

NEMZETI  
KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM  
Katasztrófavédelmi Intézet

Pátzay György – Dobor József

# IPARI TEVÉKENYSÉGEKBŐL EREDŐ VESZÉLYFORRÁSOK ÉS ELHÁRÍTÁSUK

*Egyetemi jegyzet*



Budapest, 2016

NEMZETI KÖZSZOLGÁLATI EGYETEM

**Szerzők**

Dr. Dobor József PhD  
tű. alezredes, egyetemi adjunktus  
NKE Katasztrófavédelmi Intézet, Iparbiztonsági Tanszék

Prof. Dr. Pátzay György PhD  
egyetemi tanár  
NKE Katasztrófavédelmi Intézet, Iparbiztonsági Tanszék

**Szakmai lektor**

Prof. Dr. Bleszity János ny. tű. altábornagy  
egyetemi tanár, intézetvezető  
NKE Katasztrófavédelmi Intézet

© A szerzők, 2016

Kiadó: NKE Szolgáltató Nonprofit Kft.  
Felelős kiadó: Hegyesi József ügyvezető igazgató  
Olvasószerkesztő: Kutas Éva  
Tördelés: Corrigendum Kft.

ISBN 978-615-5527-92-0

# TARTALOMJEGYZÉK

---

<b>BEVEZETÉS</b>	<b>6</b>
<b>1. IPARI TEVÉKENYSÉG ÁLTAL OKOZOTT VESZÉLY FOGALMA, CSOPORTOSÍTÁSA</b>	<b>8</b>
1.1 A veszély fogalma	9
1.2 A hiba fogalma	11
1.3 A kockázat fogalma	11
1.4 A katasztrófa meghatározása	16
1.5 Veszély és kockázat fogalmak ipari folyamatokban	18
1.6 Ipari veszélyek csoportosítása	19
1.7 Ipari folyamatok biztonsága	24
1.8 Ipari folyamatok veszélykezelése [4]	29
1.9 Kockázatelemzés, kockázatkezelés	36
1.10 Következményanalízis	42
1.11 Veszélyes üzemek elfogadható kockázatainak kérdései	43
<b>2. A VEGYIPAR MINT RENDKÍVÜL VESZÉLYES IPARÁG</b>	<b>48</b>
2.1 Potenciális veszélyforrások a vegyiparban	48
2.2 Kémiai biztonság	49
2.2.1. REACH/GHS/CLP	51
2.2.2. Veszélyes anyagok az emberek közelében	54
2.2.3. Toxikológiai ismeretek és fogalmak összefoglalása	57
2.2.4. A toxikológia gyakorlati fontosságának bemutatása a higany és vegyületei példáján	63
2.2.5. Néhány életszerű probléma a CMR anyagokkal kapcsolatban	64
2.3 Az égés és a robbanás előfordulási veszélyességének bemutatása ipari példákon keresztül	66
2.3.2. Levegő és szilárd anyagok keverékének égése	67
2.3.3. Ködrobbanás	69
2.4 A biztonságos munkakörülmények kialakítása	70
<b>3. ATOMERŐMŰVI KOCKÁZATOK</b>	<b>72</b>
3.1 Kockázat és elviselhető kockázat az atomenergia-iparban	72
3.2 Az atomerőművi radioaktív sugárzással kapcsolatos kockázatok meghatározása	79
3.3 A jelenleg üzemelő II. generációs és a most építésre kerülő III. és III+. generációs atomerőművek biztonsági berendezései	87
<b>4. MIKROORGANIZMUSOK ÁLTAL OKOZOTT VESZÉLYEK</b>	<b>99</b>
4.1 A víz mint a fertőzés közvetítő közege	101
4.2 Az élelmiszerek által terjedő fertőzések	102
4.3 A talaj által közvetített fertőzések	103

