befejezése utáni gyülekezési helyet, és egyéb szükséges információkat;
- a főbb döntéseket rögzíteni kell;
- a beavatkozó csoportok váltásánál biztosítani kell a dekontaminálás mellett a szükséges információk átadását is;

- a beavatkozóknak folyamatosan figyelembe kell venni az elektronikus dózismérő jelzésit az egészségügyi határértékeknek és veszélyhelyzetre vonatkozó korlátoknak a betartása miatt [77] [78] [80].

## 5.6. A KÁRFELSZÁMOLÁS

Sugárveszélyes körülmények között a tűzoltási és műszaki mentési munkát addig nem lehet végezni, amíg a sugárvédelmi szakember a munkavégzésre nem adta meg az engedélyt. Az oltási eljárásokat és az oltóanyagot, valamint az egyéb intézkedéseket úgy kell meghatározni, hogy az érvényes utasításoknak, előírásoknak megfeleljenek és ne vezessenek a radioaktív anyagok szétterjedéséhez, széthordásához.

A beavatkozásnál az indokolatlan sugárterhelést és radioaktív anyaggal történő szennyeződést mindenképpen el kell kerülni, ennek érdekében a beavatkozás szervezésénél:

- a gépjárművek felállítási helyét és a vízforrásokat lehetőleg a veszélyes zónán kívül kell kijelölni;
- a feltétlenül szükséges létszám és felszerelés minél rövidebb ideig tartó működésére kell törekedni;
- a beavatkozást a sugárforrástól lehető legtávolabbról kell végezni;
- a radioaktív sugárzással szemben árnyékolóként fel kell használni az építmény, illetve a terep adta lehetőségeket;
- az oltás után a bevetett erőket és eszközöket szükség esetén a kijelölt helyen mentesíteni kell.

Ha a helyszínen felelős személyzet nincs, a tűzoltásra és műszaki mentésre a tűzoltásvezető csak abban az esetben adhat utasítást, ha a helyszín alapos ismeretével, sugárveszély szempontjából előfordulható legveszélyesebb körülmények ismeretével és a szükséges felszerelésekkel rendelkezik. Ezek hiányában a kárelhárításnak a környezet védelmére, valamint az élet és testi épség védelmére kell korlátozódnia. Az állomány sugárveszélyes területen való tartózkodásának ideje alatt a sugárzási szintről a kárhelyparancsnok személyesen vagy az általa kijelölt személy közreműködésével köteles folyamatosan informálódni. (Sugárzásban eltöltött idő mennyi lehet.) Ha a sugárzási szint meghaladja a veszélyes területen való működési idő számítási alapját képező értéket, a tartózkodási időt ismételten meg kell határozni és erről a kárelhárításban résztvevőket megfelelően tájékoztatni kell.

A veszélyes zónán belüli biztonságos tartózkodás idejét követően az állományt a veszélyes területről azonnal ki kell vonni [77] [78].

A veszélybe került személyek mentését és biztonságba helyezését a káresemény jellegének megfelelő módon és mentési útvonalon kell végrehajtani, ami nem akadályozhat magasabb rendű kárfelszámolási elvet, mint rövid időn belül bekövetkező, a lakosságot nagy mértékben veszélyeztető expozíció. A beavatkozás során meg kell akadályozni a sugárveszélyes anyagok szétterjedését, szétszóródását. Az építmények, terep adta lehetőségek (árnyékoló felületek) igénybevételével és a sugárforrástól történő megfelelő távolságtartás a beavatkozó állomány számára az elsődleges védelmi protokollt jelentik az egyéni védőfelszerelések viselése mellett. A sugárveszélyes területeken a feladatokat csak a feltétlenül szükséges létszám és felszerelés minél rövidebb idejű igénybevételével lehet végrehajtani [77] [78].

#### **A kárfelszámolás végrehajtását követő feladatok**

A tűzoltás és műszaki mentés befejezése után végre kell hajtani a beavatkozó személyi állomány és felszerelés sugárszennyezettség ellenőrzését, szükség szerinti mentesítését, amelyek eredményét dokumentálni kell, továbbá meg kell állapítani a személyi állományt ért sugárterhelés mértékét és azt a személyi dozimetriai adatok nyilvántartásába be kell jegyezni. Veszélyhelyzetben a tűzoltók sugárterhelésének nyilvántartását a Sugárvédelmi szervezetnek kell végezni [80].

### **5.7. BEAVATKOZÓK BIZTONSÁGA**

A sugárterhelés helyén csak annyi személy és annyi ideig tevékenykedjen, amennyi feltétlenül szükséges és ügyeljenek arra, hogy a védőfelszerelések használata közben ne legyen szabadon lévő bőrfelület. A sugárveszélyes beavatkozás során a személyi állomány részére dozimétról egyénre szólóan kell gondoskodni. A veszélyes zóna határán belül mindenképpen védőruhát és légzésvédelmi berendezést kell használni, mivel teljes testfelület védelem és sűrített levegős légzőkészülék használata esetén a belső sugárterhelés veszélye minimális. A veszélyhelyzet kezelés tűzoltási- és kármentési feladatait úgy kell szervezni és irányítani, hogy a beavatkozók sugárterhelése lehetőleg ne haladja meg az adott tevékenységre vonatkozó irányadó szinteket, de mindenképpen el kell kerülni a determinisztikus hatások küszöbdózisát meghaladó sugárterhelést.

A feltételezett sugárforrásokat és radioaktív anyagokat lehetőleg kerüljék el legalább egy méterre és a feltételezett sugárforrással történő közvetlen fizikai kontaktust kerülni kell, tárolója kinyitásra vagy bármilyen közvetlen kapcsolatba a beavatkozókcal.

Figyelembe kell venni, hogy a radioaktív anyagokkal jelentős mértékben szennyezett területeken az ott tevékenységet végző személyek vagy sérültek test felülete radioaktív anyagokkal kontaminálódhatott. A sugárforrásokkal szemben fel kell használni minden lehetőséget, árnyékolást, távolságot és időt, beleértve a terepviszonyok adta lehetőségeket. A veszélyes zónában eltöltött idő függvényében a sugárszint monitorozás eredményeként még a dózisterhelés biztonságos értékének meghaladása előtt az állományt a veszélyes zónából ki kell vonni. Az általános kárelhárítási biztonsági szempontok értelmében a lezárt területeken az azonnali visszavonulás lehetőségét minden esetben biztosítani kell, amihez a biztonságos zónában legalább két fő a beavatkozókcal azonos védőfelszereléssel ellátva álljon készenlétben. A veszélyes zóna erre a célra kialakított kiléptetési pontján a beavatkozók védőruhájának külső sugárszennyezettségét ellenőrizni kell. A veszélyhelyzet kezelés alapvető beavatkozó-védelmi elve, hogy az esemény jellegéhez és kiterjedéséhez mindig az adott feladathoz szükséges mennyiségű erő és eszközállományt kell bevetni, a folyamatos váltás megszervezésével. Az aktuális baleset-elhárítási feladatok jellegétől és indokoltságától függően további visszahívási szintek kerülnek meghatározásra. A következő táblázatban foglaltak az egyes feladatok sugárterheléséhez származtatott szintjeinek meghatározására vonatkoznak [79] [81].



28.ábra: Dóziskorlátok (forrás: a szerző szerkesztése [81] alapján)

A veszélyhelyzetek során a beavatkozók elsődleges irányelve, hogy a megfelelő védőfelszerelések ellenére sem tölthetnek el szükségesnél több időt a kárhelyszínen.

Ez alól csak a táblázatban nevesített esetekben lehet korlátozott eltérés, tehát az egyéni sugárterhelés differenciáltan az elvégzendő feladat szükségességére alapján lehet magasabb. Ezen elveket figyelembe véve, nem haladhatja meg veszélyhelyzet esetén a baleset elhárításában részt vevő személy sugárterhelése az 50mSv effektív dózist. Kivételt képezhet ez alól, ha a népesség jelentős sugárterhelésének megakadályozása vagy életmentés a feladat. Ebben az esetben az érintett beavatkozóknak törekedni kell a 100mSv effektív dózis, illetve életmentés esetében a 250mSv effektív dózis meghaladásának elkerülésére.

A sugárterhelési korlátok betartásának érdekében célszerű felhasználni a már korábban említett sugárzás elleni védekezés opcionális lehetőségeit.

- árnyékolás,
- távolság,
- idő.

A sugárzási szintek monitorozása alapján a veszélyes zónában tartózkodó személyt még a dózisterhelés biztonságos értékének meghaladása előtt ki kell vonni és szükség szerint váltani vagy alternatív megoldást használni. A kollektív és egyéni védőeszközök kiválasztásánál fontos szempont a veszélyhelyzet jellegének meghatározása. Kollektív védőeszköznek minősülnek az óvóhelyek, a vezetési pontok, az önálló szűrő-szellőztető rendszerrel ellátott járművek, vagy az elzárkóztatásra alkalmas épületek. Az egyéni védőfelszerelések kategóriájába tartozik minden olyan légzésvédelem és bőrfelület védő felszerelés, amely képes megfelelő védelemmel felruházni a kárelhárításban résztvevőket [79] [80] [81] [83].



29.ábra: Első beavatkozás általános helyszínrajza (forrás: a szerző szerkesztése [77] alapján)

## 5.8. A BEAVATKOZÓK DÓZISTERHELÉSÉNEK MÉRÉSE

A beavatkozási állomány sugárterhelésének mérése a nukleáris, vagy radiológiai vonatkozású események felszámolásakor kiemelt fontosságú. Hazánkban az atomerőmű tűzoltóságánál a vonulós állomány folyamatos radiológiai monitorozása TLD és elektronikus doziméterekkel történik. A TL doziméter (termolumineszcens doziméter) az ionizáló sugárzás mérésére szolgáló eszköz, amely a sugárzás hatására energiát „raktároz”, majd ezt később a kiértékelés során hevítés hatására fény formájában sugározza vissza.



30. ábra: TL doziméter működése (forrás: a szerző szerkesztése)

TLD doziméter működése:

- Sugárzás elnyelése
- Energia tárolása
- Kiolvasás (hevítés)
- Fénykibocsátás (termolumineszcencia)
- Kiértékelés

A doziméterben lévő kristály (pl. lítium-fluorid – LiF) elnyeli az ionizáló sugárzást. Ez a sugárzás elektronokat üt ki az atomokból, amelyek csapdába kerülnek a kristályszerkezetben. Az elektronok ezekben a csapdában „megmaradnak” a kristály arányosan tárolja a kapott dózist. Minél nagyobb a sugárterhelés, annál több elektron reked meg. A méréskor a kristályt felmelegítik. A hő hatására az elektronok kiszabadulnak a csapdákból, és visszatérnek eredeti állapotukba [84].

Az elektronok visszatérésekor fény (lumineszcencia) keletkezik. Ennek intenzitása arányos az elnyelt sugárdózissal. A kibocsátott fényt egy detektor méri, és ebből számítják ki a dózist (mSv-ben). A TL doziméter nagy előnye a kis mérete és súlya, valamint a nagy pontossága és az igen széles dózis tartomány melynek mérésére alkalmas (gamma sugárzás mérésére használjuk), azonban mivel azonnali visszajelzést az elnyelt sugáradagról nem ad, ezért elektronikus doziméterrel együtt használjuk. A hivatásos tűzoltó egységek számára Tolna vármegyében meghatározott számú TL doziméter került kiadásra, melyek a tűzoltóságokon kerültek elhelyezésre, kiértékelésük és cseréjük a Paksi atomerőműben történik. A termolumineszcens dozimétert az elsődleges beavatkozást végzők elektronikus doziméterrel együtt használják, mely megegyezik a Paksi Atomerőműben használt doziméterekkel. Az MGP DMC 2000S elektronikus doziméter egy korszerű, személyi elektronikus doziméter (EPD), amelyet kifejezetten valós idejű sugármérésre és riasztásra fejlesztettek ki – tipikusan nukleáris iparban, egészségügyben és beavatkozási környezetben [84] [85].



31. ábra: MGP DMC 2000s doziméter működése (forrás: a szerző szerkesztése)

Az MGP DMC 2000s doziméter működése:

- Sugárzás érzékelése
- Elektromos jel képzése
- Feldolgozás
- Kijelzés és riasztás

A készülék félvezető detektort (szilícium detektor) használ, a gamma sugárzás a detektorban töltéshordozókat hoz létre. Ezekből a töltésekből elektromos impulzusok keletkeznek.

A beépített elektronika számolja az impulzusokat, meghatározza a dózist és dóziseljesítményt ( $\mu\text{Sv/h}$ ), folyamatos visszajelzést biztosít kijelzőjén keresztül (LCD). Programozhatóak a riasztási szintek így különböző feladatok végrehajtásához is rendkívül jól finomhangolható, hang és fényjelzést ad riasztáskor, ha a beállított határértéket túllépésre következik be. Az eszköz hasznos funkciója a határérték megközelítésekor adott előjelzés, mely lehetőséget biztosít az beavatkozók időbeni váltásáról gondoskodni, hogy a dóziskorlátok betartása és így az állomány megfelelő védelme mindenkor biztosítható legyen. A mért adatokat memóriájában tárolja a későbbi kiolvasásig. Az eszköz ipari kivitelű, a bevetési ruházaton kialakított tartóban tűzoltói beavatkozások során is biztosítja a feladatot végrehajtók számára az elsődleges dózismonitorozás lehetőségét így a meghatározott dóziskorlátok betartását, valamint így támogatja a tűzoltásvezető, vagy kárhelyparancsnok döntéshozatalát.

A tűzoltási és műszaki mentési feladatok végrehajtásakor a kárterület kiemelt zajszennyezése esetén az elektronikus doziméter kiegészíthető a PAM-1-es rezgőmodullal, mely képes a riasztási hangjelzés felerősítésére, valamint erőteljes rezgő funkcióval is rendelkezik, valamint fülhallgatóval is kiegészíthető. A doziméter használatának is vannak természetes korlátai, elsősorban gamma sugárzásra optimalizált, melynek pontos méréséhez rendszeres kalibráció szükséges, mivel elektronikai eszköz ezért sérülékenyebb lehet extrém környezetben.

Védőkesztyűben használata nehézkes, ezért a védőfelszerelés felvételét megelőzően kell bekapcsolni és a tartó zsebben elhelyezni. Beavatkozást követően a közvetlen kárfelszámolásban résztvevők és eszközeik felületi szennyezettségét is ellenőrizni szükséges. A felületi szennyezettség mérése a radiológiai beavatkozások egyik kulcsfontosságú momentuma, amelynek célja annak meghatározása, hogy egy adott felületen (például: talaj, eszköz, védőruha, jármű) jelen van-e radioaktív szennyeződés, és az esetleges szennyeződés mértékének meghatározása is szükséges.

Ehhez a Paksi Atomerőműben kézi felületi szennyezettség mérő műszereket használnak.

A kézi felületi szennyezettségmérő műszerek lehetővé teszik a radioaktív szennyeződések gyors és helyszíni kimutatását, amely alapvető a szennyeződés terjedésének megakadályozásában és a hatékony dekontamináció végrehajtásában [84] [85].

Mérés szükséges:

- radioaktív anyag jelenlétének kimutatásához
- szennyezettség mértékének meghatározásához
- dekontamináció szükségességének eldöntéséhez
- zónahatárok kijelölésének támogatásához

A primerkörben a gyakorlatokat és beavatkozásokat követően leggyakrabban használt eszköz az LB 124 SCINT hordozható szennyeződésmonitor, mely egy korszerű, hordozható szennyezettségmérő műszer, amelyet kifejezetten felületi radioaktív szennyeződések kimutatására fejlesztettek, különös tekintettel az alfa és béta sugárzásra. A műszer szcintillációs detektorral működik, gamma háttérsugárzás jelenlétében is használható. Nagy érzékenységű különösen alfa-sugárzásra, ami más mérőműszerekkel nehezebben kimutatható [84] [85].



32. ábra: LB 124 SCINT hordozható szennyeződésmonitor működése (forrás: a szerző szerkesztése)

A szennyeződésmonitor működése:

- A radioaktív sugárzás ( $\alpha$ ,  $\beta$ ) energiát ad át a detektor anyagának
- A detektor fényfelvillanásokat (szcintillációkat) hoz létre
- Ezeket egy fotodetektor elektromos jellé alakítja
- A készülék feldolgozza és kijelzi az értéket

Helyes mérési technika:

- detektor távolsága: ~1–2 cm
- mozgás: lassú pásztázás (2–5 cm/s)
- teljes felület lefedése
- külön figyelmet kell fordítani:
  - o repedésekre, illesztésekre, nehezen hozzáférhető felületekre

Alkalmazás beavatkozási környezetben elsősorban személyi ellenőrzésre kilépési pontokon, ahol a védőruházat vizsgálatára, eszközök, felszerelések ellenőrzésére, szennyezett felületek lokalizálása és sikeres dekontamináció ellenőrzése használhatjuk. A készülék nagy előnye az alfa-szennyező izotópok megbízható kimutatása, ami kritikus lehet a belső sugárterhelés az inkorporáció szempontjából. A beavatkozást követően a primerkör szabályos elhagyására, csak a központi egészségügyi épületen keresztül van lehetőség, ahol a személyzet és a beavatkozók sugárvédelmi ellenőrzése megtörténhet. A kilépést többlépcsős ellenőrzés előzi meg a telepített Argos személyi szennyezettségellenőrző kapuk ARGOS-5PB és ARGOS-1PB típusok (egésztest-monitorozó funkcióval) segítségével. Az Argos személyi szennyezettségellenőrző kapu automatizált rendszerként alkalmas a személyek teljes testfelületének gyors ellenőrzésére, ezáltal hatékonyan támogatja a radioaktív szennyeződés kijutásának megelőzését az ellenőrzött területekről. A sugárkapu működése során rendszer összeveti a detektorokon mért értékeket a háttérrel és a beállított küszöbértékekkel. A kapott eredmény tiszta / átengedhető, vagy szennyezett, mikor a kapu jelzést ad és a ruházat, vagy a bőrfelület tisztítását követően ismételt ellenőrzés következik, vagy riasztás ad átjelzéssel a dozimetriai szolgálatnak [84] [85].

Alkalmazási területek:

- atomerőművek
- radioaktív anyagokkal dolgozó üzemek, kutatóintézetek
- egészségügyi létesítmények
- áteresztő és dekontamináló pontok

Elsődleges cél: megakadályozni a radioaktív szennyeződés kihordását az ellenőrzött zónából.

A kapu működése:

- Belépés a kapuba
  - o A személy a kijelölt pozícióba áll.
- Többdetektoros mérés
  - o A rendszer több oldalról méri:
    - kéz, láb
    - ruházat, testoldalak
    - teljes testfelület



33. ábra: ARGOS személyi szennyezettségellenőrző kapu (forrás: a szerző szerkesztése)

Beavatkozási alkalmazás:

- Radiológiai esemény után:
  - o beavatkozók kilépő ellenőrzése
  - o védőruházat ellenőrzése
  - o dekontaminálás utáni kontroll
  - o személyi szennyeződés kizárása
  - o belső sugárterhelés/inkorporáció jelzésére

Tömeges mérések végzésére is alkalmas, inkorporációs jelzést követően egésztestszámlálást kell végezni [85].

## 5.9. VESZÉLYHELYZETI EGÉSZSÉGÜGYI ELLÁTÁS

A veszélyhelyzeti egészségügyi ellátás tervezésének alapvetése, hogy rendkívüli események során egyaránt előfordulhatnak egyéni sérülések, tömeges balesetek, vagy akár közel azonos időben bekövetkező eltérő helyszínű egyedi személyi sérülések. A mechanikai behatások okozta sérülések, sebek, törések és égési sebek ellátásán felül számolni kell a sugárforrások általi sérülésekkel, esetleges inkorporáció fennállásával, valamint a külső és belső sugárterhelés következtében fellépő szervezeti hatásokkal.

A mechanikai sérülésekből további sugársérülések következhetnek be. Alapesetben a sérültek ellátása az üzemorvosi rendelőben vagy a tűzoltóság elsősegély helyén történik meg. [5][8] Olyan esetekben, ha ezek egyike sem alkalmas a kialakult helyzet miatt a sérültek fogadására vagy ellátására, akkor külön ellátóhelyeket kell telepíteni, külön erre a célra kijelölt biztonságos pontokon, vagy kialakítani az óvóhelyek területén. Az egyes sérülések ellátása adott esetben már a dolgozók által megkezdődhet, amihez a későbbiekben kikerülő szakemberek közvetlenül be tudnak kapcsolódni. Sugárforrások okozta tényleges vagy feltételezett sérülések esetén az elsősegélynyújtás és a közvetlen életveszély elhárítása után szükséges a szennyezett ruhák eltávolítás és megfelelő elhelyezése, továbbá mentesítés céljából a könnyel eltávolítható szennyeződések lemosása. Abban az esetben, ha sebek és sérült bőrfelületek mentesítésére lenne szükség, akkor azokat az legközelebbi alkalmas és kijelölt kórházban tudják az erre rendszeresített speciális műszerezettségű ellátóhelyeken kezelni. Minden személy mentéséhez és mentesítéséhez figyelembe kell venni a sérült fizikai állapotát és azokat a körülményeket, melyekhez orvosi beavatkozások szükségesek. Ezen döntések megállapításához támpontot szolgáltathatnak a sérült dozimétere által közvetített adatok [85] [86].

### **Sugársérültek szakellátására kijelölt intézmények**

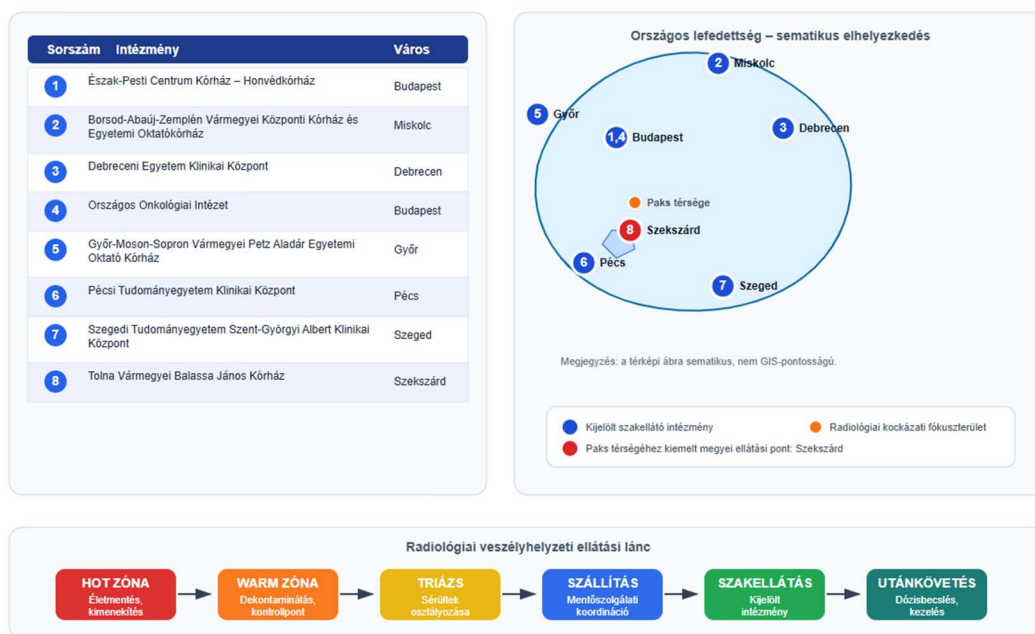
A radiológiai veszélyhelyzetek kezelése során kiemelt fontosságú a sugársérültek vagy arra gyanús személyek speciális egészségügyi ellátásának biztosítása. Magyarországon ezen feladat ellátására kijelölt intézményi hálózat működik, amely biztosítja:

- a gyors triázst és diagnosztikát
- a sugárbiológiai és toxikológiai értékelést
- valamint a specifikus terápiás beavatkozásokat

Az ellátórendszer illeszkedik a International Atomic Energy Agency ajánlásaihoz, különös tekintettel a többszintű (lokális–regionális–országos) egészségügyi válaszrendszer kialakítására [87].

## Sugársérültek szakellátására kijelölt intézmények Magyarországon

Táblázat + ábra kombinált publikációs layout radiológiai veszélyhelyzeti ellátási láncsal



34. ábra: Sugársérültek szakellátására kijelölt intézmények Magyarországon

(forrás: a szerző szerkesztése [87] alapján)

## 5.10. FEJEZETI KÖVETKEZTETÉSEK

A nukleáris és radiológiai események vizsgálata rámutat arra, hogy a modern nukleáris biztonság nem kizárólag technológiai kérdés, hanem összetett vezetési, sugárvédelmi, műszaki és beavatkozás-szervezési feladat is. A nemzetközi tapasztalatok alapján megállapítható, hogy a súlyos nukleáris események kialakulásában és következményeinek súlyosbodásában rendszerint több tényező együttes jelenléte játszik szerepet: a technológiai meghibásodások, az emberi tényező, a hiányos kommunikáció, valamint a veszélyhelyzeti döntéshozatal késedelmei.

Az olyan események, mint a Chernobyl disaster, a Fukushima Daiichi Nuclear disaster vagy a Three Mile Island accident egyértelműen igazolták, hogy a kezdeti időszakban végrehajtott beavatkozások gyorsasága, szervezettsége és szakmai megalapozottsága alapvetően meghatározza a veszélyhelyzet további lefolyását.

A radiológiai veszélyhelyzetek során az első beavatkozók tevékenysége különösen nagy jelentőséggel bír, mivel a technológiai rendszerek funkcióvesztése esetén a személyi állomány válik a kárelhárítás elsődleges elemévé.

A sugárvédelmi problémák elemzése alapján megállapítható, hogy a beavatkozások egyik legkritikusabb kérdése a determinisztikus egészségkárosító hatások elkerülése, valamint a hosszú távú sztochasztikus következmények minimalizálása. A veszélyes zónában végzett tevékenységek során a dózisterhelés folyamatos monitorozása, az idő-, távolság- és árnyékolásvédelem következetes alkalmazása, valamint az egyéni védőfelszerelések megfelelő használata alapvető jelentőségű. A fejezetben bemutatott dozimetriai rendszerek és szennyezettségmérő eszközök alkalmazása igazolja, hogy a valós idejű sugárvédelmi információk nélkülözhetetlenek a biztonságos kárelhárításhoz.

A vizsgált események egyik legfontosabb közös tanulsága a külső vízbetáplálás meghatározó szerepe. A reaktorok, pihentető medencék és egyéb kritikus rendszerek hűtésének fenntartása minden súlyos nukleáris veszélyhelyzet során elsődleges prioritást jelent. A technológiai rendszerek sérülése vagy az elektromos energiaellátás kiesése esetén a mobil vízszállító és vízbetápláló rendszerek alkalmazása létfontosságúvá válik. A nemzetközi tapasztalatok alapján egyértelműen megállapítható, hogy a megfelelő mennyiségű és redundáns külső vízutánpótlás hiánya jelentősen növeli a zónaolvadás és a radioaktív kibocsátás kockázatát.

A vezetési és irányítási problémák szintén visszatérő elemként jelentek meg a nukleáris események során. A komplex veszélyhelyzetekben a különböző szervezetek közötti koordináció, az információáramlás biztosítása, valamint a gyors és megalapozott döntéshozatal kiemelt jelentőségű. A sugárvédelmi szakemberek, az üzemviteli szervezetek és a tűzoltásvezetés együttműködése nélkülözhetetlen a beavatkozások sikeres végrehajtásához. A nemzetközi tapasztalatok igazolják, hogy a veszélyhelyzeti vezetési struktúrák előzetes kidolgozása, a rendszeres gyakorlatok és az egységes kommunikációs protokollok jelentősen növelik a reagálóképességet.

A fejezet megállapításai alapján különösen fontos a mobil technikai rendszerek alkalmazásának fejlesztése.

A mobil szivattyúk, aggregátorok, vízagyúk, távoli működtetésű beavatkozó eszközök, valamint a hordozható sugárfelderítő rendszerek olyan képességeket biztosítanak, amelyek a fix telepítésű rendszerek sérülése esetén is fenntarthatják a kárelhárítás alapvető funkcióit.

A modern nukleáris veszélyhelyzet-kezelés egyik meghatározó iránya a rugalmasan alkalmazható, gyorsan telepíthető és redundáns mobil rendszerek kialakítása. A hazai alkalmazhatóság szempontjából megállapítható, hogy Magyarország nukleáris veszélyhelyzeti rendszere és a MVM Paksi Atomerőmű Zrt. által működtetett sugárvédelmi és kárelhárítási struktúra számos elemében megfelel a nemzetközi ajánlásoknak. Ugyanakkor a nemzetközi események tapasztalatai alapján indokolt:

- a mobil vízbetáplálási képességek további fejlesztése,
- a beavatkozási sugárvédelmi képzések rendszeres bővítése,
- a több szervezetet érintő komplex gyakorlatok számának növelése,
- valamint a valós idejű sugárvédelmi döntéstámogató rendszerek fejlesztése.

Összességében megállapítható, hogy a nukleáris és radiológiai veszélyhelyzetek kezelése kizárólag integrált, multidiszciplináris megközelítéssel lehet eredményes, amelyben a technológiai biztonság, a sugárvédelem, a tűzoltói beavatkozás, az egészségügyi ellátás és a vezetési rendszerek egymással szoros együttműködésben működnek.

## **6. NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK BEN KIALAKULÓ SÚLYOS BALESETEK**

### **6.1. A FEJEZET BEVEZETÉSE ÉS A HOZZÁ KAPCSOLÓDÓ TUDOMÁNYOS PROBLÉMA**

A nukleáris létesítmények biztonsága a modern ipari társadalmak egyik legösszetettebb és legkritikusabb műszaki–biztonsági kérdésköre. Az atomenergia alkalmazása során a normál üzemi állapotok mellett számolni kell olyan rendkívüli események lehetőségével is, amelyek a technológiai rendszerek sérüléséhez, a hűtési funkció elvesztéséhez, valamint végső esetben súlyos nukleáris baleset kialakulásához vezethetnek. A nemzetközi tapasztalatok – különösen a Three Mile Island accident, a Chernobyl disaster és a Fukushima Daiichi Nuclear disaster eseményei – egyértelműen rámutattak arra, hogy a súlyos balesetek kialakulása több tényező együttes következménye, amelyben a műszaki meghibásodások, az emberi tényezők, a szervezeti hiányosságok és a külső környezeti hatások egyaránt meghatározó szerepet játszanak. A korszerű nukleáris biztonsági szemlélet már nem kizárólag a balesetek megelőzésére fókuszál, hanem kiemelt hangsúlyt helyez a súlyos balesetek kezelésére (Severe Accident Management – SAM), az eszkaláció megakadályozására, valamint a radioaktív kibocsátás minimalizálására. Ennek egyik legfontosabb eleme a mélységi védelem elvének alkalmazása, amely többszintű műszaki, szervezeti és adminisztratív védelmi rendszerekkel törekszik a biztonság fenntartására. Amennyiben azonban ezen rendszerek részben vagy teljes mértékben működésképtelenné válnak, a beavatkozó szervezetek – különösen az atomerőművi tűzoltóság és a balesetelhárítási szervezetek – szerepe meghatározóvá válik. A Paksi Atomerőmű esetében a súlyosbaleset-kezelési eljárások egyik legfontosabb eleme a külső hűtőközeg-betáplálás biztosítása, amely a reaktorok és kapcsolódó rendszerek maradványhő-elvezetésének fenntartását szolgálja. A beavatkozás komplexitását növeli, hogy a műveletek szélsőséges körülmények között, korlátozott időablakban, jelentős fizikai és pszichés terhelés mellett, esetenként radiológiai veszélyeztetettségben kerülnek végrehajtásra. A sikeres kárelhárítás alapfeltétele a megfelelő technikai háttér, a gyors döntéshozatal, a koordinált vezetési rendszer, valamint a magas szintű szakmai felkészültség.

A fejezet célja a nukleáris létesítményekben kialakuló súlyos balesetek alapvető mechanizmusainak, kezelési folyamatainak és a beavatkozást befolyásoló tényezőknek az elemzése, különös tekintettel a MVM Paksi Atomerőmű Zrt. súlyosbaleset-kezelési rendszerére és az Atomerőmű Tűzoltóság szerepére. A fejezet vizsgálja továbbá a klímaváltozásból eredő új típusú kockázatokat, amelyek a jövőben jelentősen befolyásolhatják a nukleáris veszélyhelyzet-kezelési és elsődleges beavatkozási tevékenységeket. A nukleáris létesítményekben kialakuló súlyos balesetek kezelésének egyik legkritikusabb kérdése, hogy a technológiai védelmi rendszerek részleges vagy teljes kiesése esetén miként biztosítható a reaktorok és kapcsolódó rendszerek hosszú távú hűtése, valamint a radioaktív kibocsátás megelőzése. A nemzetközi nukleáris balesetek tapasztalatai igazolták, hogy a biztonsági rendszerek többszörös sérülése, a külső villamosenergia-ellátás elvesztése, illetve a hőelvonási funkció megszűnése rövid idő alatt súlyos reaktorbaleseti helyzethez vezethet. A Paksi Atomerőmű súlyosbaleset-kezelési rendszere rendelkezik olyan alternatív műszaki megoldásokkal – különösen mobil külső hűtőközeg-betápláló rendszerekkel, amelyek képesek a maradványhő-elvezetés biztosítására. Ugyanakkor a rendszer működésének eredményessége számos külső és belső tényezőtől függ, többek között:

- a víznyerési helyek aktuális állapotától,
- a hidrológiai és meteorológiai körülményektől,
- a rendelkezésre álló technikai eszközök teljesítményétől,
- a beavatkozási időtől,
- a személyi állomány létszámától és felkészültségétől,
- valamint az esetleges radiológiai veszélyeztetettségétől.

További problémát jelent, hogy a jelenlegi külső hűtőközeg-betáplálási rendszer jelentős részben manuális tömlőfektetésre, mobil szivattyúk telepítésére és nagy előerő-igényű beavatkozási folyamatokra épül. Egy komplex súlyos baleseti helyzetben azonban párhuzamosan jelentkezhethet:

- tömeges életmentési feladat,
- tűzoltási és műszaki mentési igény,
- infrastruktúra-károsodás,
- energiaellátási zavar,
- extrém időjárási esemény,
- valamint emelkedett sugárzási szint.

A klímaváltozás következtében fokozódó szélsőséges időjárási jelenségek – különösen a hóhullámok, az aszályos időszakok, az alacsony dunai vízállás, valamint a villámárvizek – tovább növelhetik a súlyos balesetkezelés komplexitását és kockázatait. Ennek következtében felmerül a kérdés, hogy a jelenlegi súlyosbaleset-kezelési és elsőbeavatkozó rendszer milyen mértékben képes alkalmazkodni a megváltozó környezeti és technológiai feltételekhez.

A kutatás tudományos problémája ennek megfelelően az alábbi kérdéskörben fogalmazható meg:

- Milyen módon növelhető a Paksi Atomerőmű súlyosbaleset-kezelési rendszerének és az elsődleges tűzoltói beavatkozásoknak a hatékonysága, üzembiztonsága és klímarezilienciája a technológiai, hidrológiai, meteorológiai és radiológiai kockázatok együttes figyelembevételével?
- A kutatás további célja annak vizsgálata, hogy a jelenlegi mobil külső hűtőközegbetápláló rendszer milyen korlátokkal rendelkezik, mely tényezők okozhatják a beavatkozási idő növekedését vagy a rendszer teljesítménycsökkenését, milyen műszaki és szervezeti fejlesztések javíthatják a beavatkozás eredményességét, valamint hogyan integrálhatók a klímamodellek és a klímareziliencia-vizsgálatok eredményei a nukleáris veszélyhelyzet-kezelési tervezésbe.

A téma tudományos jelentőségét az adja, hogy a nukleáris létesítmények biztonsága és a súlyos balesetek kezelésének hatékonysága nemcsak műszaki, hanem nemzetbiztonsági, környezetvédelmi és lakosságvédelmi szempontból is kiemelt jelentőséggel bír.

## **6.2. SÚLYOS BALESETEK KIALAKULÁSÁNAK ALAPVETŐ LEHETŐSÉGEI**

A súlyos balesetek kialakulása komplex, többtényezős folyamat, amelyben technikai, emberi és szervezeti tényezők egyaránt szerepet játszanak. Különösen igaz ez olyan ipari és nukleáris létesítmények esetében, ahol az események eszkalációja rövid idő alatt jelentős következményekkel járhat.

A nemzetközi tapasztalatok, különösen a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség által feldolgozott események, rámutatnak arra, hogy a balesetek kialakulása jellemzően nem egyetlen okra vezethető vissza, hanem több hibafolyamat egymásba kapcsolódó láncolatának eredménye. Az International Atomic Energy Agency és a World Association of Nuclear Operators elemzései azt mutatják, hogy az alábbi folyamatok vezethetnek nukleáris balesethez [88] [89].

### **6.2.1. HŰTÉS ELVESZTÉSE (LOSS OF COOLING / LOCA)**

A súlyos nukleáris balesetek egyik leggyakoribb kiindulópontja a reaktorhűtés elvesztése.

- Primer kör sérülése (LOCA – Loss of Coolant Accident)
- Hűtővíz-ellátás megszűnése
- Hőelvonás elégtelensége

Következmények:

- üzemanyag túlmelegedése
- üzemanyag burkolat károsodása
- végső esetben zónakárosodás

### **6.2.2. TELJES ÁRAMELLÁTÁS KIESÉS (STATION BLACKOUT – SBO)**

Az egyik legkritikusabb eseménnytípus a teljes energiaellátás megszűnése:

- saját energiatermelés leállása
- külső hálózat kiesése
- dízelgenerátorok meghibásodása
- akkumulátorok kimerülése

Ez az állapot a biztonsági rendszerek működésképtelenségéhez vezethet, amely viszonylag rövid idő alatt a hűtés elvesztését eredményezi. Az ilyen események kulcsszerepet játszottak a Fukushima Daiichi baleset során.

### **6.2.3. REAKTIVITÁS SZABÁLYOZÁSI ZAVAROK**

A reaktivitás nem megfelelő szabályozása instabil állapotot idézhet elő:

- szabályozó és biztonság védelmi rendszerek (SZBV) meghibásodása
- nem várt reaktivitásnövekedés
- üzemeltetési hibák

Extrém esetben ez gyors teljesítménynövekedéshez vezethet, amely szerkezeti károsodást idézhet elő, mely kulcsszerepet játszott a Csernobili baleset során.

### **6.2.4. HIDROGÉNKÉPZŐDÉS ÉS ROBBANÁS**

Súlyos baleseti helyzetben a magas hőmérséklet hatására:

- fűtőelem burkolata sérül
- hidrogén szabadul fel
- robbanásveszélyes gáz – levegő elegy alakul ki

A hidrogénrobbanás másodlagos károkat okoz, és a védelmi rendszerek további sérüléséhez vezethet.

### **6.2.5. KONTÉNMENTSÉRÜLÉSE**

A konténment a radioaktív anyagok utolsó fizikai gátja.

Súlyos baleset során:

- túlnyomás alakulhat ki
- szerkezeti sérülések keletkezhetnek
- kontrolálatlan kibocsátás történhet

A konténment integritásának elvesztése magában hordozza a legsúlyosabb környezeti következmények kockázatát.

### **6.2.6. KÜLSŐ ESEMÉNYEK HATÁSA**

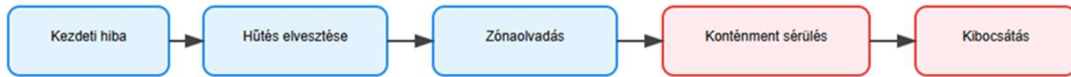
A nukleáris létesítményekre külső események is jelentős hatással lehetnek.

Ilyen események lehetnek:

- földrengés, árvíz, extrém időjárás (természeti katasztrófák)
- egyéb ipari eredetű balesetek
- emberi eredetű események

Ezek különösen veszélyesek, ha több rendszert egyszerre érintenek (common cause failure) [88] [89].

### Súlyos nukleáris baleset kialakulási lánc



35. ábra: Súlyos nukleáris baleset kialakulási lánc (forrás: a szerző szerkesztése [88] [89] alapján)

A súlyos nukleáris balesetek kialakulása több, egymással kölcsönhatásban álló tényező eredménye. A műszaki hibák, külső hatások, valamint az emberi és szervezeti tényezők együttesen vezetnek a mélységi védelem rendszerének sérüléséhez.

A megelőzés kulcsa:

- a redundáns és független biztonsági rendszerek fenntartása
- a biztonsági kultúra folyamatos fejlesztése
- valamint a súlyos baleseti menedzsment eszközeinek alkalmazása

A korszerű nukleáris biztonsági szemlélet célja nem csupán az események megelőzése, hanem azok kezdeti fázisban történő felismerése és az eszkaláció megakadályozása, ezáltal minimalizálva a lakosságra és a környezetre gyakorolt hatásokat.

### **6.3. NUKLEÁRIS BALESETEK MEGELŐZÉSE ÉS KEZELÉSE**

A fukushimai 2011-es összetett környezeti katasztrófát és nagyon súlyos atomerőművi balesetet követően az Európai Bizottság stressz-teszt végrehajtását írta elő az atomerőművekkel rendelkező tagállamoknak, ezért Magyarországon az Országos Atomenergia Hivatal (OAH) összeállította Nemzeti Jelentését. Az OAH vizsgálatai alapján sem a földrengés, külső elárasztás, a Duna alacsony vízszintje és szélsőséges időjárás nem vezethet nukleáris veszélyhelyzet kialakulásához [90].

Nem került azonosításra olyan rendszer vagy rendszerelem, amely a zónasérülés kockázatához a jelenleg is alkalmazott biztonsági és felügyeleti rendszerek mellett kiemelkedően hozzájárulna. Az atomerőmű telephelyének létesítésekor nem tervezték földrengés és szélsőséges időjárási körülmények közötti igénybevételekre ezért az erőmű szeizmikus ellenállóképességének minősítése sem történt meg. Ennek kivizsgálása csak jóval később, a '90-es években történt meg. A vizsgálat arra jutott, hogy a primerköri fővezetékek a szimulált (feltételezett) földrengés során nem sérültek, ugyanakkor a külső villamos energia és sóatlan víz betáplálási lehetőség legalább 72 órán át nem fog rendelkezésre állni. A vizsgálat eredményeinek hatására kerültek kiépítésre a technológiai viszkózus rezgéscsillapítók, kerültek megerősítésre az üzemzavari zónahűtők és a hermetikus tér nyomáscsökkentő rendszerei. Azonban a villamos betáplálás szempontjából kiemelkedően fontos dízelgenerátorok és hármas biztonságvédelmi rendszereik kiesése nem volt része az erőmű tervezési alapjának.

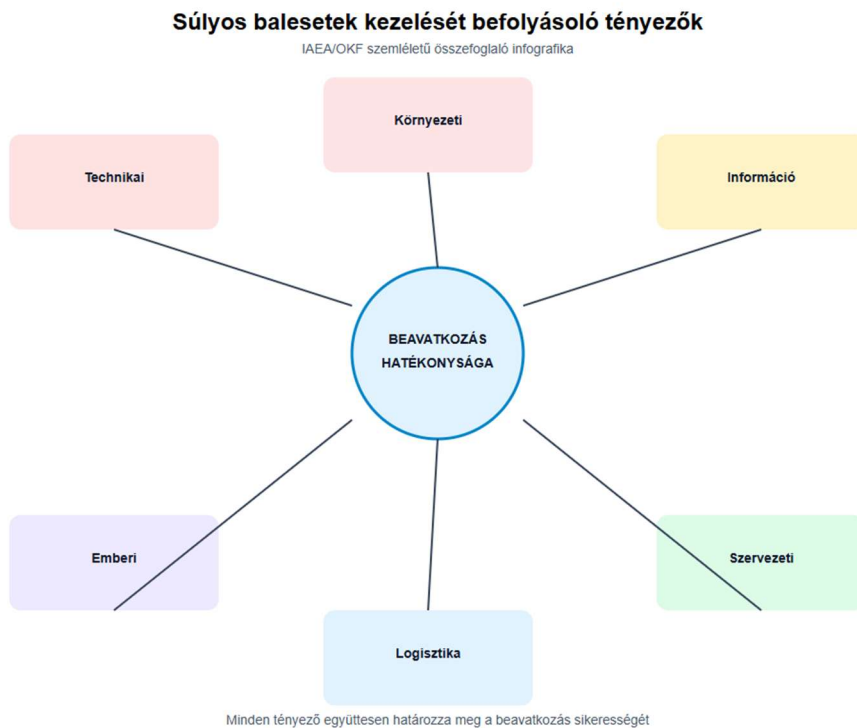
A villamos betáplálás végső tápforrásai az akkumulátortelemek voltak, melyek kapacitása révén a legnagyobb terhelés mellett is fenntartható ugyan a biztonsági fogyasztók működőképessége, de ennek időtartama legfeljebb hozzávetőleg 3,5 óra [90].