<b>5. VÍZSZENNYEZÉSEK</b>	<b>105</b>
5.1 A klórozás története, a víz mikrobiológiai tisztítása	108
5.2 Vizek olajszennyezése	114
<b>6. LEVEGŐSZENNYEZÉS</b>	<b>118</b>
6.1 A szennyező anyagok terjedése a környezeti elemekben	119
6.1.1. Emisszió	119
6.1.2. Transzmisszió	120
6.1.3. Immisszió	121
6.1.4. Tartózkodási idő és öntisztulás	122
6.1.5. A gyakrabban előforduló perzisztens vegyületek rövid ismertetése	122
<b>7. ÜZEMZAVAROK, BALESETEK MEGELŐZÉSE A FOLYAMATOK BIZTONSÁGI KEZELÉSÉVEL</b>	<b>127</b>
7.1 Az ipari folyamatok biztonsági kezelésének elemei	127
7.2 Megelőzés és kárenyhítés	132
7.2.1. A megelőzés alapelvei	132
7.2.2. A kárenyhítés alapelvei	135
7.3 Tüzek és robbanások kárenyhítési módszerei	139
7.4 Tűz és robbanás kárenyhítésének tervezése és kivitelezése	141
<b>8. IPARI BALESETEK ESETTANULMÁNYAI ÉS TANULSÁGAI</b>	<b>143</b>
8.1 Vegyi baleset Bhopálban, Indiában	145
8.2 Robbanások és tűz egy petrokémiai üzemben, Mexikóvárosban	148
8.3 Ismeretlen eredetű járvány kitörése Angolában, Afrikában	150
8.4 Szénhidrogén-szállító tartályhajó balesete Galíciában, Spanyolországban	151
8.5 Robbanás a toulouse-i műtrágyagyárban, Franciaországban	153
8.6 Együtt szállított, összeférhetetlen vegyi anyagok miatti vonatrobbanás Neyshaburban, Iránban	155
8.7 Vegyi fegyver (harcászati anyag) szándékos felhasználása Tokióban, Japánban	157
8.8 Ivóvíz-szennyeződés vegyi üzemben történt robbanást követően a Songhua folyónál, Kínában	159
8.9 Illegális hulladéklerakó (mérgező anyagokkal) Abidjanban, Elefántcsontparton	160
8.10 Élelmiszer elszennyezése rovarirtó szerrel a Bohol-szigeten, a Fülöp-szigetek közelében	161
8.11 Tömeges endoszulfán-mérgezés Jabalpurban, Indiában	162
8.12 Tömeges mérgezés köhögés elleni szirup dietilén-glikol-szennyezése miatt, Panamában	164
8.13 Vegyipari veszélyes létesítményből klórgáz kiszabadulása, Baton Rouge, Egyesült Államok	165
8.14 Robbanás és tűz egy olajtároló telepen Hertfordshire-ben, Angliában	167
8.15 Veszélyes üzemből gáz-halmazállapotú, szennyező anyag (dioxin) kijutása a környezetbe, Seveso, Olaszország	169
8.16 Ólommérgezés Szenegálban	171
8.17 Robbanás egy tűzijátékgyárban, Enschede, Hollandia	173
<b>1. MELLÉKLET – VESZÉLYES ANYAGOK FELDERÍTÉSÉNÉL HASZNÁLT KONCENTRÁCIÓK ÖSSZEFOGLALÁSA</b>	<b>174</b>
<b>2. MELLÉKLET – GYAKRAN ELŐFORDULÓ KOMPONENSEK KÜLÖNBÖZŐ HATÁRÉRTÉKEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA</b>	<b>176</b>
<b>3. MELLÉKLET – VEGYI, BIOLÓGIAI ÉS RADIOLÓGIAI VESZÉLYEK FOGALMAINAK ÉS PÉLDÁINAK ÖSSZEFOGLALÁSA</b>	<b>177</b>

<b>4. MELLÉKLET – EPA VÉDELMI SZINTEK ISMERTETÉSE</b>	<b>180</b>
<b>5. MELLÉKLET – A KÁRHELYSZÍN VÁZLATA VEGYI, BIOLÓGIAI VAGY RADIOLÓGIAI FELDERÍTÉS-BEAVATKOZÁS ESETÉN</b>	<b>182</b>
<b>6. MELLÉKLET – GYAKRABBAN ELŐFORDULÓ VESZÉLYES ANYAGOK FORRÁSAI ÉS HATÁSAI</b>	<b>183</b>
<b>7. MELLÉKLET – MENTESÍTÉS</b>	<b>186</b>
<b>8. MELLÉKLET – IPARI ÜZEMEKBEN ELŐFORDULÓ GÁZ-HALMAZÁLLAPOTÚ VESZÉLYES ANYAGOKKAL KAPCSOLATOS INFORMÁCIÓK ÖSSZEFOGLALÁSA</b>	<b>187</b>
<b>9. MELLÉKLET – VEGYI ANYAGOK TÁROLÁSÁHOZ GYAKRABBAN HASZNÁLT FŐBB TARTÁLYTÍPUSOK ÖSSZEFOGLALÁSA</b>	<b>206</b>
<b>10. MELLÉKLET – KÉMIAI SZÁMÍTÁSOKHOZ SZÜKSÉGES SEGÉDLET</b>	<b>209</b>
<b>IRODALOMJEGYZÉK</b>	<b>216</b>

## BEVEZETÉS

---

Az elmúlt évtizedekben számos ipari baleset történt Magyarországon és a szomszédos, illetve a távolabbi országokban is, melyek egy része veszélyes anyaggal kapcsolatos tevékenység közben következett be.