## 6.4. A SÚLYOS BALESETEK KEZELÉSÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK

A súlyos balesetek kezelése során a beavatkozás hatékonyságát komplex tényezőrendszer határozza meg, amelyben a technikai, emberi, szervezeti és környezeti elemek egyaránt meghatározó szerepet játszanak. A sikeres beavatkozás alapja a véleményem szerint a rendszerszintű megközelítés, amely lehetővé teszi a kritikus pontok azonosítását és a beavatkozási lánc optimalizálását. A korszerű katasztrófavédelmi szemlélet célja ezen tényezők integrált kezelése, valamint az eszkaláció megakadályozása a lehető legkorábbi fázisban.

- Technikai és infrastrukturális tényezők
  - Berendezések megbízhatósága (szivattyúk, energiaellátás, mérőeszközök)
  - Infrastruktúra állapota (utak, hozzáférhetőség, terepviszonyok)
  - Környezeti feltételek (pl. Duna vízállása, időjárás)
  - Tartalék rendszerek megléte (redundancia)
  
- Időfaktor és eszkaláció
  - Beavatkozás megkezdésének ideje
  - Esemény eszkalációs sebessége
  - Kritikus időablakok
  
- Szervezeti és irányítási tényezők
  - Kárhelyparancsnoki rendszer működése
  - Egységek közötti koordináció
  - Parancsnoki lánc egyértelműsége
  - Biztonsági kultúra szintje
  
- Információ és helyzetértékelés
  - Valós idejű információk elérhetősége
  - Sugárfelderítés / mérési adatok pontossága
  - Kommunikációs rendszerek működése
  - Helyzetkép folyamatos frissítése

- Emberi tényezők
  - Képzettség és gyakorlottság
  - Stressz és időnyomás
  - Fizikai terhelés (PPE, hőterhelés)
  - Döntéshozatali képesség
  
- Környezeti és külső tényezők
  - Időjárás és látási viszonyok
  - Vízállás (Duna)
  - Terepviszonyok (meredek part, hozzáférés)
  - Másodlagos veszélyek (árvíz, robbanás)
  
- Logisztikai és erőforrás tényezők
  - Személyi állomány rendelkezésre állása
  - Eszközök és anyagok utánpótlása
  - Üzemanyag-ellátás
  - Szállítás és telepítés gyorsasága



36. ábra: Súlyos balesetek kezelését befolyásoló tényezők (forrás: a szerző szerkesztése)

## 6.5. A SÚLYOS BALESETKEZELÉS JELENLEG

A Célzott Biztonsági Felülvizsgált eredményeképpen a villamos betáplálás teljes kiesésének elkerülését az SBK dízelgenerátorok biztosítják, melyek tárolásához egy földrengés biztos épület került kialakításra. A generátorok működésének célja a súlyosbaleset-kezelés során a szükséges mérőrendszerek, valamint a térfogat-kompenzátor, a lokalizációs torony őrítő és a hermetikus tér leeresztő szelepeinek működtetése. A BESZ külön a generátorok szállítására rendszeresített egy vontató gépjárművét, melynek segítségével a tűzoltóság az előre kiépített külső villamosbetáplálási pontokhoz vontatja őket. Az atomerőmű biztonsági hőelnyelő funkciókat ellátó és fenntartó rendszerei hivatottak felügyelni és megelőzni a hőelvezetés megszűnését. Külső hűtőközeg betápláláskor olyan alternatív vízforrásokat használunk fel, melyekből mobil eszközökkel biztosítani lehet a megfelelő hűtővízmenyiséget a kiépítésenként kiépített csatlakozási pontokon keresztül a gőzfejlesztőkbe. A modellezett rendkívüli esemény feltételezése az, hogy az erőmű biztonsági hőelnyelő funkcióit fenntartó rendszerei, (a biztonsági hűtővíz rendszer, a sótalánvíz rendszer, az üzemzavari tápvízrendszer, a kiegészítő üzemzavari tápvízrendszer és a pihentető medence hűtőrendszere) nem képesek biztosítani a megfelelő hőelvezetést, ezért kiváltásukra egyéb külső betáplálás szükséges. A hosszú távú hő elvitel a gőzfejlesztőkön keresztül a kiegészítő üzemzavari tápvízrendszer betápláló vezetékének csatlakozási pontjain keresztül valósul meg. A konténment pótvízzel történő megtáplálására a gőzfejlesztőkön kialakított lefűvató szerelvényeken keresztül van lehetőség. A felhasznált tűzoltó technikai eszközök egy 7,5 tonnás emelőhátfalas tehergépjárművön kerültek elhelyezésre [91].



37. ábra: SBK járművek és málházott eszközeik (forrás: a szerző szerkesztése [91] alapján)

## A külső hűtőközeg-betáplálás eszközei

Rosenbauer FOX III kismotorfecskendő 4 db		Honda WT40X zagyszivattyú 6 db		GXV390 PH-C2/1500 úszószivattyú 2 db	
					
<b>Tulajdonságai</b> szivattyú egy lépcsős, manuálisan kikapcsolható méretei 923 x 642 x 845 mm tömege üzemkészen 166 kg térfogatáram 1 000 l/perc 15 bar 3 m-es szivómagasságnál 1 650 l/perc 10 bar 2 100 l/perc 4 bar térfogatáram 1 000 l/perc 8 bar 7,5 m-es szivómagasságnál 900 l/perc 10 bar		<b>Tulajdonságai</b> szivattyú egy lépcsős méretei 735 x 535 x 565 mm tömege üzemkészen 78 kg térfogatáram ráfolyással 1 640 l/perc 2,5 bar		<b>Tulajdonságai</b> szivattyú egy lépcsős méretei 1030 x 730 x 500 mm tömege üzemkészen 53 kg térfogatáram ráfolyással 1 540 l/perc 2,5 bar	
Felszerelés megnevezése			Málházott mennyiség		
		AWG A-110 Lábszelepes szűrőkosár		4 db	
		AWG A-110 Szivótömlő 2m-es		16 db	
		„A” Nyomótömlő 20m-es		100 db	
		„B” Nyomótömlő 20m-es		100 db	
		AWG kapocspárkulcs		8 db	
		AWG Föld feletti tűzcsapkulcs		4 db	
		A-B Áttétkapocs		6 db	
		A-2B Gyűjtő		4 db	

38. ábra: Egyéb felszerelések (forrás: a szerző szerkesztése [91] alapján)

A külső hűtőközeg betáplálás kivitelezéséhez a megtáplálni szükséges csatlakozási pont ismeretén túl meg kell határozni az elsődleges vízszervezési helyet, hiszen ennek függvényében kell kiépíteni a tömlőrendszert és üzemeltetni az eszközöket. A mérlegelés meghatározó szempontjai a távolság, vízmennyiség, megközelíthetőség, és a vízminőség. A tűzoltóság állománynak, valamint a balesetelhárítás szakembereinek rövid időn belül rendelkezniük kell a szükséges információkkal, hogy meghatározhassák a tömlőfektetés nyomvonalát és a mobil rendszer kiépítését. A szivattyúk és tömlőrendszer megtelepítése időbe telik, és éles radiológiai veszélyhelyzetben annak áttelepítése jelentős idővesztéssel jár. A külső hűtőközeg-betáplálás elrendelésekor meg kell határozni a víznyerési helyet, annak függvényében, hogy melyik kiépítésre kell telepíteni a hűtőközeg biztosítására szolgáló eszközöket [92].

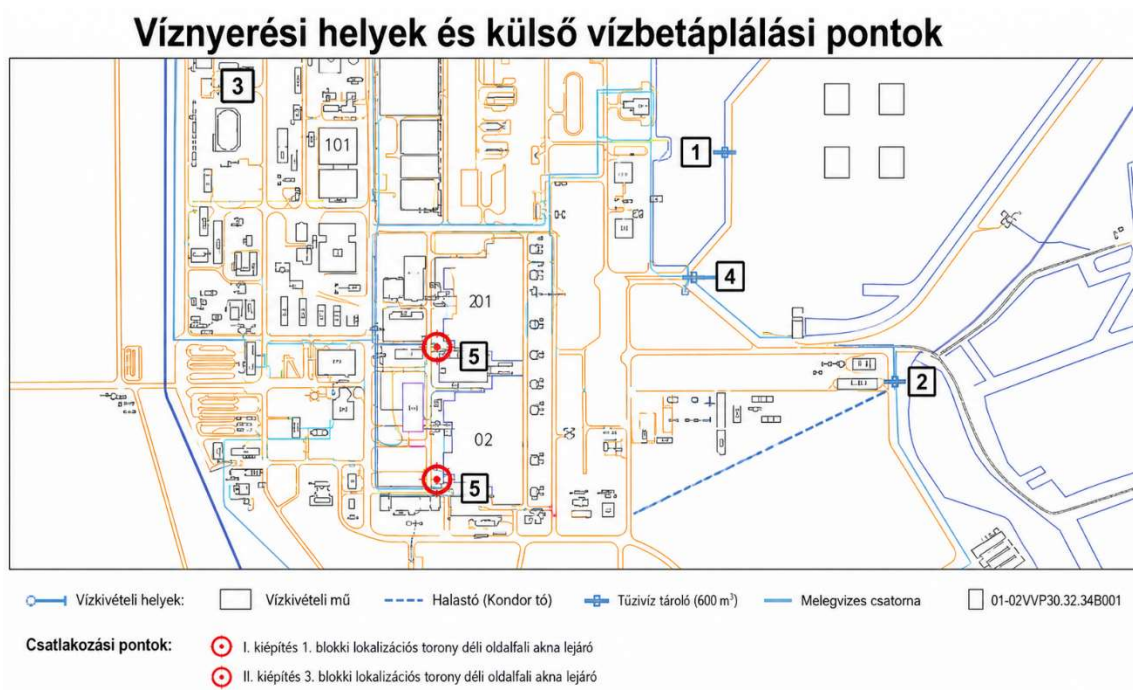
A kiválasztás elsődleges szempontjai:

- vízminőség;
- vízmennyiség;
- távolság;
- megközelíthetőség.

Vízszerezési hely	Vízutánpótlás
 <p>1 000 m<sup>3</sup> sótalanvíz tartályok I – II kiépítés</p>	 <p>korlátozott vízmennyiség betáplálás függő</p>
 <p>600 m<sup>3</sup> tűzvíz tároló</p>	 <p>korlátozott vízmennyiség betáplálás függő</p>
 <p>hidegvizes csatorna</p>	 <p>gyakorlatilag korlátlan</p>
 <p>melegvizes csatorna</p>	 <p>erőmű működése közben gyakorlatilag korlátlan</p>
 <p>halastavak</p>	 <p>gyakorlatilag korlátlan</p>

39. ábra: Paksi Atomerőmű alternatív hűtőközeg betáplálás víznyerő helyei  
(forrás: a szerző szerkesztése [92] alapján)

Az atomerőműben a technológiai és épületszerkezeti sajátosságokhoz és a kivitelezési lehetőségekhez igazodva két helyen kerültek elhelyezésre a pótvíz betáplálás csatlakozási pontjai. Az I. kiépítés 1.-es és a II. kiépítés 3.-as blokki lokalizációs tornyának déli falánál találhatóak. Az alábbi 14. képen a víznyerési helyek és a betáplálási pontok kerültek feltüntetésre.



40. ábra: Víznyerési helyek és külső vízbetáplálási pontok (forrás: a szerző szerkesztése [92] alapján)

### **6.5.1. A KIEGÉSZÍTŐ ÜZEMZAVARI TÁPVÍZRENDSZER ÉS KÜLSŐ HŰTŐKÖZEG-BETÁPLÁLÁS KAPCSOLATA**

A technológia megfelelő működéséhez üzemelő blokkoknál a tápvíz rendszer folyamatos hűtőközeg-betáplálást lát el. A normál üzemi tápvízrendszer meghibásodása esetén szerepét az üzemzavari tápvízrendszer veszi át, ami minden blokkon rendelkezésre áll (két darab üzemzavari tápszivattyú). Áramellátásuk a diesel generátorok által az üzemi betáplálás elvesztése esetén is biztosított. A tápvíz szivattyú 65 m<sup>3</sup>/óra maximális vízszállítással működik, 60 báros üzemi nyomáson. A remanens hő elvezetéséhez szükséges tápvíz igény hozzávetőleg 60m<sup>3</sup>/óra, ebből látható, hogy egy tápvíz szivattyú is képes a szükséges vízmennyiséget biztosítani. Az atomerőműben alkalmazott többszintű védelmi tervezésnek köszönhetően az üzemi és üzemzavari tápvízrendszer meghibásodása esetén is rendelkezésre áll az üzemzavari tápvízrendszer, mely gőzfejlesztők elégséges tápvízellátását biztosítja. A kiegészítő üzemzavari tápvíz rendszer független útvonalon juttat vizet a gőzfejlesztőkbe, ehhez három sótalan víztartály és blokkonként két kiegészítő üzemzavari tápvíz szivattyú áll rendelkezésre. A sótalan víztartályok 1000 m<sup>3</sup>-esek, minimális vízszintjük szigorúan szabályozott, közös ponton csatlakoznak az adott kiépítés mindkét KÜTR rendszerére. A külső hűtőközeg-betáplálás az utolsó pótvíz betáplálási lehetőség akkor szükséges, ha az üzemi, üzemzavari és a kiegészítő üzemzavari tápvíz szivattyúi valamilyen okból képtelenek a gőzfejlesztők megfelelő vízbetáplálására. A súlyosbaleset-kezelési eljárás során alkalmazott külső hűtőközeg-betápláláskor legalább egy üzemzavari, vagy kiegészítő üzemzavari tápvíz szivattyú teljesítményét kell kiváltanunk [93].

### **6.5.2. A TŰZOLTÓ GYAKORLAT VÉGREHAJTÁSA PÓTVÍZ BETÁPLÁLÁS**

A gyakorlat célja az I.-es és a II.-es kiépítés alternatív hűtőközeg betáplálási nyomvonalának kiépítése és a munkafolyamat begyakorlása, a szükséges feladatok végrehajtását, annak normaidejét a BESZ ellenőrzi. A rendszer folyamatos üzemeltetése, felügyelete és az üzemanyag biztosítása a beavatkozó állomány részére összetett feladat. Az eszközök telepítését a szolgálatban lévő erőműves, a Paksi Hivatásos tűzoltóság és a beérkező ügyeletes tűzoltó állomány hajtja végre, a telepítési normaidő az elrendeléstől számítva 120 perc. Először a kiválasztott víznyerő helyre való vonulás történik meg. Ezután a kiválasztott vízforrásra kismotorfecskendő szerelése történik.

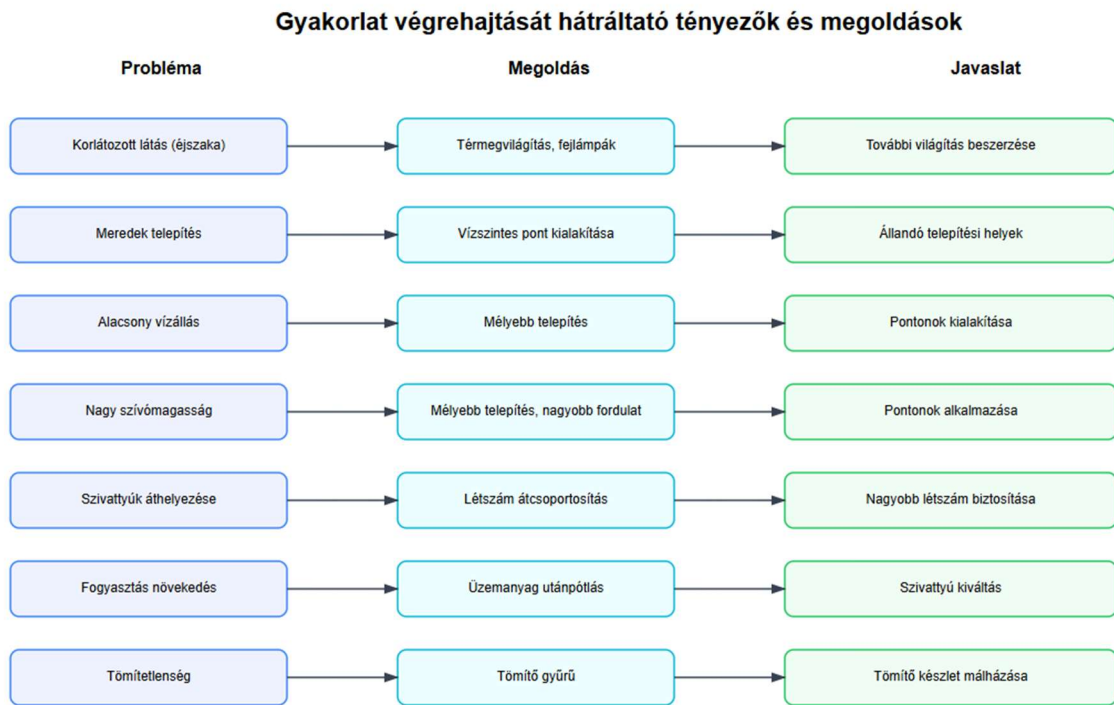
Mikor nyílt vízforrásról történik felszívás, úszómotoros szivattyú elhelyezésére is lehetőség van. A szivattyú telepítése után nyomótömlők fektetésére kerül sor. A nyomvonalon nyomásfokozás céljából újabb kismotorfecskendőt építünk a rendszerbe, hogy a megfelelő vízmennyiség és a szükséges nyomás a csatlakozási pontokon rendelkezésre álljon. A szükséges nyomás és vízmennyiség ellenőrzése még a végpontok előtt megtörténik. A szituációs gyakorlat befejezését követően értékelésre és dokumentálásra kerül sor. A végrehajtás során szerzett tapasztalatokat, mérési adatokat a továbbiakban a biztonság fokozása és a hatékonyság növelésére használjuk fel. A vízforrás várható kimerülését 3 órával megelőzően ki kell választani a megfelelő alternatív vízforrást, hogy megfelelően alkalmazkodni lehessen a körülményekhez. A mérési eredményekből kiszámítható, hogy a kismotorfecskendők által szállított vízmennyiség óránként meghaladja a tápszivattyúk által szállított 65m<sup>3</sup>/óra mennyiséget, ezért alkalmasak tápszivattyúk időszakos kiváltására, a szükséges hűtővíz mennyiség biztosítására [92] [93].

Vízszerezési hely		Szállított folyadék mennyiség és nyomás	
	Kondor halastó - 1. blokk hosszabb ág		1250 liter / perc ~13 bar
	Kondor halastó - 3. blokk rövidebb ág		1480 liter / perc ~7 bar
	Meleg vizes csatorna - 1. blokk hosszabb ág		1100 liter / perc ~10 bar
	Meleg vizes csatorna - 3. blokk rövidebb ág		1570 liter / perc ~10 bar

41.ábra: Vízszerezési helyek és szállítható folyadék mennyisége  
(forrás: a szerző szerkesztése [92] [93] alapján)

### 6.5.3. GYAKORLATOK VÉGREHAJTÁSA SORÁN TAPASZTALT NEHÉZSÉGEK

A fejezetben igyekeztem a munkatársaim segítségével összeszedni azokat a gyakorlatok végrehajtása szempontjából hátráltató tényezőket, melyek fontos tapasztalatokkal szolgálhatnak egy tényleges beavatkozás sikeres kivitelezéséhez.



42.ábra: SBK gyakorlatok végrehajtását hátráltató tényezők és javító megoldások

(forrás: a szerző szerkesztése)

## 6.6. SÚLYOSBALESET-KEZELÉS ÉS AZ ELSŐ BEAVATKOZÁS KAPCSOLATA

A súlyosbaleset-kezelés keretében megvalósítandó pótlólagos energia betáplálás és pótvíz betáplálás az utolsó védelmi vonalat jelenti, mivel alkalmazásukat követően jelenleg nem áll rendelkezésünkre olyan beavatkozási mód, mely a technológiai leállás biztonságát szavatolná. Mire ezen beavatkozásokra sor kerül, addig az összes technológiai védelmi lehetőséget kimerítettük, mind a létfontosságú fogyasztók folyamatos energiaellátása, mind a biztonsági hűtővízrendszer hőelvonóképességének megőrzése terén. Az SBK generátorok mozgatása méretüknél fogva csak jó terepjáró képességű speciális vontatójárművel valósítható meg. A pótvíz betáplálás rendszere manuálisan kiépítésre, nagy előnye, a végrehajtáshoz nem feltétlenül szükséges hordozójármű, megfelelő tűzoltói létszám esetén kézi erővel is kivitelezhető. Tűzoltói beavatkozások tervezésekor azonban figyelembe kell vennünk, hogy elsődleges feladatunk az élet védelme, mind a sérült – bajba jutott személyek, mind a néesség, mind a saját állomány esetében. A tűzoltóság által végzett feladat nagyon komplex alaptevékenység, mely esetünkben különleges feladatellátással – speciális tevékenységekkel is kiegészül, ezt a 43 – 44. ábra szemlélteti.



43. ábra Atomerőmű tűzoltóság alapfeladatai (forrás: a szerző szerkesztése)



44. ábra Atomerőmű speciális tevékenysége (forrás: a szerző szerkesztése)

Mivel a szolgálati létszám az év minden napján azonos, ezért egy súlyos baleset bekövetkezésének megelőzésekor is számos alapfeladat ellátását kell elsődlegesen elvégeznünk, mely a napi szolgálat lehetőségeit jelentősen meghaladhatja. Ilyen lehet a tömeges életmentés, a nagylétszámú sérült személyek felkutatása, mentése, a több helyszínen keletkezett tüzek feszültség alatti oltása, műszaki mentés. Ekkor tűzoltásvezetőként lehetőségünk van az ügyeletes létszám és a hivatásos tűzoltó egységek riasztására, akik rövid időn, maximum egy órán belül az erőmű területére érnek. Amennyiben szükséges az atomerőmű teljes tűzoltói állománya beriasztható öt órán belüli beérkezési idővel. A létszám nyújtotta lehetőségek teljes kiaknázása lehetőséget biztosít mind az életmentési, lakosságvédelmi és összetett beavatkozási feladatok ellátására, melyekkel egyidejűleg, vagy azt követően felkészülhetünk a súlyosbaleset-kezelési feladatok ellátására. Mint azt az elmúlt évtizedek atomerőműi baleseteinek tapasztalatából kiszűrhető a sikeres kárfelszámoláshoz, a katasztrófák következmények csökkentéséhez már a beavatkozás kezdeti szakaszában elengedhetetlen a megfelelő erő és eszközellátottság.

## **6.7. A KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSA A SÚLYOS BALESETKEZELÉSRE ÉS AZ ELSŐDLEGES BEAVATKOZÁSRA**

A klímaváltozás a XXI. század egyik meghatározó globális környezeti kihívása, amelynek elsődleges oka az antropogén eredetű üvegházhatású gázok légköri koncentrációjának növekedése. A fosszilis energiahordozók égetése, az erdőirtás, valamint a mezőgazdasági és ipari tevékenységek következtében jelentősen emelkedett a szén-dioxid (CO<sub>2</sub>), a metán (CH<sub>4</sub>) és a dinitrogén-oxid (N<sub>2</sub>O) mennyisége, ezáltal fokozva a természetes üvegházhatást és előidézve a globális felmelegedést (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023; European Commission, 2024) [94].

A megfigyelések szerint a 2015–2024 közötti időszak a mérések kezdete óta a legmelegebb évtized volt, és a globális átlaghőmérséklet már meghaladta az iparosodás előtti szinthez viszonyított 1,5 °C-os növekedést. A jelenlegi felmelegedési ütem megközelítőleg 0,25 °C évtizedenként, amely a természeti rendszerekre és az emberi társadalmakra egyaránt jelentős kockázatot jelent. A szakirodalmi konszenzus alapján a 2 °C-os hőmérséklet-emelkedés elérése súlyos, részben irreverzibilis környezeti változásokkal járhat, ezért a nemzetközi klímapolitikai célkitűzések a felmelegedés 1,5 °C alatt tartására irányulnak (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023) [94].

Az üvegházhatású gázok közül a legnagyobb hozzájárulást a szén-dioxid adja, amelynek koncentrációja az iparosodás előtti szinthez képest jelentősen megnövekedett. A metán – bár rövidebb légköri tartózkodási idejű – nagyobb fajlagos felmelegítő hatással rendelkezik, míg a dinitrogén-oxid hosszú élettartama miatt hosszú távon halmozódik a légkörben. Az ipari eredetű fluorozott gázok globális felmelegedési potenciálja kiemelkedően magas, egyes esetekben több nagyságrenddel meghaladja a szén-dioxidét (European Environment Agency, 2023). A kibocsátások növekedésének fő hajtóerői az energiaszektor, a földhasználat-változás – különösen az erdőirtás –, az állattenyésztésből származó metánkibocsátás, valamint az ipari technológiák. Ezzel szemben a természetes tényezők, mint a naptevékenység változásai vagy a vulkáni működés, a jelenlegi felmelegedési trendhez képest csak csekély mértékben járulnak hozzá (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023) [95]. Beavatkozási (katasztrófavédelmi/tűzoltói) szempontból a klímaváltozás következményeinek vizsgálata nem elméleti kérdés, hanem közvetlen operatív szükségszerűség, mivel az események gyakoriságát, jellegét és komplexitását egyaránt módosíthatja.

## **1. Növekvő esetszám és terhelés**

A hóhullámok, aszályok, villámárvizek és viharok gyakoribbá válása több riasztást és tartósan magasabb készenléti szintet eredményez. Ez közvetlenül érinti az állomány fizikai és pszichés terhelését, valamint az erőforrások (víz, üzemanyag, technika) felhasználását.

## **2. Új és összetettebb kockázati mintázatok**

Megjelennek vagy erősödnek a kombinált események (pl. hóhullám + erdőtűz + vízhiány, illetve heves csapadék + villámárvíz + infrastruktúra-kiesés). Ezek több szakterület egyidejű, összehangolt beavatkozását igénylik, ami bonyolítja az irányítást és növeli a hibakockázatot.

## **3. Beavatkozásbiztonság romlása**

Extrém hőterhelés, füstterhelés, instabil szerkezetek és gyorsan változó környezeti feltételek növelik a sérülés- és egészségkárosodás kockázatát. Emiatt kiemelt a munka–pihenő ciklusok, a rehabilitáció, a folyadékpótlás és a személyi védőeszközök adaptálása.

## **4. Kritikus infrastruktúrák sérülékenysége**

Áramszünetek, vízellátási zavarok, közlekedési infrastruktúra-kiesések gyakrabban kísérik az eseményeket, ami nehezíti a felvonulást, az oltóvíz-biztosítást és a kommunikációt.

## **5. Tervezés és erőforrás-allokáció átalakulása**

Szükségessé válik a kockázatalapú tervezés erősítése: előrejelzések (meteorológiai, hidrológiai), modellezés, megelőző intézkedések (pl. tűzterjedést lassító sávok, vízvisszatartás), valamint rugalmas erő- és eszközátcsoportosítás.

## **6. Kiképzés és eljárásrendek fejlesztése**

Új taktikai elemek (erdőtüzeknél WUI–wildland–urban interface kezelése, villámárvizeknél gyors reagálás), több ügynökség együttműködése, valamint a lakossági riasztási és tájékoztatási protokollok fejlesztése válik szükségessé.

## 7. Döntéstámogatás és információkezelés

Valós idejű adatok (időjárás, vízszint, tűzterjedés) integrálása, valamint a bizonytalanság melletti döntéshozatal kulcsfontosságú. A rossz információra épülő döntések növelhetik a kockázatot.



45. ábra: Klímaváltozás hatásai a tűzoltói beavatkozásokra (forrás: a szerző szerkesztése)

A fentiek tükrében rendkívül fontosnak tartottam a Paksi atomerőművi telephely klímareziliencia vizsgálatát, mivel ez rávilágíthat olyan változásokra, melyek döntően meghatározhatják az elkövetkező évtizedek beavatkozási trendjeit a hat atomerőművi blokk közvetlen környezetében, illetve betekintést nyújthatnak a súlyosbaleset-kezelést döntően befolyásoló környezeti tényekbe. A klíma reziliencia vizsgálat olyan integrált értékelési módszertan, amely a klímaváltozásból eredő kockázatok, valamint az érintett rendszerek kitettségének, érzékenységének és alkalmazkodóképességének elemzésén keresztül határozza meg a sérülékenység mértékét, és megalapozza a szükséges adaptációs intézkedéseket. A megközelítés alapját a kockázat fogalmának összetevői – veszély (hazard), kitettség (exposure) és sérülékenység (vulnerability) – képezik, amelyek együttesen határozzák meg a klímaváltozás potenciális hatásait (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2023) [45] [95].

Az Európai Unió szakpolitikai keretrendszere kiemelt jelentőséget tulajdonít a klímaadaptációnak és a reziliencia növelésének. Az European Commission által meghatározott stratégiai irányok hangsúlyozzák a klímakockázatok szisztematikus feltárását, a kritikus infrastruktúrák sérülékenységének csökkentését.

Valamint az éghajlati hatásokkal szembeni ellenálló képesség erősítését a tagállamokban. A klíma reziliencia vizsgálat gyakorlati megvalósítása több lépésből áll: a releváns klímaveszélyek azonosítása (pl. hőhullámok, árvizek, aszályok), a kitettség és érzékenység elemzése, az alkalmazkodóképesség értékelése, majd a kockázatok kvantifikálása és prioritizálása. Ezt követően kerül sor olyan adaptációs intézkedések kidolgozására, amelyek csökkentik a sérülékenységet és növelik a rendszer ellenálló képességét. Katasztrófavédelmi és beavatkozási szempontból a klíma reziliencia vizsgálat különös jelentőséggel bír, mivel lehetővé teszi a szélsőséges időjárási eseményekhez kapcsolódó kockázatok előrejelzését, a beavatkozási stratégiák optimalizálását, valamint az erőforrások hatékonyabb tervezését [96].

A klímaváltozás által fokozott eseménygyakoriság és komplexitás miatt a reziliencia-alapú megközelítés elengedhetetlen a hatékony és biztonságos kárelhárítási tevékenység fenntartásához.

### **6.7.1. AZ ELVÉGZETT VIZSGÁLAT LÉPÉSEI:**

- Klímakockázatok azonosítása (hőhullámok, rendkívüli hideg, aszály, árvizek, szélsőséges csapadék)
- Kitettség (exposure) elemzése
- Érzékenység (sensitivity) vizsgálata
- Alkalmazkodóképesség értékelése
- Kockázat és sérülékenység meghatározása
- Adaptációs intézkedések kidolgozása

A vizsgálathoz az ALADIN klímamodellt használtam fel, mivel az Országos Meteorológiai Szolgálat is alkalmazza ezt a regionális numerikus időjárás-előrejelző és klímamodellt, amelyet a Météo-France vezetésével fejlesztett egy nemzetközi konzorcium. A modell célja, hogy nagy felbontásban írja le az időjárási és éghajlati folyamatokat egy adott térségben, például Közép-Európában [97].

Alapvető jellemzői:

- Regionális klímamodell (RCM): globális modellek (GCM-ek) eredményeire épül
- Dinamikus leskálázás (downscaling): finomabb térbeli felbontás ( $\approx 4\text{--}12\text{ km}$ )
- Időtáv: évtizedes–évszázados klímaprojekciók készítése

- Alkalmazás: éghajlati hatásvizsgálatok, alkalmazkodási tervezés, kockázatelemzés
- A modell referenciaidőszakként 1971-2000 évek közötti átlagértékeket kezel

### **6.7.2. MAGYARORSZÁGI ALKALMAZHATÓSÁG**

- A modell eredményei alapján a térségben várható
  - o hőmérséklet-emelkedés (különösen nyáron)
  - o gyakoribb hóhullámok
  - o csökkenő nyári csapadék → aszályhajlam növekedése
  - o növekvő téli csapadék → árvíz kockázat fokozódása
  - o szélsőséges események erősödése (villámárvizek, intenzív viharok)

Az ALADIN modell segítségével kapott eredmények közvetlenül hasznosíthatók beavatkozási szempontból:

- kockázatalapú katasztrófavédelmi tervezésben
- erő – erőforrás allokáció (pl. erdőtüzveszélyes időszakok)
- extrém eseményekre való felkészülésben
- hosszú távú klímaadaptációs stratégiák kidolgozásában

#### **A Paksi Atomerőművi telephely**

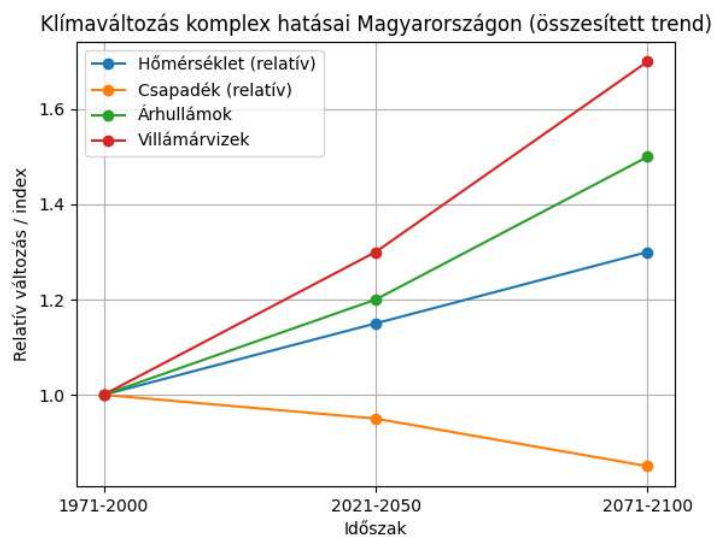
A Paksi Atomerőmű telephelye Magyarország középső részén, Tolna vármegyében, Paks város közigazgatási területén, a Duna jobb partján helyezkedik el. A folyó közelsége alapvető szerepet tölt be az erőmű hűtővízellátásában, míg a síksági, geológiailag kedvező adottságú környezet hozzájárul a létesítmény biztonságos üzemeltetéséhez. A telephely kiválasztásánál a nukleáris létesítményekre vonatkozó nemzetközi követelmények különösen a vízellátás, a szeizmikus viszonyok és a lakossági kitettség meghatározó szempontként jelentek meg. A földrajzi elhelyezkedés ugyanakkor speciális kockázati tényezőket is hordoz, különösen a hidrológiai és meteorológiai hatások tekintetében.

### 6.7.3. KLÍMAVÁLTOZÁS VÁRHATÓ HATÁSAI PAKS I–II TÉRSÉGE

Klímaváltozás következménye	Hatás által érintett	Referencia időszak 1971-2000	Térségi adatok 2021– 2050	Térségi adatok 2071– 2100
Éves átlaghőmérséklet növekedése	Magyarország teljes területe	10–11 °C	+1,5–2 °C	+3–3,5 °C
Téli átlaghőmérséklet növekedése	Országos, kiemelten Alföld	0–1 °C	+1–1,5 °C	+2–2,5 °C
Nyári átlaghőmérséklet növekedése	Magyarország teljes területe	20–21 °C	+2–2,5 °C	+3–3,5 °C
Forró napok számának növekedése (>35 °C)	Országos, főként déli megyék	0,8–1 nap	10–15 nap	30–35 nap
Hőhullámos napok növekedése (>25 °C)	Országos, főként Alföld, városok	5–6 nap	20–25 nap	50–55 nap
Tavaszi fagyos napok csökkenése (<0 °C)	Országos, főként É-Magyarország	2–14 nap	–10 – –8 nap	–16 – –14 nap
Szélsőséges szél események növekedése	Országos, főként Kisalföld		+0,26 nap	+0,35 nap
Csapadék éves mennyiség csökkenése	Magyarország teljes területe	550–575 mm	–25–0 mm	–75 – –50 mm
Intenzív csapadékos napok növekedése (>30 mm)	Magyarország teljes területe	0,5–1 nap	+0–0,5 nap	+0,5–1 nap
Árhullámok gyakoróságának növekedése	Duna, Tisza és mellékfolyóik	2 – 4 esemény / év	+5-10%	+10-20%
Villámárvizek növekedése	Domb- és hegyvidéki területek		Kismértékű növekedés	Kismértékű növekedés
Földtani veszélyforrások aktiválódására	Domb- és hegyvidéki területek		Kismértékű növekedés	Kismértékű növekedés
Belvíz gyakoróságának növekedése	Országos, főként Alföld		Kismértékű növekedés	Kismértékű növekedés
Erdőtüzek gyakoróságának növekedése	Országos, kiemelten Mátra, Kisalföld		Jelentős tűzveszély- növekedés	Jelentős tűzveszély- növekedés

4. táblázat A klímaváltozás várható hatásai a paksi atomerőművi telephelyen (forrás: a szerző szerkesztése)

A következő ábrán is jól látható, hogy Magyarországon a klímaváltozás hatásai nem izoláltak, hanem egymással kölcsönhatásban jelentkeznek. A növekvő hőmérséklet és csökkenő csapadék együttesen fokozza az aszályhajlamot, miközben a csapadék térbeli és időbeli átrendeződése növeli a hidrológiai szélsőségeket, különösen az árhullámok és villámárvizek kialakulásának valószínűségét. Ez a tendencia figyelhető meg a Paksi Atomerőmű térségében, ahol a vízgazdálkodási és biztonsági szempontok egyaránt kiemelt jelentőségűek.



46. ábra: Klimaváltozás komplex hatásai Magyarországon (forrás: a szerző szerkesztése)

## 6.8. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

A klímaváltozás várható hatásait összegző komplex ábra alapján egyértelműen kirajzolódik, hogy Magyarország éghajlati rendszere a 21. század folyamán jelentős átalakuláson megy keresztül. Az eredmények az ALADIN-Climate klímamodell által szolgáltatott projekciókon alapulnak, amelyek konzisztens képet adnak a hőmérsékleti és hidrológiai szélsőségek erősödéséről.

### 6.8.1. HŐMÉRSÉKLETI TRENDEK ÉRTÉKELÉSE

Az ábra alapján a hőmérséklet növekedése folyamatos és gyorsuló jellegű. A referencia-időszakhoz (1971–2000) képest a 2021–2050 közötti időszakban már jelentős emelkedés figyelhető meg, amely a század végére tovább erősödik. A hőmérséklet növekedésével párhuzamosan a hóhullámos és forró napok számának drasztikus emelkedése várható, amely különösen az Alföld térségében és az urbanizált környezetben jelent fokozott terhelést.

Ez a tendencia nemcsak az ökológiai rendszereket érinti, hanem közvetlen hatással van a kritikus infrastruktúrák működésére is, különösen a hűtési igények növekedése révén. A Paksi Atomerőmű esetében ez a hűtővíz-hőmérséklet emelkedésén keresztül a működési biztonság szempontjából is releváns tényező.

### **6.8.2. CSAPADÉKVISZONYOK ÉS ASZÁLYHAJLAM**

A csapadék éves összmenyiségének csökkenése az ábrán egyértelműen megfigyelhető. Bár a csökkenés mértéke mérsékelt, mint a hőmérséklet növekedése, a két folyamat együttes hatása jelentős. A magasabb hőmérséklet fokozza a párolgást, amely a tényleges vízhiányt tovább növeli. Ezzel párhuzamosan a száraz időszakok hossza növekszik, különösen a nyári időszakban. Ez a mezőgazdasági termelés mellett a vízgazdálkodási rendszereket és az ipari vízfelhasználást is kedvezőtlenül érinti.

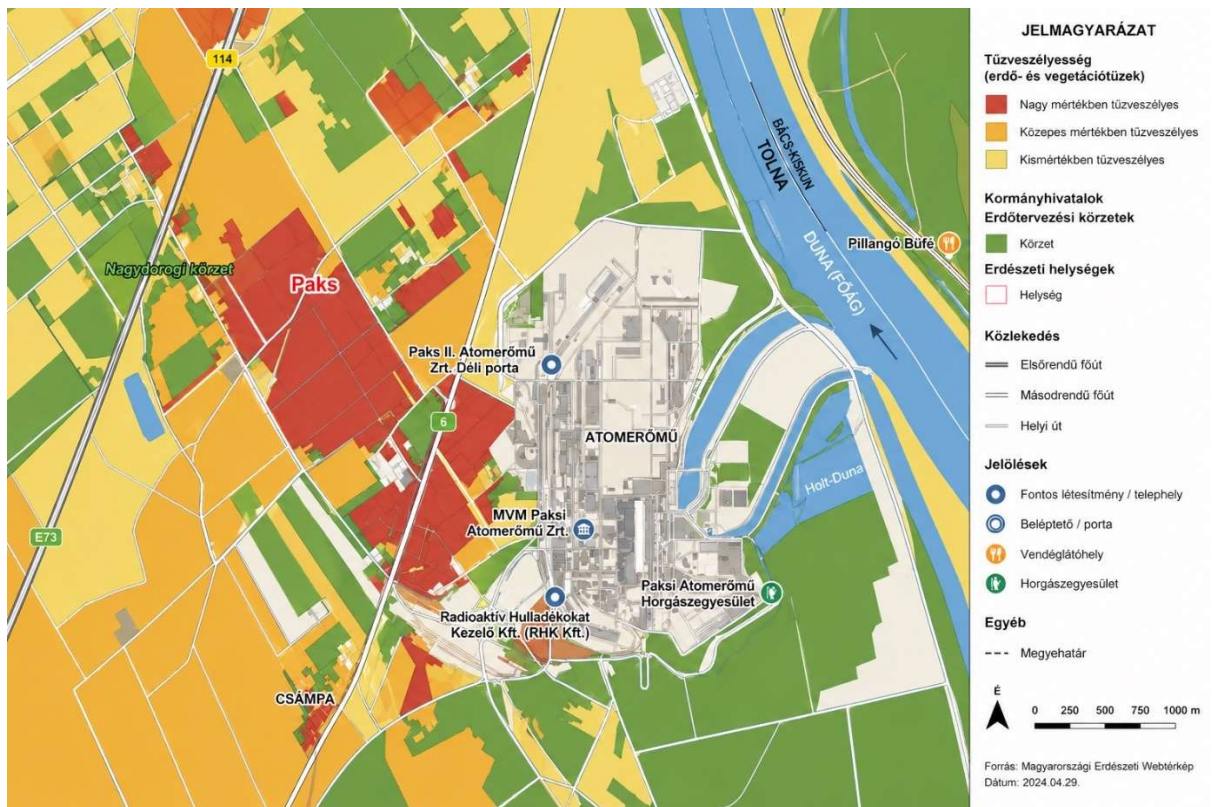
### **6.8.3. HIDROLÓGIAI SZÉLSŐSÉGEK (ÁRHULLÁMOK ÉS VILLÁMÁRVIZEK)**

A komplex ábra egyik legfontosabb megállapítása, hogy a hidrológiai szélsőségek gyakorisága és intenzitása növekvő tendenciát mutat. Az árhullámok esetében mérsékelt, de egyértelmű növekedés figyelhető meg, különösen a Duna és a Tisza vízrendszerében. A villámárvizek esetében a növekedés ennél is kifejezettebb. Ezek az események rövid idő alatt alakulnak ki, és szoros összefüggésben állnak az intenzív csapadékesemények gyakoriságának növekedésével. A hegy- és dombvidéki területeken – különösen az Északi-középhegység és a Dunántúli-dombság térségében – a kockázat jelentősen növekszik.

### **6.8.4. KOMPLEX HATÁSOK ÉS KÖLCSÖNHATÁSOK**

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a klímaváltozás hatásai nem izoláltan jelentkeznek, hanem egymást erősítő módon lépnek fel. A hőmérséklet emelkedése és a csapadék csökkenése együttesen fokozza az aszályhajlamot, növelve a vegetációtüzek kialakulásának lehetőségét. Amit a következő ábra az atomerőmű környezetében található erdőborítás tűzveszélyességéről is jól szemléltet. Miközben a csapadék térbeli és időbeli átrendeződése növeli az extrém hidrológiai események kialakulásának valószínűségét.

Ez a kettősség az aszály és az extrém csapadékos események egyidejű jelenléte különösen nagy kihívást jelent a kockázatkezelés és a tervezés számára.