Életvitelünk jelenlegi színvonalon való tartásához elengedhetetlen az ipari tevékenységek során gyártott termékek és szolgáltatások folyamatos felhasználása. Ezen belül a gyártások, szállítások, tárolások során nagy mennyiségű veszélyes, vegyi, biológiai és sugárzó anyaggal történő műveletek szükségesek. Mindezen anyagok és tevékenységek fokozott veszélyhelyzeteket teremtenek és üzemzavari, illetve baleseti kockázatot jelentenek. Jegyzetünk fő célkitűzése az, hogy megismertesse a hallgatót az ipari tevékenységek során megjelenő különböző veszélyekkel, azok előfordulási jellemzőivel, a veszélyek felderítésének módszereivel, azok előzetes kiküszöbölésével és a vonatkozó kockázatok elfogadható szintre történő csökkentésével. Célunk ezenfelül a kockázatok felderítésére, becslésére és csökkentésére alkalmas módszerek rövid ismertetése is. A jegyzeten belül kiemelt szerepet kapott a vegyipar és a vegyiparban előforduló veszélyek ismertetése, mert ebben az iparágban az összes fontos fizikai, biológiai, kémiai, mechanikai és egyéb veszélyforrás fellelhető, és bemutatható a többi iparág-ra jellemző esetekben.

Az első fejezetben alapfogalmakkal igyekszünk megismertetni az olvasót, így a veszély a hiba, a kockázat, az egyéni és társadalmi kockázat, a baleset és a katasztrófa fogalmával, jellemzőivel. Ezután az ipari folyamatok során jelentkező veszély és kockázat részletes tárgyalása következik. Tárgyaljuk az ipari folyamatok veszélykezelésének jellemzőit, a veszélyazonosító és -értékelő technikákat, a kockázatelemzés és -kezelés lépéseit, a Dow és Mond indexek meghatározását, valamint a következményanalízis jellemzőit. Ismertetjük a veszélyes üzemek elfogadható kockázataival és a veszélyhelyzetre való felkészülés kritériumaival kapcsolatos ismereteket is.

A második fejezet tárgyalja a vegyipar mint rendkívül veszélyes iparág jellemzőit, az ott jelentkező veszélyeket, a vegyi anyagok veszélyes jellemzőit, azonosítási és jelölési rendszereit, a vegyi anyagok mérgezési és toxikológiai jellemzőit.

A harmadik és negyedik fejezetben a nehezen érzékelhető atomerőművi és mikrobiológiai veszélyeket és kockázatokat tárgyaljuk, majd az ötödik fejezet a környezetben fontos vízszennyezésekkel kapcsolatos veszélyekkel foglalkozik röviden.

A hatodik fejezetben az ipari tevékenységből eredő levegőszennyezések jellemzőit tárgyaljuk.

A hetedik fejezet tárgyalja az üzemzavarok és balesetek megelőzésével és a bekövetkezett esemény kárenyhítésével kapcsolatos ismeretanyagot.

A nyolcadik fejezetben 17 ismert és kevésbé ismert ipari baleset legfontosabb ismeretanyagát foglaltuk össze, mintegy tanpéldaként, esettanulmányként.

A jegyzetet záró tíz mellékletben a vegyi szennyezés felderítésénél használt koncentrációkról, az USA EPA környezetszennyezés leküzdésére hivatott ügynökségének védelmi szintjeiről, az ipari üzemekben előforduló veszélyes anyagok csoportosításáról nyújtunk információt, és a kémiai számításokhoz szükséges segédletet adunk.