47.ábra: Tűzvesélyesség, erdő és vegetációtípusok kockázati térképe (forrás: a szerző szerkesztése)

### 6.8.5. BEAVATKOZÁS TAKTIKAI ÉS BIZTONSÁGI KÖVETKEZMÉNYEK

A bemutatott trendek alapján a jövőben a beavatkozási tevékenységek komplexitása növekedni fog. A gyors lefolyású események, mint a villámárvizek rövidebb reakcióidőt igényelnek, miközben a hosszan tartó extrém hőterhelés az állomány fizikai terhelhetőségét csökkenti.

A kockázatok kezelése érdekében kiemelten fontos:

- a valós idejű monitoring rendszerek fejlesztése,
- a klímamodellek eredményeinek integrálása a döntéshozatalba,
- a komplex, több veszélytípus egyidejű kezelésére alkalmas beavatkozási stratégiák kialakítása

Üzemviteli és beavatkozási kockázati szempontok:

A telephely fekvése operatív szempontból is meghatározó:

- Hőmérséklet: egyértelmű, gyorsuló növekedés (különösen 2050 után)
- Csapadék: összességében csökkenő trend, ami aszályosodást vetít előre

- A két folyamat együtt:
  - növekvő hőterhelés + csökkenő vízkészlet
  - kritikus lehet a hűtővíz-ellátás és beavatkozási környezet szempontjából
- Árvíz kockázat: a Duna közelsége miatt kiemelt figyelmet igényel
- Hűtővíz-tűzi víz ellátottság: alacsony vízállás vagy magas vízhőmérséklet kedvezőtlenül befolyásolhatja az üzemvitelt
- Megközelíthetőség, beavatkozási lehetőségek: fontos a gyors megközelíthetőség beavatkozási és kiürítés szempontjából
- Meteorológiai hatások: szélirány, csapadék → terjedési modellek (pl. radiológiai esemény esetén)

## 6.9. A SÚLYOS BALESETKEZELÉS FEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEI

A klímaváltozás hatásai miatt a pótvíz-betáplálási rendszerek fejlesztése kiemelt jelentőségűvé válhat a kritikus infrastruktúrák, különösen az atomerőművek biztonságos üzemeltetése szempontjából. Az éghajlatváltozás következtében növekszik a szélsőséges időjárási események gyakorisága és intenzitása, amelyek közvetlenül befolyásolhatják a hűtővízellátás rendelkezésre állását és megbízhatóságát.

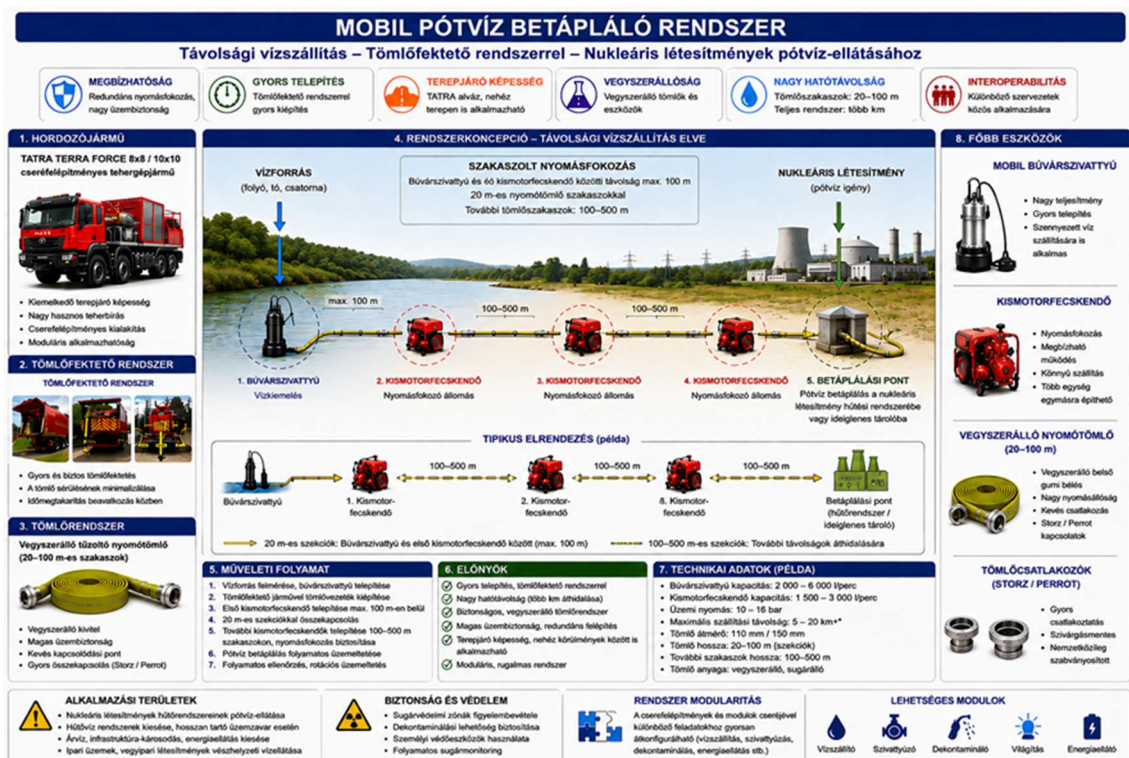
A tartós hóhullámok és aszályos időszakok csökkenthetik a természetes vízbázisok vízhozamát, miközben emelkedhet a hűtési rendszerek vízigénye. Ezzel párhuzamosan az árvizek és extrém csapadékesemények károsíthatják a hagyományos vízkivételi és vízellátó infrastruktúrát. A szélsőséges klimatikus események következtében növekszik annak a kockázata, hogy a normál hűtővízellátás részben vagy teljes mértékben kiesik.

Mint az előző fejezetekből látható a pótvíz betáplálás egy jórészt manuálisan kézi tömlőfektetéssel, majd felszedéssel normál tűzoltó tekerestömlők és tűzoltó szakfelszerelések használatával végrehajtott beavatkozás, melyet az atomerőmű tűzoltóság állománya az évi rendszerességgel végrehajtott gyakorlatok alkalmával sokszorosán kivitelezett. Megfelelő létszám bevonásával minden évszakban és időjárási viszonyok között végrehajtható. Azonban számolnunk kell olyan időjárási és egyéb extrémításba hajló körülményekkel, melyek gyakorlatokkor nem szimulálhatóak, hiszen bekövetkezésük valószínűsége évtizedes távlatokban is igen csekély. Ilyen lehet a földrengés, robbanás következményeként lezajló épületösszeomlás, romosodás, törmelék halmok kialakulása, mely menekülési és felvonulási útvonalakat tehet járhatatlanná, vagy tömlőfektetés céljára használhatatlanná, vagy a hazánkban is ritkán, de előforduló extrém hideg, mely a tűzoltó tekerestömlőket igen érzékennyé teszi a nyomáslökések károsító hatásai iránt. A hidegben kiömlő és megfagyó víz a tömlők kiváltását nehézkesé és nehezen kivitelezhetővé teszi. Erőművi súlyos baleset következtében pedig kialakulhatnak olyan magas sugárzási viszonyok, melyek a beavatkozók létszámának és a beavatkozás idejének minimalizálását követelik meg. Az ezen körülményekre való felkészülés különleges eszközöket és felszereléseket kíván, azonban ezen szakfelszerelések már megtalálhatóak a világpiacon egyéb tűzoltói feladatellátáshoz.

A rendszer egyik alappillére a vízkivételt és megfelelő nyomásértékeket biztosító Rosenbauer kismotorfecskendő, mely a jelenlegi legmagasabb szakmai

követelményeknek is eleget tesznek. A kismotorfecsikendők vízfelvétele a gyakorlati szívómélység határán nagyban megkönnyítheti és az üzembiztonságot is javítaná megfelelő teljesítményű búvárszivattyúk alkalmazása, mely lehetővé tenné a szivattyúk alacsonyabb fordulaton való tartós üzemeltetését. A pótvíz betáplálás második alappillére a több, mint egy kilométeres hosszban kifestett „A” és „B” jelű tekerestömlőkből álló rendszer, melyet érdemes lenne nagyobb költségű, de magasabb mechanikai ellenállóképességű előre szerelt vegyszerálló tömlőkre cserélni, mivel így a storz kapcsoknál nem kellene a fellépő veszteséggel számolni, valamint a homogén tömlőrendszerben csökkenne a sűrűdési veszteség is.

A manuális tömlőfektetés kiváltására automatikus tömlőfektető rendszer beszerzésére lenne lehetőség, mely megfelelő terepjáróképességű hordozójárműre telepítve néhány percre rövidítené a tömlőfektetés idejét. A nemzetközi forgalomban megtalálható eszközök egyidejűleg több – akár három sor tömlő kihelyezését teszik lehetővé 50 km/órás sebességgel, maximum 5000 méteres hosszban „A” tömlők használatával. A kárfelszámolás végén a kifestett tömlőmennyiség visszazsedését és mosását is a hordozójárműre szerelt berendezés végzi, mely több rajnyi tűzoltó munkáját képes kiváltani, az eszköz a 6. képen látható gépjárműre telepítve.



48. ábra: Moduláris távolsági vízzsállításító rendszer (forrás: a szerző szerkesztése)

## 6.10. FEJEZETI KÖVETKEZTETÉSEK

A fejezetben bemutatott elemzések alapján megállapítható, hogy a nukleáris létesítményekben kialakuló súlyos balesetek kezelése rendkívül komplex, több szakterületet integráló feladat, amelyben a technológiai rendszerek működőképessége, az emberi tényezők, a szervezeti koordináció, valamint a környezeti és klimatikus hatások egyaránt meghatározó szerepet töltenek be. A nemzetközi nukleáris balesetek tapasztalatai igazolták, hogy a súlyos események kialakulása jellemzően nem egyetlen műszaki hibára vezethető vissza, hanem egymással kölcsönhatásban álló meghibásodások és külső hatások láncolataként jelenik meg. Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. súlyosbaleset-kezelési rendszere a mélységi védelem elvére épülő, többszintű biztonsági struktúrával rendelkezik, amelynek célja a reaktorok maradványhő-elvezetésének biztosítása még szélsőséges üzemzavari helyzetekben is. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a külső hűtőközeg-betáplálás rendszere képes lehet a szükséges hűtővíz-mennyiség biztosítására, ugyanakkor működőképessége jelentős mértékben függ:

- a víznyerési helyek aktuális állapotától,
- a meteorológiai és hidrológiai körülményektől,
- a felvonulási útvonalak járhatóságától,
- a technikai eszközök megbízhatóságától,
- valamint a rendelkezésre álló személyi állománytól.

A gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a külső hűtőközeg-betáplálás jelenlegi rendszere nagy élőerő-igényű, jelentős részben manuális tevékenységekre épülő beavatkozási folyamat. Ennek következtében a rendszer érzékeny:

- az extrém időjárási körülményekre,
- a romosodási és infrastruktúra-károsodási helyzetekre,
- az alacsony vízállásból eredő hidraulikai problémákra,
- valamint a radiológiai veszélyhelyzetből fakadó idő- és létszámkorlátozásokra.

A mérési eredmények ugyanakkor igazolták, hogy a mobil kismotorfecskendők és a kiépített tömlőrendszer megfelelő telepítés mellett alkalmas lehet legalább egy üzemzavari vagy kiegészítő üzemzavari tápszivattyú teljesítményének kiváltására. Ez különösen fontos megállapítás, mivel a külső hűtőközeg-betáplálás a technológiai védelem utolsó funkcionális szintjét jelenti olyan esetekben, amikor a normál és biztonsági rendszerek működése részben vagy teljesen megszűnik.

A fejezet eredményei arra is rámutattak, hogy a klímaváltozás következtében várható hidrológiai és meteorológiai szélsőségek a jövőben jelentősen befolyásolhatják a súlyosbaleset-kezelésének feltételeit.

Az Intergovernmental Panel on Climate Change és az európai klímamodellek eredményei alapján:

- nőhet az extrém hőhullámok gyakorisága,
- csökkenhet a rendelkezésre álló vízkészletek mennyisége,
- gyakoribbá válhatnak az alacsony dunai vízállások,
- valamint erősödhetnek az árvízi és villámárvízi események.

Ezek a folyamatok közvetlenül érinthetik:

- a hűtővízellátás biztonságát,
- a víznyerési lehetőségeket,
- a beavatkozási útvonalakat,
- valamint az elsőbeavatkozási állomány fizikai terhelését és biztonságát.

A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a jövőbeni nukleáris veszélyhelyzet-kezelés egyik kulcskérdése a klímareziliencia-alapú tervezés és adaptáció integrálása lesz. Ennek érdekében indokoltnak tekinthető:

- a mobil rendszerek automatizáltságának növelése,
- a tömlőfektetési technológiák fejlesztése,
- a vízkivételi pontok korszerűsítése,
- a tartalék energiaellátási rendszerek továbbfejlesztése,
- valamint a többes veszélyhelyzetek kezelésére alkalmas komplex gyakorlatok rendszeres végrehajtása.

Összességében megállapítható, hogy a súlyosbaleset-kezelés sikeressége nem kizárólag a technológiai rendszerek rendelkezésre állásától függ, hanem a technikai, szervezeti, logisztikai és környezeti tényezők integrált működésétől. A korszerű nukleáris biztonsági szemlélet ezért megköveteli a rendszerszintű, adaptív és reziliencia-alapú megközelítés alkalmazását, amely képes reagálni a technológiai és klimatikus környezet folyamatos változásaira.

## 7. ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

A kutatás során elvégzett komplex hazai és nemzetközi szakirodalmi, eseményelemző és beavatkozás-taktikai vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy a disszertációban megfogalmazott hipotézisek megalapozottak voltak, és a kutatás során bizonyítást nyertek. Az elemzett nukleáris és radiológiai káresemények különösen a Csernobil és Fukushima Daiichi balesetek, továbbá a különböző radiológiai szennyezéssel, infrastruktúra-kieséssel járó események részletes vizsgálata rámutatott arra, hogy a nemzetközi tapasztalatok feldolgozása jellemzően műszaki, technológiai vagy nukleáris biztonsági fókuszú megközelítésben történt meg. A beavatkozási oldal operatív, taktikai és döntéstámogatási tapasztalatainak rendszerszintű összegzése ugyanakkor hiányos, fragmentált és nem egységesített formában jelenik meg a szakirodalomban és a gyakorlatban.

A kutatás igazolta, hogy az első beavatkozók műveleti környezetét meghatározó tényezők különösen az időnyomás, az információhiány, a sugárveszély bizonytalansága, a párhuzamosan kialakuló technológiai károk, valamint a személyi állomány fizikai és pszichés terhelése nem kezelhetők kizárólag hagyományos iparbiztonsági vagy tűzoltás-taktikai szemlélet alapján. A vizsgálatok során egyértelművé vált, hogy a nukleáris és radiológiai események sajátos műveleti környezetet hoznak létre, amelyben a klasszikus kárelhárítási elvek önmagukban nem biztosítanak megfelelő döntéstámogatást. A különböző országok és szervezetek gyakorlatának elemzése rámutatott arra, hogy a beavatkozási tapasztalatok jelentős része szervezeti szinten marad, és csak korlátozott mértékben kerül át strukturált, adaptálható és egységesen alkalmazható módszertani rendszerekbe. Ebből következően a kutatás első hipotézise egyértelműen igazolást nyert: az elmúlt évtizedek nukleáris és vegyi káreseményeinek vizsgálati tapasztalatai nem kerültek egységes, beavatkozás-taktikai szemléletű rendszerbe foglalásra, különös tekintettel az első beavatkozók döntéstámogatására.

A kutatás második kiemelt eredménye annak bizonyítása, hogy a nukleáris eredetű káresemények lefolyása jól azonosítható, tipizálható eseménysorokra bontható.

Az elemzett események összehasonlító vizsgálata során megállapítható volt, hogy a különböző típusú nukleáris és radiológiai káresemények esetében visszatérő műveleti és technológiai mintázatok jelennek meg.

Ilyen ismétlődő elemek voltak többek között a hűtési funkció elvesztése, a villamosenergia-ellátás kiesése, a primerköri sérülések kialakulása, a radioaktív anyagok kontrollálatlan kibocsátása, a hidrogénfelhalmozódás és robbanásveszély, valamint a többes infrastruktúra-károsodás következtében kialakuló komplex veszélyhelyzetek. A vizsgálatok alapján megállapíthatóvá vált, hogy ezek a folyamatok meghatározott logikai és időrendi sorrendben követik egymást, amely lehetővé teszi eseménysor-alapú tipizálásukat, így ezekre a technológiai folyamatokra – majd az azokat követő káreseményekre megfelelően fel lehet készülni.

A tipizálás során kialakított eseménymodellek lehetőséget biztosítottak arra, hogy az egyes eseménytípusokhoz konkrét beavatkozási követelmények kerüljenek hozzárendelésre. A kutatás meghatározta azokat a minimális személyi, műszaki és szervezési feltételeket, amelyek nélkülözhetetlenek az adott eseménytípus eredményes kezeléséhez. Ide tartoznak a speciális sugárvédelmi felszerelések, a nagy teljesítményű vízz szállító és hűtőrendszerek, a mobil energiaellátó kapacitások, a dekontamináló rendszerek, a sugárfelderítő és monitoring eszközök, valamint az integrált vezetési és kommunikációs struktúrák. A kutatás eredményei bizonyították, hogy a standardizált eseménymodellek alkalmazása jelentősen növelheti a műveleti reagálás gyorsaságát, csökkenti a döntési bizonytalanságot, és elősegíti az erőforrások optimális alkalmazását. Ennek megfelelően a második hipotézis teljes mértékben igazolást nyert.

A kutatás harmadik fontos megállapítása annak igazolása volt, hogy a nukleáris és radiológiai események elsődleges kezelésének hatékonysága közvetlen összefüggésben áll a békeidőszakban kialakított speciális kapacitásokkal és veszélyhelyzeti tartalékokkal. Az elemzett események során egyértelműen megfigyelhető volt, hogy azok a szervezetek és országok tudtak eredményesebben reagálni, amelyek már a káreseményt megelőzően kiépítették a nukleáris veszélyhelyzetek kezeléséhez szükséges speciális képességeket. Kiemelten fontos tényezőnek bizonyult a rendszeres gyakorlatoztatás, a több szervezetet érintő koordinációs rendszerek működtetése, a sugárvédelmi felkészítés szintje, valamint a mobil technikai tartalékok rendelkezésre állása.

A kutatás rámutatott arra is, hogy a nukleáris káresemények során a beavatkozási képességek hiányosságai exponenciálisan növelhetik a másodlagos következmények kialakulásának kockázatát. Az elégtelen hűtési kapacitás, a korlátozott sugárfelderítési lehetőségek, a hiányos védőfelszerelés-állomány vagy a nem megfelelő vezetési struktúra jelentősen rontotta a műveleti eredményességet az elemzett esetekben. Ezzel szemben azokban az eseményekben, ahol rendelkezésre álltak előre kidolgozott veszélyhelyzeti tervek, dedikált nukleáris beavatkozó egységek, mobil műszaki tartalékok és integrált kommunikációs rendszerek, a káresemények következményei hatékonyabban korlátozhatók voltak. A kutatás tehát egyértelműen igazolta, hogy a békeidőben kiépített speciális kapacitások és tartalékok meghatározó szerepet töltenek be az első beavatkozás sikerességében.

A disszertáció egyik legjelentősebb tudományos eredménye az integrált, tipizált beavatkozási modell kidolgozása volt. A modell a nukleáris és radiológiai események kezelésének olyan komplex keretrendszerét biztosítja, amely egységes szerkezetben kapcsolja össze az eseménnytípusokat, a várható veszélyforrásokat, a szükséges műveleti intézkedéseket, a sugárvédelmi követelményeket, valamint az erőforrás- és vezetésirányítási elemeket. A modell egyik legfontosabb előnye, hogy lehetővé teszi a döntéshozók számára a gyorsabb helyzetértékelést és a standardizált döntési mechanizmusok alkalmazását olyan környezetben, ahol az időfaktor és az információhiány kiemelt kockázati tényezőt jelent.

A kutatás során elvégzett összehasonlító elemzések igazolták, hogy az integrált modell alkalmazásával csökkenthető a beavatkozók sugárterhelése, mivel a standardizált műveleti sémák lehetővé teszik az optimális zónakialakítást, az expozíciós idő csökkentését, a rotációs beavatkozási rendszer hatékonyabb alkalmazását és a sugárvédelmi prioritások gyorsabb érvényesítését. Emellett a modell hozzájárul a műveleti hatékonyság növeléséhez is, mivel elősegíti az erőforrások célzott alkalmazását, a redundáns műveletek csökkentését és az összehangolt vezetési struktúrák kialakítását. A negyedik hipotézis tehát szintén igazolást nyert: az integrált, tipizált beavatkozási modell alkalmazása érdemben hozzájárulhat a beavatkozási biztonság növeléséhez és a műveleti eredményesség javításához.

A kutatási célkitűzések teljesülése alapján megállapítható, hogy a disszertáció tudományos és gyakorlati szempontból egyaránt hozzájárul a nukleáris és radiológiai káresemények kezelésének továbbfejlesztéséhez. A hazai és nemzetközi tapasztalatok feldolgozása során sikerült azonosítani azokat a szabályozási, szervezési, technikai és műveleti hiányosságokat, amelyek indokolják a jelenlegi beavatkozási rendszerek korszerűsítését. A kialakított tipizált eseménymodellek új megközelítést biztosítanak a nukleáris veszélyhelyzeti tervezésben, az oktatásban, a gyakorlatok szervezésében és a műveleti felkészítésben. Az integrált döntéstámogató modell pedig olyan adaptálható és gyakorlati alkalmazhatósággal rendelkező keretrendszert biztosít, amely hozzájárulhat a nukleáris létesítmények biztonságának növeléséhez, a beavatkozó állomány védelméhez és a jövőbeni nukleáris vagy radiológiai veszélyhelyzetek eredményesebb kezeléséhez.