A katasztrófavédelem szak mindhárom szakirányán tanuló hallgatók számára rendkívüli fontosságú, hogy a fizika és a kémia alapjait, továbbá alkalmazásait megfelelő mértékben elsajátítsák. A hallgatók tanulmányaik során mind elméleti, mind pedig gyakorlati oktatáson keresztül is kapcsolatba kerülnek a természettudományok iparral összefüggő területével. A diploma megszerzését követően olyan szakmai szemmel tekintsenek majd a veszélyes üzemekben, veszélyes anyagokkal kapcsolatos esetekre, hogy magas színvonalú döntés meghozatalára legyenek képesek. Egy katasztrófavédelmi szakember számára – a jogszabályokon túl – a természettudományok ismerete és célszerű, tudatos használata a döntéshozatalnál elengedhetetlen.

A jegyzet témájának kidolgozásához a kémia, a vegyészet, a környezetvédelem és néhány interdiszciplináris tankönyv, szakkönyv, jegyzet és oktatási segédlet került felhasználásra, magas színvonalú egyetemi szakemberek műveiből. A felhasznált irodalom a jegyzet végén került felsorolásra.

Budapest, 2015. június 21.

*Pátzay György és Dobor József*

# 1. IPARI TEVÉKENYSÉG ÁLTAL OKOZOTT VESZÉLY FOGALMA, CSOPORTOSÍTÁSA

---

Egy bizonyos, a körülöttünk lévő világ állandó változásban van. Ezek a **változások veszélyeket is hordoznak magukban**. Gondolhatunk a következőkre [1]:

- a galaxisok világában: táguló világegyetem, vörös bolygók, kvazárok, fekete lyukak stb.;
- a Naprendszerben, bolygóközi térben: meteoritok, napszél, üstökösök stb.;
- a Földön: ózonlyuk, vulkánok, tornádó (tájfún) stb.;
- az ország területén: árvíz, belvíz, földrengés, de akár gazdasági hatások, háború, vállalkozás/család működésében: természeti és elemi csapások: tűz, vihar, jégverés stb., mások szándékos, vagy gondatlan kártevésai: betörés, lopás, rablás, csalás, vagy sikkasztás stb.;
- egyén számára: baleset, halál, munkanélküliség stb.

A fenti nagyságrendeket foglalja össze az 1. ábra.

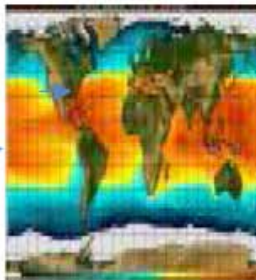
Galaxisok világa , univerzum



Naprendszer



Föld



Magyarország



Munkahely, vállalkozás



A család



Személy



1. ábra. A veszélyek rendszerekhez rendelhetők [1]



Ezeket a veszélyeket **a bennünket érő hatások szerint mérlegelhetjük**. Így veszélyes hatások fenyegetik egészségünket, életünket, érinthetik anyagi javainkat, a természeti környezetet és a társadalmi viszonyainkat is.

A biztonság rendszerszemléletű megközelítéséhez először értelmeznünk kell még néhány alapfogalmat.

## 1.1 A VESZÉLY FOGALMA

A veszély általában **kedvezőtlen, nemkívánatos, fenyegető vagy pusztító jelenség bekövetkezésének potenciális lehetősége**. A veszély az, ami rombolással fenyeget, nehezen pótolható, vagy pótolhatatlan veszteséget, egészségkárosodást, életminőség-romlást, életveszélyt, környezetszennyezést, vagy pusztulást jelent.

Veszélyt rejt magában például: a természet (tornádó, tájfun, földrengés stb.), közlekedés (hajózás, repülés, gépjárműforgalom stb.), energiatermelés (atom- és szénterőművek stb.), gazdálkodás (mozgó alkatrészek, maró folyadékok, zaj stb.). A veszély ugyanakkor – a védelem megteremtésére készítve az embereket – a fejlődés, a tökéletesítés előmozdítója! Néhány veszélyre utaló képet napi életünk során is felfedezhetünk. [1]



2. ábra. Veszélyt jelző képek [1]

### Veszélyforrások csoportosítása

*Technikai eredetű veszélyek csoportosítása érvényesülés szerint*

Típus	Megnyilvánulás	Védekezés
<b>potenciális</b>	meghibásodás, elhasználódás, üzemzavar, baleset, rongálás, emisszió, anyag-, gyártási- és üzemeltetési hiba	tervezés, karbantartás, ellenőrzés, felújítás, üzemviteli utasítások, biztonságvédelem, környezetvédelem
<b>látens</b>	mérgezés, rákkeltés, fertőzés, villamos érintés, ionizáló sugárzás, nem ionizáló sugárzás, balesetveszélyes munka	védőeszközök, kezelési szabályok, szabványok, érintésvédelem, sugárvédelem, munkavédelem
<b>permanens</b>	munkahelyi ártalmak, környezeti ártalmak, stressz, lakóhelyi ártalmak	egészségvédelem, ellenőrzés, környezetvédelem, életmód
<b>transzponált</b>	technikai vertikum, gazdasági, politikai áttétel	tervezés, gazdaságpolitika, demokrácia