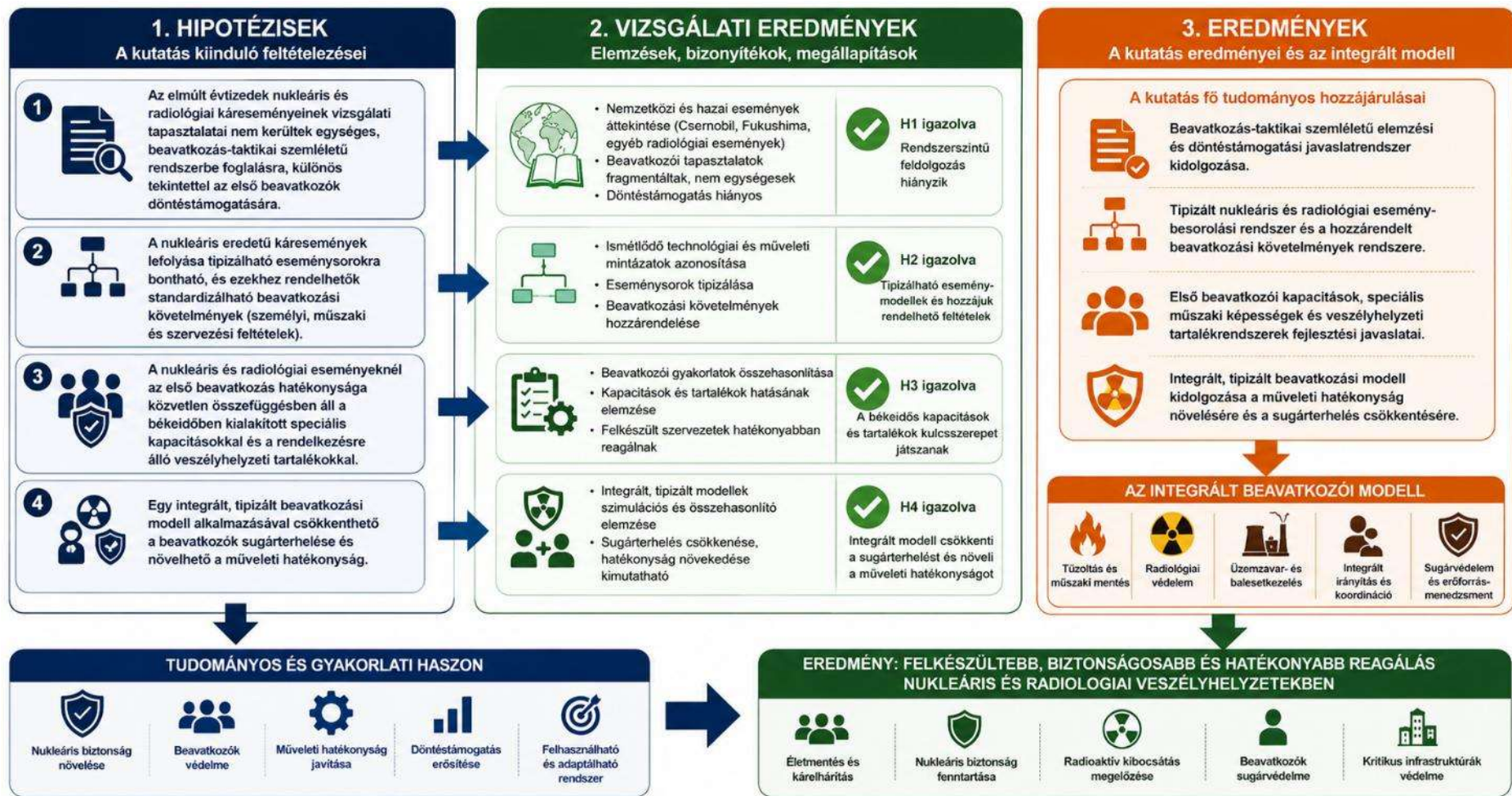
Összességében megállapítható, hogy a kutatás nem csupán a nukleáris és radiológiai káresemények beavatkozás-taktikai elemzésének hiánypótló tudományos feldolgozását valósította meg, hanem olyan gyakorlati alkalmazhatósággal rendelkező módszertani és döntéstámogató rendszert is létrehozott, amely a jövőben hozzájárulhat a nukleáris veszélyhelyzeti reagálás hatékonyságának növeléséhez, a személyi állomány biztonságának fokozásához, valamint a kritikus infrastruktúrák ellenálló képességének fejlesztéséhez.

## 8. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Az összegzett következtetések alapján az alábbi új tudományos eredmények elfogadására tesztek javaslatot:

1. Új, beavatkozás-taktikai szemléletű elemzési és döntéstámogatási rendszer került kialakításra a nukleáris és radiológiai káresemények tapasztalatainak feldolgozása alapján.
2. Kidolgozásra kerültek az első beavatkozási kapacitások, speciális műszaki képességek és veszélyhelyzeti tartalékrendszerek fejlesztésére irányuló javaslatok nukleáris létesítmények számára.
3. Létrehozásra került egy integrált, tipizált tűzoltói beavatkozási modell, amely támogatja nukleáris területen a műveleti döntéshozatalt, csökkenti a beavatkozási sugárterhelést és növeli a műveleti hatékonyságot.

Az értekezés kutatási célkitűzéseinek, hipotéziseinek és tudományos eredményeinek egymásra épülését a 49. ábra szemlélteti.



49. ábra: A disszertáció hipotéziseinek, eredményeinek bemutatása

## **9. A KUTATÁSI EREDMÉNYEK GYAKORLATI FELHASZNÁLHATÓSÁGA**

A kutatás eredményei gyakorlati szempontból hozzájárulhatnak a nukleáris és radiológiai veszélyhelyzeti reagálórendszerek továbbfejlesztéséhez, különösen az első beavatkozási tevékenység területén. Az integrált beavatkozási modell alkalmazható a nukleáris létesítmények veszélyhelyzeti tervezésében, a beavatkozási szabályzók korszerűsítésében, valamint a döntéstámogatási rendszerek fejlesztésében.

A kutatás során meghatározott személyi, műszaki és szervezési követelmények felhasználhatók a speciális nukleáris beavatkozási kapacitások kialakításához, a műszaki tartalékrendszerek fejlesztéséhez, valamint a mobil veszélyhelyzeti képességek bővítéséhez. Az eredmények támogatják továbbá a sugárvédelmi felkészítést, a komplex gyakorlatok tervezését, az interoperábilis együttműködés fejlesztését és a kritikus infrastruktúrák ellenálló képességének növelését.

Az integrált, tipizált beavatkozási modell gyakorlati alkalmazása elősegítheti a gyorsabb helyzetértékelést, a hatékonyabb erőforrás-felhasználást, a beavatkozási sugárterhelés csökkentését és a nukleáris veszélyhelyzetek következményeinek eredményesebb kezelését.

## 10. AJÁNLÁSOK

A kutatás eredményei, a feltárt hiányosságok, valamint a kidolgozott integrált beavatkozási modell alapján indokoltá válik olyan szakmai, szervezeti, műszaki és szabályozási fejlesztési javaslatok megfogalmazása, amelyek hozzájárulhatnak a nukleáris és radiológiai veszélyhelyzetek kezelésének hatékonyabbá tételéhez, a beavatkozási állomány védelmének növeléséhez, valamint a kritikus infrastruktúrák ellenálló képességének fejlesztéséhez.

A kutatás egyik legfontosabb tapasztalata alapján szükséges olyan egységes, országos szintű, nukleáris és radiológiai káreseményekre specializált beavatkozás-taktikai módszertani rendszer kidolgozása, amely a különböző szervezetek különösen a katasztrófavédelem, a létesítményi tűzoltóságok, az iparbiztonsági szervezetek, az egészségügyi ellátórendszer és a nukleáris létesítmények számára egységes szemléletű eljárásrendet biztosít. A jelenlegi szabályozási és módszertani háttér elsősorban általános veszélyhelyzeti és sugárvédelmi előírásokat tartalmaz, azonban a komplex nukleáris események első beavatkozási szintű taktikai kezelésére vonatkozó egységesített rendszer kialakítása továbbra is indokolt. Ennek érdekében javasolt olyan országos metodika kidolgozása, amely tipizált eseménysorokra épülő döntéstámogató elemeket, műveleti algoritmusokat és sugárvédelmi prioritásokat tartalmaz.

Indokolt továbbá a nukleáris és radiológiai események tipizálásán alapuló egységes eseménykategória-rendszer bevezetése, amely lehetővé teszi a gyorsabb helyzetértékelést és a standardizált reagálási protokollok alkalmazását.

A kutatás igazolta, hogy az események jelentős része visszatérő technológiai és műveleti mintázatok alapján csoportosítható, így célszerű olyan nemzeti szintű tipológiai rendszer kialakítása, amelyhez előre definiált beavatkozási követelmények rendelhetők. Ez a megközelítés hozzájárulhat a vezetési döntések gyorsításához, a műveleti bizonytalanság csökkentéséhez és az erőforrások hatékonyabb alkalmazásához.

A kutatás alapján kiemelten fontos a speciális nukleáris beavatkozási kapacitások további fejlesztése. Javasolt a sugárfelderítő és monitoring rendszerek korszerűsítése, különösen a valós idejű adatátviteli képességek, a mobil mérőrendszerek és a drónalapú sugárfelderítés fejlesztése érdekében. A modern technológiák alkalmazása lehetővé teszi a veszélyzónák gyorsabb felderítését, a személyi állomány sugárterhelésének csökkentését, valamint a műveleti döntések pontosabb támogatását.

Indokolt továbbá a mobil dekontamináló rendszerek, a nagy teljesítményű vízszállító és hűtőkapacitások, valamint a tartalék energiaellátó rendszerek fejlesztése és országos szintű integrációja.

A kutatás eredményei alapján szükséges a nukleáris veszélyhelyzeti tartalékrendszerek felülvizsgálata és megerősítése. A vizsgált nemzetközi események egyértelműen rámutattak arra, hogy a hosszú időtartamú komplex káresemények során a hagyományos operatív kapacitások gyorsan kimerülhetnek. Ennek megfelelően indokolt olyan több szintű stratégiai tartalékrendszer kialakítása, amely magában foglalja a mobil műszaki eszközöket, a sugárvédelmi felszereléseket, a tartalék kommunikációs rendszereket és a speciális logisztikai képességeket. Javasolt továbbá nemzetközi regionális szintű nukleáris veszélyhelyzeti logisztikai központok kialakítása, amelyek képesek rövid időn belül támogatni a nagy erőforrásigényű beavatkozásokat.

A kutatás egyik meghatározó megállapítása alapján kiemelt figyelmet szükséges fordítani a beavatkozási állomány speciális képzésének és gyakorlatoztatásának fejlesztésére. Indokolt olyan moduláris képzési rendszer kialakítása, amely elkülönített szinten kezeli az alapfokú radiológiai felkészítést, a speciális nukleáris beavatkozási képzést, valamint a vezetői és döntéshozói állomány komplex veszélyhelyzeti felkészítését.

A kutatás igazolta, hogy a sikeres beavatkozások egyik alapfeltétele a rendszeres, valóság-hű és több szervezetet integráló gyakorlatoztatás. Ennek megfelelően javasolt a szimulációs alapú, többnapos, komplex nukleáris veszélyhelyzeti gyakorlatok tervezése, végrehajtása, különös tekintettel az infrastruktúra-kiesési, többszintű veszélyhelyzeti és hosszú időtartamú eseménysorokra.

A disszertáció eredményei alapján indokolt a döntéstámogató rendszerek digitalizációjának és integrációjának fejlesztése is. Javasolt olyan központi műveletirányítási és adatmegosztási platformok kialakítása, amelyek valós időben képesek integrálni a sugárfelderítési adatokat, meteorológiai információkat, műszaki állapotjelentéseket és beavatkozási kapacitás adatokat. A mesterséges intelligencia alapú előrejelző és kockázatelemző rendszerek alkalmazása hosszú távon jelentősen támogathatja a veszélyhelyzeti döntéshozatalt és a beavatkozások optimalizálását.

A kutatás alapján szükséges továbbá a nukleáris létesítmények és a külső beavatkozó szervezetek együttműködési rendszerének továbbfejlesztése. Javasolt az egységes vezetési struktúrák, interoperábilis kommunikációs rendszerek és közös műveleti protokollok kialakítása. A vizsgálatok rámutattak arra, hogy a több szervezetet érintő veszélyhelyzetek során a koordinációs hiányosságok jelentős műveleti kockázatot hordozhatnak. Ennek csökkentése érdekében indokolt a közös vezetési és törzsvezetési gyakorlatok végrehajtása, valamint az egységes terminológia és információátadási protokollok alkalmazása.

A kutatás eredményei alapján a szabályozási környezet korszerűsítése szintén indokolt. Célszerű olyan jogszabályi és módszertani háttér kialakítása, amely hangsúlyosabban kezeli a komplex, többes veszélyhelyzeti eseményeket, az elhúzódó nukleáris káreseményeket, valamint a kritikus infrastruktúrák egyidejű sérülésének lehetőségét. Indokolt továbbá a nukleáris veszélyhelyzeti tervek rendszeres felülvizsgálata a klímaváltozásból eredő új kockázatok például extrém időjárási események, villámárvizek, hosszú idejű hőhullámok vagy energiabiztonsági zavarok figyelembevételével.

A jövőbeni kutatások szempontjából indokolt az integrált beavatkozási modell továbbfejlesztése és validációja valóság-hű szimulációs környezetben. Javasolt olyan digitális iker (digital twin) alapú modellezési rendszerek alkalmazása, amelyek lehetővé teszik a különböző nukleáris veszélyhelyzeti forgatókönyvek műveleti és sugárvédelmi következményeinek vizsgálatát. Emellett célszerű további kutatásokat folytatni az autonóm és robotikai rendszerek nukleáris veszélyhelyzeti alkalmazhatóságának, valamint a mesterséges intelligencia alapú döntéstámogatás lehetőségeinek vizsgálatára területén.

## 10.1. INTEGRÁLT TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁSI MODELL

Az integrált tűzoltói beavatkozási modell nukleáris területen egy olyan komplex, több szakterületet összehangoló beavatkozási rendszer, amelynek célja a tüzesetek, műszaki mentések, radiológiai veszélyhelyzetek és súlyos baleseti folyamatok egyidejű kezelésének biztosítása az atomerőművi környezet sajátos követelményei mellett.

A modell lényege, hogy a hagyományos tűzoltási és műszaki mentési feladatokat nem önálló tevékenységként kezeli, hanem azokat integrálja:

- a nukleáris biztonsági követelményekkel,
- a sugárvédelmi rendszerekkel,
- a létesítményi üzemzavar- és balesetkezeléssel,
- a veszélyhelyzeti irányítási struktúrával,
- valamint a külső és belső együttműködő szervezetek koordinált működésével.

Az integrált modell alapja, hogy egy nukleáris létesítményben a tüzeset önmagában nem kizárólag tűzvédelmi esemény, hanem potenciálisan technológiai, radiológiai és nukleáris biztonsági következményekkel járó komplex veszélyhelyzet.

Emiatt a beavatkozás során párhuzamosan kell biztosítani:

- az életmentést és kárelhárítást,
- a reaktor és technológiai rendszerek biztonságának fenntartását,
- a radioaktív anyagok környezetbe jutásának megelőzését,
- a beavatkozó állomány sugárvédelmét,
- valamint az üzemfolytonosság és a kritikus infrastruktúrák védelmét.

A modell egyik kulcseleme az egységes vezetési és döntéstámogatási rendszer, amelyben:

- a létesítményi tűzoltóság,
- az üzemviteli személyzet,
- a sugárvédelmi szakemberek,
- a műszaki támogatók,
- valamint a külső katasztrófavédelmi és egészségügyi szervezetek közös információs és irányítási struktúrában működnek együtt.

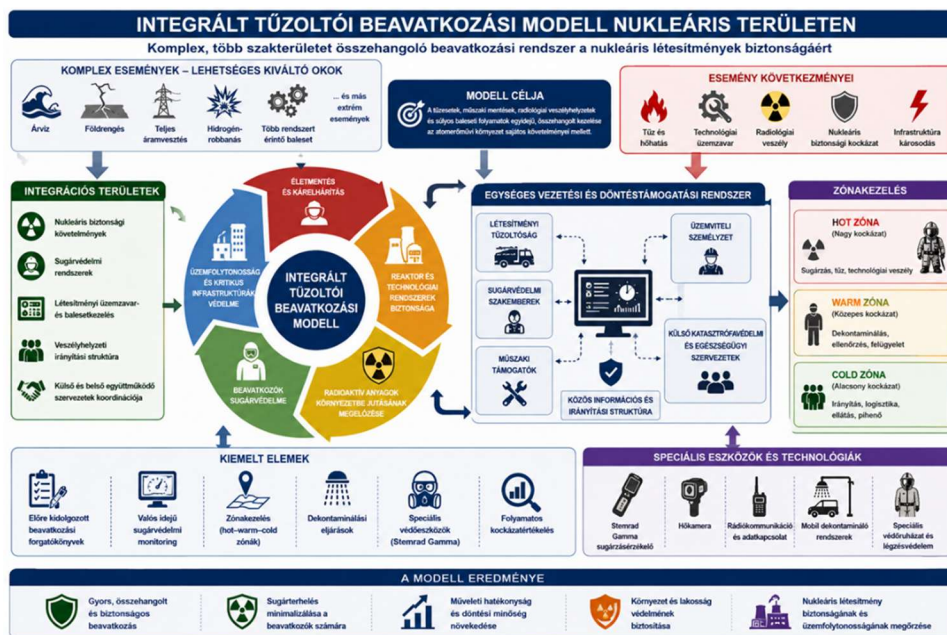
Az integrált megközelítés kiemelt elemei:

- az előre kidolgozott beavatkozási forgatókönyvek,
- a valós idejű sugárvédelmi monitoring,
- a zónakezelés (hot–warm–cold zónák),
- a dekontaminálási eljárások,
- a speciális védőeszközök alkalmazása (Stemrad Gamma),
- valamint a folyamatos kockázatértékelés.

A modell további sajátossága, hogy figyelembe veszi az extrém környezeti és komplex eseményláncokat is, például:

- árvíz,
- földrengés,
- teljes áramvesztés,
- hidrogénrobbanás,
- vagy több rendszert érintő súlyos baleseti helyzetek együttes előfordulását.

Az integrált tűzoltói beavatkozási modell egy olyan adaptív, multidiszciplináris és magas biztonsági szintű reagálóképesség, amely képes a nukleáris létesítményekben kialakuló összetett veszélyhelyzetek gyors, összehangolt és sugárvédelmileg biztonságos kezelésére.



50. ábra: Integrált tűzoltói beavatkozási modell (forrás: a szerző szerkesztése)

## **10.2. JAVASLAT AZ ELSŐ BEAVATKOZÓI KAPACITÁSOK, SPECIÁLIS MŰSZAKI KÉPESSÉGEK FEJLESZTÉSÉRE**

A nukleáris és radiológiai veszélyhelyzetek kezelésének hatékonysága alapvetően függ az első beavatkozási rendszer felkészültségétől, a rendelkezésre álló speciális műszaki képességektől, valamint a békeidőben kialakított veszélyhelyzeti tartalékoktól. A kutatás eredményei alapján megállapítható, hogy a nukleáris létesítmények biztonságának fenntartása érdekében olyan integrált, több szinten redundáns beavatkozási rendszert szükséges kialakítani, amely képes komplex, elhúzódó és több veszélyforrást egyidejűleg magában hordozó események kezelésére.

Az első beavatkozási kapacitások fejlesztése során kiemelt jelentőséggel bír a dedikált nukleáris területen beavatkozó egységek létrehozása és fenntartása. Ezeknek az egységeknek rendelkezniük kell speciális sugárvédelmi, műszaki mentési, tűzoltási, dekontaminálási és veszélyhelyzeti irányítási képességekkel. A személyi állomány felkészítését rendszeres, komplex szimulációs és terepgyakorlatokra kell alapozni, amelyek valóság-hű körülmények között modellezik a nukleáris veszélyhelyzetek során fellépő terhelést, információhiányt és sugárvédelmi kihívásokat. Különösen fontos a több szervezetet érintő integrált gyakorlatok végrehajtása, amelyek során az együttműködő szervezetek létesítményi tűzoltóság, hivatásos katasztrófavédelem, egészségügyi szervezetek, sugárvédelmi szakemberek és műszaki támogató egységek közös vezetési és kommunikációs rendszerben működnek.

A speciális műszaki képességek fejlesztésének egyik alapvető eleme a mobil és moduláris műszaki tartalékok kialakítása. A kutatás igazolta, hogy a súlyos nukleáris események során különösen meghatározó szerepe van a nagy teljesítményű mobil vízszállító és hűtőrendszereknek, a hordozható energiaellátó rendszereknek, a mobil szivattyúegységeknek, valamint az ideiglenes technológiai betáplálási lehetőségeknek. Ennek érdekében javasolt olyan nagy távolságú mobil pótlóvíz-betápláló rendszerek kialakítása, amelyek több kilométeres távolságból is biztosítani képesek a szükséges hűtővíz-ellátást.

A rendszereknek alkalmasnak kell lenniük szélsőséges környezeti körülmények például árvíz, teljes áramvesztés vagy infrastruktúra-kiesés melletti működésre is.

Indokolt továbbá a sugárfelderítő és monitoring rendszerek korszerűsítése. A valós idejű sugárvédelmi monitoring, a drónalapú felderítés, a távoli mintavételi lehetőségek, valamint a digitális döntéstámogató rendszerek alkalmazása jelentősen növelheti a műveleti helyzetértékelés pontosságát és csökkentheti a beavatkozók sugárterhelését. A személyi védelem érdekében szükséges a korszerű sugárvédelmi védőeszközök például speciális légzésvédelmi rendszerek, nagy sugárzás elleni egyéni védőeszközök és sugárárnyékoló felszerelések rendszeresítése és megfelelő mennyiségű tartalékolása.

A veszélyhelyzeti tartalékrendszerek kialakítása során kiemelt figyelmet kell fordítani a redundancia és a decentralizált működőképesség biztosítására. A kutatás tapasztalatai alapján megállapítható, hogy a centralizált rendszerek sérülékenysége jelentősen növelheti a másodlagos következmények kialakulásának kockázatát. Ennek megfelelően javasolt nemzetközi műszaki és logisztikai tartalékbázisok létrehozása, amelyek rövid időn belül képesek speciális eszközök, mobil energiaforrások, dekontamináló rendszerek és sugárvédelmi felszerelések biztosítására. A tartalékrendszereknek interoperábilisnek kell lenniük a hazai és nemzetközi nukleáris veszélyhelyzeti reagáló rendszerekkel.

A vezetésirányítás fejlesztése érdekében szükséges egységes integrált döntéstámogatási rendszer kialakítása, amely valós időben képes összehangolni a sugárvédelmi adatokat, a technológiai folyamatokat, a beavatkozó erőforrásokat és a logisztikai támogatást. A rendszernek támogatnia kell az eseménytipizáláson alapuló standardizált műveleti döntéseket, valamint a dinamikus kockázatértékelést.

A kutatás eredményei alapján összességében megállapítható, hogy a nukleáris veszélyhelyzeti reagálóképesség fejlesztése csak komplex, integrált és multidiszciplináris megközelítéssel valósítható meg. Az első beavatkozó kapacitások, a speciális műszaki képességek és a veszélyhelyzeti tartalékrendszerek összehangolt fejlesztése jelentősen hozzájárulhat a nukleáris létesítmények biztonságának növeléséhez, a beavatkozók védelméhez és a súlyos nukleáris események következményeinek csökkentéséhez.

### 10.3. MODULÁRIS TÁVOLSÁGI VÍZSZÁLLÍTÓ RENDSZER

A nukleáris létesítményeknél kialakuló hosszan tartó hűtésvesztési vagy nagy mennyiségű pótvíz-betáplálást igénylő veszélyhelyzetek kezelésére indokolt egy olyan nagy mobilitású, modulárisan alkalmazható távolsági vízszállító rendszer kialakítása, amely képes a hagyományos infrastruktúrától részben vagy teljes mértékben független működés biztosítására. A kutatás eredményei alapján javasolható egy integrált mobil pótvíz-betápláló rendszer létrehozása, amely ötvözi a nagy terepjáró képességű hordozójárművek, a gyors telepítésű tömlőfektető technológiák és a nagy távolságú vízszállítás nemzetközi különösen a német tűzoltási gyakorlatban alkalmazott szabályrendszerének előnyeit.

A javasolt rendszer alapját egy cserefelépítményes kialakítású, kiemelkedő terepjáró képességgel rendelkező, többtengelyes tehergépjármű képezheti, amely alkalmas a nehéz terepviszonyok közötti folyamatos műveleti alkalmazásra, árvízi vagy infrastruktúra-károsodással érintett környezetben történő mozgásra, valamint nagy tömegű tömlő- és szivattyúkapacitás szállítására. A rendszer cserefelépítményes kialakítása lehetővé teszi, hogy a jármű különböző műveleti konfigurációkban kerüljön alkalmazásra, így például távolsági vízszállító, szivattyúhordozó, dekontamináló vagy energiaellátó modulokkal is felszerelhető legyen. A rendszer egyik kulcseleme egy integrált tömlőfektető berendezés, amely alkalmas nagy mennyiségű, 100 méteres egységekből álló vegyszerálló tűzoltó nyomótömlő gyors és irányított telepítésére. A tömlőrendszer kialakításánál indokolt a nukleáris és vegyi környezetben történő alkalmazhatóság figyelembevétele, ezért szükséges a fokozott vegyszerállóságú, mechanikai sérülésekkel és sugárszennyezéssel szemben ellenálló tömlőanyagok alkalmazása. A 100 méteres szekciók alkalmazása jelentősen csökkenti a kapcsolódási pontok számát, ezáltal növeli az üzembiztonságot, csökkenti a nyomásvesztéseket és gyorsítja a telepítési folyamatot.

A rendszer működési koncepciója a német típusú távolsági vízszállítási elvekhez igazodhat, amelyek alapját a folyamatos, szakaszolt nyomásfokozású víztovábbítás képezi.

Ennek megfelelően a rendszerbe integrált mobil búvárszivattyúk és kismotorfecskendők egymásra épülő nyomásfokozó pontokként alkalmazhatók, lehetővé téve több kilométeres távolságra történő stabil vízszállítás megvalósítását.

A rendszer alkalmas lehet nyílt vízforrásokból – például folyókból, hűtőcsatornákból, tavakból vagy árvízi elöntésekből – történő vízkivételre és annak közvetlen továbbítására a nukleáris létesítmény kritikus hűtési rendszereihez vagy ideiglenes víztároló egységeihez. A tűzoltó mobil búvárszivattyúk alkalmazása különösen előnyös lehet alacsony vízmélységű, nehezen megközelíthető vagy részben szennyezett vízforrások esetén, mivel ezek a rendszerek gyorsan telepíthetők, minimális előkészítést igényelnek és nagy vízhozam biztosítására képesek. A rendszerhez kapcsolódó nagy teljesítményű kismotorfecskendők feladata a nyomásfokozás, a szállítási szakaszok közötti hidraulikai stabilitás fenntartása, valamint szükség esetén alternatív vízbetáplálási ágak kialakítása lehet. A rendszer alkalmazása különösen indokolt lehet olyan komplex nukleáris veszélyhelyzetek során, amikor a fix telepített hűtővíz-rendszerek részben vagy teljesen kiesnek, illetve amikor a külső infrastruktúra sérülése miatt a hagyományos vízellátás nem biztosítható. A mobil távolsági vízszállító rendszer képes lehet arra, hogy gyorsan létrehozzon redundáns pótvíz-betáplálási útvonalakat, ezáltal növelve a nukleáris létesítmény ellenálló képességét és csökkentve a hűtésvesztésből eredő súlyos baleseti folyamatok kialakulásának kockázatát. A rendszer további előnye a magas fokú modularitás és interoperabilitás. A kialakítás lehetővé teszi, hogy különböző szervezetek – például hivatásos tűzoltóságok, nukleáris létesítményi tűzoltóságok, katasztrófavédelmi műszaki egységek vagy katonai műszaki alakulatok – közösen alkalmazzák a rendszert. A szabványosított csatlakozók, nyomásfokozási sémák és tömlőszakaszok alkalmazása biztosíthatja a nemzetközi kompatibilitást és a gyors integrálhatóságot. A kutatás alapján megállapítható, hogy egy ilyen integrált mobil pótvíz-betápláló rendszer jelentősen növelheti a nukleáris veszélyhelyzeti reagálás műszaki rugalmasságát, javíthatja a hosszú időtartamú beavatkozások fenntarthatóságát, valamint hozzájárulhat a kritikus hűtési funkciók redundáns biztosításához szélsőséges körülmények között is.



Tolna, 2026.május 12.

Barina Balázs József

## 11. HIVATKOZOTT IRODALOM

- [1] World Nuclear Association: Nuclear Power in the World Today.  
Online:<https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/nuclear-power-in-the-world-today.aspx>  
(letöltés: 2020.02.29.)
- [2] The International Energy Agency: World Energy Outlook Flagship Report 2019.  
Online:<https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2019>  
(letöltés: 2020.03.01.)
- [3] Magyar Villamosenergia-ipari Átviteli Rendszerirányító Zrt.: A teljes bruttó villamosenergia-felhasználás megoszlása 2018.  
Online: <https://www.mavir.hu/web/mavir/adatpublikacio/> (letöltés: 2020.03.09.)
- [4] Új atomerőművi blokkok létesítése Pakson. MVM Paks II. Atomerőmű Fejlesztő Zrt., 2015.  
Online:<https://paks2.hu/documents/20124/93643/paks2-tajekoztato-2015.pdf>  
(letöltés: 2020.02.29.)
- [5] Országos Atomenergia Hivatal határozata az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. kérelmére indult eljárásban az atomerőmű 3. blokkjának 2017. január 1. napjától 2036. december 31. napjáig történő üzemeltetésére.  
Online:[https://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/6030935A5FE79DFDC125809100304792/\\$File/HA6485.pdf](https://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/6030935A5FE79DFDC125809100304792/$File/HA6485.pdf) (letöltés: 2020.03.02.)
- [6] Dobor József - Kossa György - Pátzay György: Atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai I. Hadmérnök, XII. évf. 1. sz., 2017. március, 58–71. pp.
- [7] Dobor József - Kossa György - Pátzay György: Atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai II. Hadmérnök, XII. évf. 4. sz., 2017. december, 84–98. pp.
- [8] Pátzay György – Dobor József: Ipari tevékenységekből eredő veszélyforrások és elhárításuk. NKE Szolgáltató Nonprofit Kft., Budapest, 2016. ISBN: 978-615-5527-9-3.
- [9] Harris, R. – Cramer, J.: Risk Assessment and Risk Management for the Chemical Process Industry. Van Nostrand Reinhold, New York, 1991. ISBN: 978-0442234386.

- [10] Kátai-Urbán Irina – Vass Gyula: Veszélyes tevékenységek osztályozása és áttekintő értékelése Magyarországon. Bolyai Szemle, 2014/1. ISSN 1416-1443.
- [11] Pántya Péter: A tűzoltói beavatkozás veszélyes üzemben. Bolyai Szemle, 2014/3., 36–42. pp.
- [12] Pántya Péter: Katasztrófavédelem beavatkozó hatékonyságának növelése a tűzoltósági területen. Hadmérnök, XIII. évf. 2. sz., 2018. június, 244–279. pp.
- [13] Tóth András – Muhoray Árpád – Pellérdi Rezső: Magyarország jelentősebb ipari katasztrófái a veszélyhelyzet-tervezés és -kezelés szempontjából. Műszaki Katonai Közlöny, XXIX. köt. 2. sz., 2019., 21–39. pp.
- [14] International Atomic Energy Agency: Manual for First Responders to a Radiological Emergency. IAEA, Vienna, 2006.
- [15] International Atomic Energy Agency: INES – The International Nuclear and Radiological Event Scale User’s Manual. IAEA, Vienna, 2013.
- [16] World Nuclear Association: Outline History of Nuclear Energy.  
Online: <https://www.world-nuclear.org/information-library/current-and-future-generation/outline-history-of-nuclear-energy.aspx> (letöltés: 2021.02.02.)
- [17] World Nuclear Association: Nuclear Power Reactors 2021.  
Online:<https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx> (letöltés: 2021.09.29.)
- [18] World Nuclear Association: Nuclear Power Reactors 2021.  
Online: <https://world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/nuclear-power-reactors/nuclear-power-reactors.aspx> (letöltés: 2021.09.29.)
- [19] Pór Gábor: Atomenergetikai alapismeretek. Atomerőművek generációi. Edutus Főiskola, Budapest, 2012.
- [20] International Atomic Energy Agency: Nuclear Power Reactors in the World 2020. Vienna, 2020. ISBN: 978-92-0-114820-9.  
Online: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-2-40\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-2-40_web.pdf) (letöltés: 2021.02.02.)
- [21] Radnóti Katalin – Király Márton: Az atomenergiáról egyszerűen: az atomerőművek működése, típusaik és jövőjük. Nukleon, 8. évf., 2015., 1–13. pp.

- [22] Goldberg, Stephen M. – Rosner, Robert: Nuclear Reactors: Generation to Generation. American Academy of Arts and Sciences, Cambridge, MA, 2011.  
Online:<https://www.amacad.org/sites/default/files/academy/pdfs/nuclearReactors.pdf> (letöltés: 2021.08.21.)
- [23] Antal Zoltán – Kátai Urbán Lajos – Vass Gyula: Atomerőmű-generációk fejlődésének vonzatai. Hadmérnök, XIII. évf. 3. sz., 2018., 150–163. pp.
- [24] Keresztúri András – Pataki István – Tóta Ádám: Negyedik generációs reaktorok. Fizikai Szemle, 64. évf. 4. sz., 2014., 112–119. pp.  
Online:[http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1404/Kereszturi\\_A\\_PatakiI\\_TotaA.pdf](http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1404/Kereszturi_A_PatakiI_TotaA.pdf) (letöltés: 2021.09.29.)
- [25] Atomerőmű Tűzoltóság – ATOMIX Kft.: Szakmai Ismeretek Oktatási Anyag – Atomerőműves rendszerek. AT-ME-6.2.2.-11-v2, 2012.08.01.
- [26] Pátzay György: Atomenergetika és nukleáris technológia. Typotex, Budapest, 2012. ISBN: 978-963-2794-68.  
Online:[https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/60/02/dd/1/Atomenergetika\\_animacio\\_nelkul.pdf](https://oszkdk.oszk.hu/storage/00/00/60/02/dd/1/Atomenergetika_animacio_nelkul.pdf) (letöltés: 2022.03.12.)
- [27] Rosatom: The VVER Today – Evolution, Design, Safety.  
Online:<https://www.rosatom.ru/upload/iblock/0be/0be1220af25741375138ecd1afb18743.pdf> (letöltés: 2022.04.12.)
- [28] Aszódi Attila – Boros Ildikó: Új blokkok a paksi telephelyen. Fizikai Szemle, 2015/11., 377–382. pp.  
Online:[http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1511/AszodiA\\_BorosI\\_2.pdf](http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz1511/AszodiA_BorosI_2.pdf) (letöltés: 2022.04.12.)
- [29] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: A nukleáris biztonság alapelvei. OF, V6.0, Paks, 2020.
- [30] Atomerőmű Tűzoltóság – ATOMIX Kft.: Üzemzavar-elhárítási oktatási anyag. AT-ME-6.2.2.-1-v2, Paks, 2013.07.01.
- [31] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Villamos berendezések a primerkörben. OF – Primerkörü rendszerek üzemeltetési jegyzet, V03, Paks, 2009.12.
- [32] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Kisnyomású ZÜHR rendszer. OF – Primerkörü rendszerek üzemeltetése, V6.0, Paks, 1998.09.15.
- [33] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Nagynyomású ZÜHR rendszer. OF – Primerkörü rendszerek üzemeltetése, V6.0, Paks, 1998.09.15.

- [34] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Hidroakkumulátor rendszer. OF – Primerkörü rendszerek üzemeltetése, V6.0, Paks, 1998.10.15.
- [35] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Hűtővíz-rendszerek. OF, V1.1, Paks, 2018.07.23.
- [36] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Üzemi tápvízrendszer. Paks, 1998.02.25.
- [37] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Szekunderkörü ismeretek. OF – Atomerőművi reaktor és primerkörü rendszerek operátori üzemeltetése, V5.0, Paks, 2000.10.11.
- [38] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Üzemzavari tápvízrendszer. OF, V6.0, Paks, 2019.10.
- [39] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Biztonsági hűtővízrendszer. OF – Atomerőművi reaktor és primerkörü rendszerek operátori üzemeltetése, V5.0, Paks, 2000.10.30.
- [40] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Fővízkörü rendszer. OF – Primerkörü rendszerek üzemeltetése, V6.0, Paks, 1998.09.15.
- [41] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Térfogatkiegyenlítő rendszer. OF – Atomerőművi reaktor és primerkörü rendszerek operátori üzemeltetése, V5.0, Paks, 1999.02.30.
- [42] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Lokalizációs torony rendszer. OF – Primerkörü rendszerek üzemeltetése, V6.0, Paks, 1998.09.15.
- [43] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Sprinklerrendszer. OF – Primerkörü rendszerek üzemeltetése, V6.0, Paks, 1998.09.15.
- [44] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Súlyos balesetkezelés rendszerei – Primerkörü rendszerek üzemeltetési jegyzete. V1.0, Paks, 2018.07.05.
- [45] 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról.  
Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600116.tv>  
(letöltés: 2026.04.12.)
- [46] 167/2010. (V. 11.) Korm. rendelet az országos nukleárisbaleset-elhárítási rendszerről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1000167.kor>  
(letöltés: 2026.04.12.)
- [47] 1996. évi XXXI. törvény a tűz elleni védekezésről, a műszaki mentésről és a tűzoltóságról.  
Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600031.tv>  
(letöltés: 2026.04.12.)
- [48] 273/2024. (IX. 19.) Korm. rendelet a létesítményi tűzoltóságok létrehozásának és működésének részletes szabályairól.  
Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2400273.kor>  
(letöltés: 2026.04.12.)

- [49] 39/2011. (XI. 15.) BM rendelet a tűzoltóság tűzoltási és műszaki mentési tevékenységének általános szakmai szabályairól.  
Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100039.bm>  
(letöltés: 2026.04.12.)
- [50] 6/2016. (VI. 24.) BM OKF utasítás a Tűzoltás-taktikai Szabályzat és a Műszaki Mentési Szabályzat kiadásáról.  
Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A16U0006.OKF>  
(letöltés: 2026.04.12.)
- [51] 2011. évi CXXVIII. törvény a katasztrófavédelemről és a hozzá kapcsolódó egyes törvények módosításáról.  
Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a1100128.tv>  
(letöltés: 2026.04.12.)
- [52] International Atomic Energy Agency: Use of Operational Experience in Fire Safety Assessment of Nuclear Power Plants. IAEA, Austria, 2000.  
Online: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1134\\_prn.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1134_prn.pdf)  
(letöltés: 2022.04.08.)
- [53] Nuclear Energy Agency: Fire Incidents Records Exchange (FIRE) Project.  
Online: [https://www.oecd-nea.org/jcms/pl\\_24954/fire-incident-records-exchange-fire-project](https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_24954/fire-incident-records-exchange-fire-project)  
(letöltés: 2026.04.04.)
- [54] International Atomic Energy Agency: The International Chernobyl Project. IAEA, Vienna, 1991. ISBN: 92-0-129191-4.  
Online: [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub885e\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub885e_web.pdf)  
(letöltés: 2017.02.18.)
- [55] International Atomic Energy Agency: CHERNOBYL: Looking Back to Go Forward. IAEA, Vienna, 2008. ISBN: 978-92-0-110807-4.
- [56] World Nuclear Association: Chernobyl Accident 1986.  
Online: <https://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident>  
(letöltés: 2026.04.20.)
- [57] Sekimura, Naoto: Overview of the Accident in Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants. U.S. National Academy of Sciences Presentation, Washington D.C., 2011. május 26.

- Online:<https://indico.ictp.it/event/a10161/session/11/contribution/9/material/0/0.pdf> (letöltés: 2022.12.01.)
- [58] Dobor József – Kossa György – Pátzay György: Atomerőművi balesetek és üzemzavarok tanulságai II. Hadmérnök, XII. évf. 4. sz., 2017., 84–98. pp.
- [59] World Nuclear Association: Fukushima Daiichi Accident. 2020.  
Online:<https://www.world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/fukushima-accident.aspx> (letöltés: 2020.12.03.)
- [60] Lujanienė, G. – Byčenkienė, S. – Povinec, P. P. – Gera, M.: Radionuclides from the Fukushima Accident in the Air over Lithuania: Measurement and Modelling Approaches. Journal of Environmental Radioactivity, Vol. 114., 2012. december, 71–80. pp.
- [61] Woods Hole Oceanographic Institution: Fukushima Radiation in the Ocean.  
Online:<https://www.whoi.edu/multimedia/fukushima-and-radiation-in-the-ocean-how-much>  
(letöltés: 2022.03.12.)
- [62] Joint US and Japan Survey Data: Radiation Levels Near the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station.  
Online: <https://www.energy.gov/news-blog-content/situation-japan>  
(letöltés: 2017.01.23.)
- [63] International Atomic Energy Agency: The Fukushima Daiichi Accident – Technical Volume 3. IAEA, Vienna, 2015. ISBN: 978-92-0-107015-9.  
Online:<https://wwwpub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/AdditionalVolumes/P1710/Pub1710-TV3-Web.pdf> (letöltés: 2022.11.02.)
- [64] Nuclear Emergency Response Headquarters Government of Japan: Additional Report of the Japanese Government to the IAEA.  
Online:[https://www.tepco.co.jp/en/press/corpcom/release/betu11\\_e/images/110618e15.pdf](https://www.tepco.co.jp/en/press/corpcom/release/betu11_e/images/110618e15.pdf) (letöltés: 2022.11.02.)
- [65] Sato, Yasuo: The Saviors Safely Returned Home from Fukushima Mission. TEDxSeeds Conference, Yokohama, 2011.  
Online: [http://en.tedxseeds.org/conference/2011\\_conference/](http://en.tedxseeds.org/conference/2011_conference/)  
(letöltés: 2018.10.05.)

- [66] Committee on Lessons Learned from the Fukushima Nuclear Accident for Improving Safety and Security of U.S. Nuclear Plants: Lessons Learned from the Fukushima Nuclear Accident for Improving Safety of U.S. Nuclear Plants. National Academies Press, 2014. ISBN: 978-0-309-27253-7.
- [67] Atomerőmű Tűzoltóság – ATOMIX Kft.: Üzemzavarelhárításban, súlyos balesetkezelésben és nukleáris baleset-elhárításban közreműködés belső szabályzata. ATOMIX BSz-03-AT.
- [68] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: A gőzfejlesztők súlyos baleseti tápvíz-betáplálás biztosításának begyakoroltatására végrehajtott módszertani gyakorlat értékelése. 3141-028/2019, 2019.02.20.
- [69] Antal Zoltán: A sugárveszélyes területeken keletkezett tüzek oltásának taktikája az Operatív Műveletirányítási Rendszer felhasználásával. Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest, 2017.
- [70] International Atomic Energy Agency: The International Nuclear and Radiological Event Scale.  
Online: <https://www.iaea.org/sites/default/files/ines.pdf> (letöltés: 2021.02.08.)
- [71] Divós Ferenc – Kovács Tibor – Pátzay György – Raics Péter – Somlai János: Környezetmérnöki Tudástár 14. kötet – Sugárvédelem. Pannon Egyetem, Veszprém, 2011.  
Online: <http://mkweb.uni-pannon.hu/tudastar/anyagok/14-sugvedelem.pdf> (letöltés: 2018.03.20.)
- [72] Somlai János (szerk.): Sugárvédelem. 2. javított kiadás. Pannon Egyetem Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2011. ISBN: 978-615-5044-39-7.
- [73] Barótfi István: Környezettechnika. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 2000. ISBN: 963-923950-X.  
Online: <https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch01.html> (letöltés: 2020.01.20.)
- [74] Damjanovich Sándor – Fidy Judit – Szöllősi János: Orvosi biofizika. Medicina Könyvkiadó Zrt., Budapest, 2007. ISBN: 978-963-226-127-0.
- [75] Varga József – Nagy Annamária: Orvosi-biológiai izotóplaboratóriumok sugárvédelme. Debreceni Egyetem, Debrecen, 2011.  
Online: [https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0019\\_1A\\_Orvosi-biologiai-izotoplaboratoriumok\\_sugarvedelme/index.html](https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0019_1A_Orvosi-biologiai-izotoplaboratoriumok_sugarvedelme/index.html) (letöltés: 2018.03.20.)

- [76] Országos Atomenergia Hivatal: Radioaktív sugárforrások felismerése és kezelése. Online:<https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2020-08/72351.pdf> (letöltés: 2025.03.20.)
- [77] Antal-Farkas Zoltán – Barina Balázs József: Az első beavatkozók kárelhárítása sugárveszélyes környezetben. Védelem Tudomány, 9. évf. 1. sz., 2024. január, 1–10. pp.
- [78] 1. melléklet a 6/2016. (I. 24.) BM OKF utasításhoz. Online:<https://nograd.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/documents/2022-11/80094.pdf> (letöltés: 2025.03.20.)
- [79] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Átfogó Veszélyhelyzet-kezelési és Intézkedési Terv (ÁVIT) I. modul – Általános kötet. Verziószám: 9.3, Paks, 2016.02.04.
- [80] Antal Z. – Révai R. – Bérczi L.: Nukleáris baleset-elhárítás Magyarországon, különös tekintettel az egészségügyi hatásokra II. rész. Műszaki Katonai Közlöny, XXIX. évf. 4. sz., 2019., 135–155. pp.
- [81] MVM Paksi Atomerőmű Zrt. – Atomerőmű Tűzoltóság: Tűzoltási Műszaki Mentési Terv. 3. fejezet – Sugárvédelmi terv, Paks, 2016.
- [82] 1/2022. (IV. 29.) OAH rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről. Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2200001.oah> (letöltés: 2026.04.12.)
- [83] Heuel, F. – Burkhard, H. – Peter, L.: Practice-oriented Preparation of Firefighters for Radiological Emergency Situations. Strahlenschutz Praxis, 2019/4., 38–44. pp. Online:[https://www.fsev.org/fileadmin/user\\_upload/05\\_SSP/Hefte-Komplett/SSP\\_4\\_2019\\_inhalt\\_komplett.pdf](https://www.fsev.org/fileadmin/user_upload/05_SSP/Hefte-Komplett/SSP_4_2019_inhalt_komplett.pdf) (letöltés: 2020.03.20.)
- [84] International Commission on Radiological Protection: The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103, 2007. Online:[https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB\\_37\\_2-4](https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/ANIB_37_2-4) (letöltés: 2025.03.20.)
- [85] International Atomic Energy Agency: Generic Procedures for Monitoring in a Nuclear or Radiological Emergency. IAEA-TECDOC-1092, Vienna, 1999. Online:[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te\\_1092\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/te_1092_web.pdf) (letöltés: 2025.03.20.)

- [86] International Atomic Energy Agency: Generic Procedures for Medical Response During a Nuclear or Radiological Emergency. Vienna, 2024.  
Online:[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-MEDICAL-2005\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/EPR-MEDICAL-2005_web.pdf) (letöltés: 2025.03.20.)
- [87] 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról.  
Online: <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a0000016.eum>  
(letöltés: 2026.04.12.)
- [88] International Atomic Energy Agency: Accident Analysis for Nuclear Power Plants with Pressurized Water Reactors. IAEA, Vienna, 2003.  
Online:[https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1162\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1162_web.pdf)  
(letöltés: 2024.04.12.)
- [89] World Association of Nuclear Operators: Post Fukushima Commission Report. WANO, London, 2011.
- [90] Nemzeti Jelentés – A Paksi Atomerőmű célzott biztonsági felülvizsgálatáról. Országos Atomenergia Hivatal, Budapest, 2011.12.29.  
Online:<https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?OpenAgent&article=news&uid=C1257BDB00510532C125797900356FB3> (letöltés: 2019.02.18.)
- [91] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: Átfogó Veszélyhelyzet-kezelési és Intézkedési Terv Végrehajtási Utasítás. ÁVIT-VU79-v03, 2016.10.05.
- [92] Atomerőmű Tűzoltóság – ATOMIX Kft.: Üzemzavar-elhárításban, súlyos baleset-kezelésben és nukleáris baleset-elhárításban közreműködés belső szabályzata. ATOMIX BSz-03-AT.
- [93] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: A gőzfejlesztők súlyos baleseti tápvíz-betáplálás biztosításának begyakoroltatására végrehajtott módszertani gyakorlat értékelése, intézkedések a hiányosságok felszámolására. 3141-028/2019, 2019.02.20.
- [94] Európai Bizottság: Az éghajlatváltozás következményei.  
Online:[https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change\\_hu](https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_hu) (letöltés: 2024.02.12.)
- [95] Intergovernmental Panel on Climate Change: Climate Change 2023: Synthesis Report. Geneva, 2023. DOI: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.  
Online: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/> (letöltés: 2024.02.18.)

- [96] Európai Bizottság: Technical Guidance on the Climate Proofing of Infrastructure in the Period 2021–2027.  
Online:<https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52021XC0916%2803%29> (letöltés: 2024.02.18.)
- [97] Czirják, R. – Horányi, A. – Bartholy, J. et al.: Climate of the Carpathian Region Simulated by the ALADIN-Climate Model. Theoretical and Applied Climatology, 2011.  
Online:<https://www.met.hu/en/rolunk/tevekenysegek/klimamodellezes/modellkiserletek/index.php> (letöltés: 2024.02.20.)

## 12. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

LEKTORÁLT KÖNYV, TANKÖNYV, JEGYZET (ONLINE IS)

Magyar nyelvű könyvfejezet

- [1] Tóbi József, Barina Balázs József: Nehéz tárgyak, sérült személyek mozgatása  
Megjelenés helye: Nehéz tárgyak mozgatása egyszerű eszközökkel  
Tanulmánykötet, kiadja Tolna Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság, Paks  
2021. ISBN 978-615-00-7435-1; pp. 115-132.

HAZAI MEGJELENÉSŰ LEKTORÁLT FOLYÓIRATBAN

Magyar nyelvű cikk MTA A-B kategóriás folyóiratban

- [2] Barina Balázs József: Atomerőművek fejlődése a generációváltások tükrében  
Megjelenés helye: Hadmérnök Katonai Műszaki Tudományok Online Folyóirata;  
ISSN 1788-1929 17. évfolyam (2022) 2. szám pp. 99-112.
- [3] Barina Balázs József: A fukushimai atomerőműben történt súlyos baleset kezelése  
Megjelenés helye: Műszaki Katonai Közlöny Hadtudományok és a katonai  
műszaki tudományok Online Folyóirata; ISSN 2063-4986 33. évfolyam (2023) 3.  
szám pp. 113–134.

Idegen nyelvű cikk MTA C-D kategóriás folyóiratban

- [4] Barina Balázs József: First response in radiological emergency situations  
Megjelenés helye: Polgári Védelmi Szemle; ISSN 1788-2168 17. évfolyam  
(2025) pp. 55-71

Magyar nyelvű cikk MTA C-D kategóriás folyóiratban

- [5] Antal-Farkas Zoltán; Barina, Balázs József: Az első beavatkozók kárelhárítása  
sugárveszélyes környezetben  
Megjelenés helye: Védelem Tudomány Katasztrófavédelmi Online Tudományos  
Folyóirat; ISSN 2498-6194 9. évfolyam 1. szám (2024) pp. 1-10.

- [6] Dobor József; Pátzay György; Szűcs-Vásárhelyi Nóra; Serfőző Kálmán; Barina Balázs: Environmental Pollution Resulting from Hazardous Plant Pollution, its Characterization from a Disaster Management Point of View, and a Summary of the Lessons Learned from the Case  
Megjelenés helye: Védelem Tudomány Katasztrófavédelmi Online Tudományos Folyóirat; 7. évfolyam (2022), 3. szám pp. 409-431.

Magyar nyelvű egyéb szakmai folyóiratban

- [7] Barina Balázs József: Magyarországi nukleáris reaktorok katasztrófavédelmi szempontú bemutatása  
Megjelenés helye: Védelem Tudomány Katasztrófavédelmi Online Tudományos Folyóirat; ISSN 2498-6194 7. évfolyam (2022) 4. szám pp. 112-138.

HAZAI SZAKMAI KONFERENCIA KIADVÁNYÁBAN MEGJELENT (ONLINE IS)

Saját nyelvű konferenciaközlemény

- [8] Barina Balázs; Szendi Rebeka; Kiss Noémi: Gamma-sugárzó radioaktív izotópok alkalmazásával kapcsolatos problémakör ismertetése  
Megjelenés helye: Polgári Védelmi Szemle; ISSN 1788-2168 16. évfolyam (2024) különszám pp. 119-134.
- [9] Dobor József; Barina Balázs; Pátzay György: A CBRN eseményekből adódó kihívások napjainkban  
Megjelenés helye: Polgári Védelmi Szemle; ISSN 1788-2168 16. évfolyam (2024) különszám pp. 217-234.

HAZAI SZAKMAI KONFERENCIA KIADVÁNYÁBAN MEGJELENT (ONLINE IS)

Idegen nyelvű absztrakt/poszter

- [10] Barina Balázs József: The Radiological Accident in Yanango and the Three Mile Island accident reinterpreted  
Megjelenés helye: II. South America, South Europe International Conference 2022. Budapest, Hungary ISBN: 9786158205412; p. 43.

- [11] Barina Balázs József: The versatile metal uranium and its multiple uses  
Megjelenés helye: 2nd Fire Engineering & Disaster Management Prerecorded International Scientific Conference Védelem online – cooperated with the University of Public Service 2022. Budapest, Hungary ISBN:9786150155555; pp. 158-161.
- [12] Barina Balázs József: Development of Severe Accident Management Methods for Future Nuclear Power Plants in South America  
Megjelenés helye: III. South America, South Europe International Conference 2023. Budapest, Hungary ISBN: 9786156457196; pp 66-67.
- [13] Barina Balázs József: First response in radiological emergency situations  
Megjelenés helye: 3rd Fire Engineering & Disaster Management Prerecorded International Scientific Conference Védelem online – cooperated with the University of Public Service 2023. Budapest, Hungary ISBN: 9786150181042; pp 144-148.
- [14] Barina Balázs József: The Impact of Major Nuclear and Radiological Incidents on Primary Intervention  
Megjelenés helye: IV. South America International Conference 2024. Budapest, Hungary, ISBN: 9786150198682 pp. 36-36.
- [15] Barina Balázs József: The Effects of Climate Change on the Primary Intervention Tasks of Fire Departments in Hungary and South America  
Megjelenés helye: V. South America International Conference 2025. Budapest, Hungary, ISBN: 9789636880361; p 30.
- [16] Barina Balázs József; Dobor, József: Characterization, use and hazards of chemicals with dangerous properties that may occur in nuclear power plants  
Megjelenés helye: Fire Engineering & Disaster Management Prerecorded International Scientific Conference 2021. Budapest, Hungary, ISBN: 9786150113623; pp 106-107.

HAZAI SZAKMAI KONFERENCIA KIADVÁNYÁBAN MEGJELENT (ONLINE IS)

Magyar nyelvű absztrakt/poszter

- [17] Barina, Balázs József: Atomerőművek Európában napjainkban  
Megjelenés helye: Természeti Katasztrófák Csökkentésének Világnapja Nemzetközi Tudományos Konferencia 2021. Budapest, Magyarország, ISBN 978-615-01-3641-7 pp 275-278.

## 13. MELLÉKLETEK

### 13.1. ÁBRAJEGYZÉK

1. ÁBRA: TERMIKUS REAKTOROK ÁLTALÁNOS FELÉPÍTÉSE.....	33
2. ÁBRA: NUKLEÁRIS REAKTOROK OSZTÁLYOZÁSA .....	34
3. ÁBRA: NUKLEÁRIS REAKTORTÍPUSOK AZ EU-BAN.....	36
4. ÁBRA: ATOMERŐMŰVI GENERÁCIÓK .....	37
5. ÁBRA: A PAKSI ATOMERŐMŰ FŐ BERENDEZÉSEI .....	40
6. ÁBRA: VVER-440/213 REAKTORTARTÁLY ÉS PIHENTETŐ MEDENCE .....	41
7. ÁBRA: PAKSI ATOMERŐMŰ REAKTORCSARNOKA.....	43
8. ÁBRA: PAKSI ATOMERŐMŰ TURBINAGÉPHÁZA .....	44
9. ÁBRA: PAKS 2 ATOMERŐMŰ MŰKÖDÉSI SÉMA .....	45
10. ÁBRA: VVER 1200 PRIMERKÖR FELÉPÍTÉSE .....	46
11. ÁBRA: A CSERNOBILI IV. BLOKK KERESZTMETSZETI RAJZA A ROBBANÁST KÖVETŐN.....	88
12. ÁBRA: A BEAVATKOZÁSHOZ HASZNÁLT GÉPJÁRMŰ FECSKENDŐK.....	90
13. ÁBRA FUKUSIMA ELÖNTÉS.....	93
14. ÁBRA: FUKUSIMA: REAKTORÉPÜLET METSZETE .....	94
15. ÁBRA: A FUKUSAMAI SZENNYEZÉS KOMPLEX TERJEDÉSE .....	95
16. ÁBRA: TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁS FUKUSHIMÁBAN .....	96
17. ÁBRA: KIJELELT VÍZSZERZÉSI ÉS TELEPÍTÉSI HELYEK FUKUSIMÁBAN .....	98
18. ÁBRA: BEAVATKOZÁST HÁTRÁLTATÓ TÉNYEZŐK ÉS MEGOLDÁSI INTÉZKEDÉSEK A BEAVATKOZÓK NYILATKOZATAI ALAPJÁN.....	99
19. ÁBRA: SBK DÍZEL GENERÁTOR VONTATÁS .....	100
20. ÁBRA AZ INES SKÁLA SZERINTI ESEMÉNYEK.....	107
21. ÁBRA: A KÜLÖNBÖZŐ SUGÁRZÁSOK ÁTHATOLÓ KÉPESSÉGÉRŐL .....	108
22. ÁBRA: A SUGÁRTERHELÉS HATÁSA AZ EMBERI SZERVEZETRE .....	109
23. ÁBRA: BEAVATKOZÓI DÓZISKORLÁTOK ÉS KÜSZÖBDÓZISOK INTERPRETÁCIÓJA.....	111
24. ÁBRA: KÜLSŐ ÉS BELSŐ SUGÁRSZENNYEZÉS BEHATÁSI ÚTVONALAI.....	112
25. ÁBRA: SUGÁRFORRÁSOK ÉS TARTÓK .....	114
26. ÁBRA: RADIOLÓGIAI VESZÉLYHELYZETEK.....	119
27. ÁBRA: RADIOLÓGIAI VESZÉLYHELYZET ESETÉN AZ ELSŐ BEAVATKOZÓK FELADATAI .....	121
28. ÁBRA: DÓZISKORLÁTOK .....	127
29. ÁBRA: ELSŐ BEAVATKOZÁS ÁLTALÁNOS HELYSZÍNRAJZA.....	128
30. ÁBRA: TL DOZIMÉTER MŰKÖDÉSE .....	129
31. ÁBRA: MGP DMC 2000s DOZIMÉTER MŰKÖDÉSE .....	130
32. ÁBRA: LB 124 SCINT HORDOZHATÓ SZENNYEZŐDÉSMONITOR MŰKÖDÉSE .....	132
33. ÁBRA: ARGOS SZEMÉLYI SZENNYEZETTSÉGELLENŐRZŐ KAPU.....	134
34. ÁBRA: SUGÁRSÉRÜLTEK SZAKELLÁTÁSRA KIJELELT INTÉZMÉNYEK MAGYARORSZÁGON.....	136

35. ÁBRA: SÚLYOS NUKLEÁRIS BALESET KIALAKULÁSI LÁNC.....	144
36. ÁBRA: SÚLYOS BALESETEK KEZELÉSÉT BEFOLYÁSOLÓ TÉNYEZŐK .....	147
37. ÁBRA: SBK JÁRMŰVEK ÉS MÁLHÁZOTT ESZKÖZEIK.....	148
38. ÁBRA: EGYÉB FELSZERELÉSEK.....	149
39. ÁBRA: PAKSI ATOMERŐMŰ ALTERNATÍV HŰTŐKÖZEG BETÁPLÁLÁS VÍZNYERŐ HELYEI .....	150
40. ÁBRA: VÍZNYERÉSI HELYEK ÉS KÜLSŐ VÍZBETÁPLÁLÁSI PONTOK .....	150
41.ÁBRA: VÍZSZERZÉSI HELYEK ÉS SZÁLLÍTHATÓ FOLYADÉK MENNYISÉGE .....	152
42.ÁBRA: SBK GYAKORLATOK VÉGREHAJTÁSÁT HÁTRÁLTATÓ TÉNYEZŐK ÉS JAVÍTÓ MEGOLDÁSOK .....	153
43. ÁBRA ATOMERŐMŰ TŰZOLTÓSÁG ALAPFELADATAI.....	154
44. ÁBRA ATOMERŐMŰ SPECIÁLIS TEVÉKENYSÉGE .....	155
45.ÁBRA: KLÍMAVÁLTOZÁS HATÁSAI A TŰZOLTÓI BEAVATKOZÁSOKRA .....	158
46. ÁBRA: KLÍMAVÁLTOZÁS KOMPLEX HATÁSAI MAGYARORSZÁGON .....	162
47.ÁBRA: TŰZVESZÉLYESSÉG, ERDŐ ÉS VEGETÁCIÓTŰZEK KOCKÁZATI TÉRKÉPE.....	164
48. ÁBRA: MODULÁRIS TÁVOLSÁGI VÍZSZÁLLÍTÓ RENDSZER.....	167
49. ÁBRA: A DISSZERTÁCIÓ HIPOTÉZISEINEK, EREDMÉNYEINEK BEMUTATÁSA.....	175
50. ÁBRA: INTEGRÁLT TŰZOLTÓI BEAVATKOZÓI MODELL.....	181

## 13.2. KOHÉZIÓS TÁBLÁZAT

Sz.	TUDOMÁNYOS PROBLÉMA	HIPOTÉZIS	KUTATÁSI CÉLKITŰZÉS	KUTATÁSI MÓDSZER	KÖVETKEZTETÉS	HIPOTÉZIS IGAZOLÁSA/ ELVETÉSE	ÚJ Tudományos EREDMÉNY
1.	Fel kell készülni olyan alapvetően váratlan és összetett eseménysorok kialakulására, melyek veszélyeztethetik a nukleáris biztonságot és a villamosenergia-ellátást.	Feltételezem, hogy a nukleáris és radiológiai káreseményeinek vizsgálati tapasztalatai nem kerültek egységes, beavatkozás-taktikai szemléletű rendszerbe foglalásra.	Azon hiányosságok és fejlesztési irányok azonosítása, amelyek a beavatkozó tevékenység szabályozásának és eszközrendszerének továbbfejlesztését indokolják.	Szakirodalom és dokumentumelemzés, nemzetközi nukleáris események összehasonlító vizsgálata, esettanulmány-elemzés, beavatkozó döntéstámogatási folyamatok funkcionális elemzése.	Azonosíthatók azok a hiányosságok és fejlesztési irányok, amelyek indokolják az első beavatkozó képességek és tartalékrendszerek fejlesztését.	Az 1. hipotézis a szakirodalmi és eseményelemzés eredményei alapján igazolható.	Javaslatot tettem az első beavatkozó kapacitások, speciális műszaki képességek és veszélyhelyzeti tartalékrendszerek kialakítására és fejlesztésére.
2.	A nukleáris és radiológiai baleseti eseménysorok személyi, műszaki és tárgyi feltételei, valamint a szervezeti intézkedések jelenleg beavatkozó szempontból nem tipizáltak és nem egységes rendszer szerint kezeltek.	Feltételezem, hogy a nukleáris eredetű káresemények lefolyása tipizálható és ezekhez rendelhetők standardizálható beavatkozási követelmények.	A radiológiai és nukleáris események elemzése alapján tipizált eseménymodellek kialakítása, valamint a beavatkozáshoz szükséges feltételrendszer meghatározása és rendszerbe foglalása.	Nemzetközi és hazai nukleáris események strukturált eseményelemzése, standardizált beavatkozási követelmények meghatározását támogató összehasonlító elemzés.	A vizsgálatok alapján a nukleáris események tipizálhatók, és meghatározhatók az azokhoz kapcsolódó standardizált beavatkozási követelmények.	A 2. hipotézis az eseménymodellek kialakítása és a rendszerbe foglalás alapján igazolható.	Kidolgoztam a tipizált eseménymodellekhez kapcsolódó személyi, műszaki és szervezési követelményrendszert.

3.	Az iparbiztonsági szempontból kiemelten kezelendő nukleáris létesítmények működése során indokolt a technológiai veszélyforrások feltárása és a beavatkozási képességek fejlesztése.	Feltételezem, a beavatkozás hatékonysága közvetlen összefüggésben áll a békeidőben kialakított speciális kapacitásokkal és a veszélyhelyzeti tartalékokkal.	A radiológiai és nukleáris események elemzése alapján a beavatkozáshoz szükséges személyi, műszaki és szervezési feltételrendszer meghatározása és rendszerbe foglalása.	Műveleti modellezés, nukleáris létesítményi veszélyforrások elemzése, gyakorlati tapasztalatok és gyakorlatértékelések feldolgozása, továbbá beavatkozási képességek hatékonyságvizsgálat a.	A speciális kapacitások és tartalékrendszerek megléte közvetlenül hozzájárul a műveleti hatékonyság növeléséhez és a károsító hatások csökkentéséhez.	A 3. hipotézis a modellezési eredmények alapján igazolható.	Integrált beavatkozási modellt dolgoztam ki, amely alkalmas a műveleti hatékonyság növelésére és a beavatkozási sugárterhelés csökkentésére.
4.	A nukleáris és radiológiai káresemények során a beavatkozók sugárterhelésének minimalizálása és a műveleti hatékonyság növelése kiemelt jelentőségű, azonban az alkalmazott modellek nem egységeselek.	Feltételezem, hogy egy integrált, tipizált beavatkozási modell alkalmazásával csökkenthető a beavatkozók sugárterhelése és növelhető a műveleti hatékonyság.	A nukleáris létesítmények beavatkozási gyakorlatának, vizsgálata alapján integrált döntéstámogató modell kidolgozása.	Összehasonlító biztonsági elemzés, döntéstámogató és integrált beavatkozási modellezés, sugárterhelési és műveleti hatékonysági vizsgálatok, szimulációs alapú validáció, valamint gyakorlati tapasztalatokra épülő funkcionális értékelés.	Az integrált beavatkozási modell alkalmazásával javítható a műveleti koordináció és csökkenthető a beavatkozási sugárterhelés.	A 4. hipotézis a modellezési és validációs eredmények alapján igazolható.	Integrált döntéstámogató és beavatkozást segítő modellt dolgoztam ki a nukleáris és radiológiai káresemények kezelésére.