1. táblázat. Veszélyforrások csoportosítása [1]

*Potenciális veszélyek*

<b>Veszély eredete</b>	<b>Aktualizáló ok</b>
<b>Természeti erők és hatások</b>	Méretezésen felüli igénybevétel
<b>Rossz konstrukció</b>	Szakértelem hiánya Felületesség, új konstrukció Előre nem tervezett hatások, körülmények
<b>Anyaghiba</b>	Selejtgyártás Rossz anyagválasztás, öregedés
<b>Gyártási hiba</b>	A gyártási technológia nem megfelelő
<b>Üzemeltetési hiba</b>	Szakszerűtlen használat Fegyelmezetlenség, alkalmatlanság, hanyagság, rossz szervezés Hiányos karbantartás, téves működés Emberi tévedés
<b>Szándékos károkozás</b>	Szabotázs, terrorizmus, háború
<b>Üzemi baleset</b>	Véletlen cselekedet Fegyelmezetlenség Technikai okok

2. táblázat. Potenciális veszélyek [1]

*Közvetlen veszélyek csoportosítása forrás és hatás szerint*

<b>Veszélyes anyagok, termékek</b>		
<b>Fizikai</b>	<b>Kémiai</b>	<b>Biológiai</b>
Tüzelő-, robbanó-, radioaktív és éghető anyagok	Korrozív, maró anyagok, oldószerek, aeroszolok	Ingeranyagok, mérgek, rákkeltő, mutagén stb. anyagok
<b>Energiaforrások, berendezések és technológiák</b>		
<b>Hő</b>	<b>Mechanikai</b>	<b>Elektromos</b>
Kazánok, reaktorok, hőcserélők stb.	Nyomástartók, hidraulikus rendszerek stb.	Generátorok, áramforrások stb.
<b>Tevékenységek</b>		

3. táblázat. Közvetlen veszélyek csoportosítása [1]



3. ábra. A veszélyek típusai (Forrás: a szerzők által készítve)

A veszélyeket célszerű az egyszerűtől a bonyolult felé haladva vizsgálni:  
 mechanikai-fizikai → fizikai-kémiai → biológiai → pszichológiai, társadalmi, természeti részekre bontani.

## 1.2 A HIBA FOGALMA

**A hiba a tárgyasult, megvalósult, bekövetkezett veszély!** Például: a kritikus paraméter (hő, nyomás stb.) változása, meghibásodott alkatrész, a hibás üzemmód, üzemzavar, rossz helyzetmegítélés, helytelen reagálás, nem rendeltetésszerű használat, elégtelen tudás, a technika ismeretének hiánya mind hibát okoz.

Például a biztosítási gyakorlat szerint a hiba alapvetően háromféle lehet:

- anyaghiba 10% alatt,
- eszközhiba 30% alatt,
- **emberi HIBA 60% felett!**

Valójában anyaghiba nincs. Az ember nem ismeri eléggé az anyagot, nem megfelelően bánik vele, a hiba ezért következik be. Pl. anyagkifáradás, zárványok stb. Az eszközhibára vagy technológiai hibára is értelmezhető ez a felfogás.

A kártapasztalatok azt mutatják, az EMBERI hiba a legnagyobb HIBARENDSZER! Az emberi hiba mindenhol megtalálható: véletlen hiba (forrása az információ hiánya, a tudás hiánya), törvényszerű (megszerzett tudás elégtelensége) vagy szándékos hibák (rossz szándék és akarat) formájában. [1]

## 1.3 A KOCKÁZAT FOGALMA

**A kockázat (K vagy R) valamely cselekvéssel, folyamattal, eseménnyel együtt járó veszély, meghibásodás, veszteség bekövetkezésének mértéke.**

Röviden a kockázat: a veszély gazdasági, anyagi kihatása (kárunk keletkezhet). Más szavakkal a kockázat a kár előfordulásának valószínűsége. Meg is tudjuk határozni:

$$K = D \times W$$

ahol: D = a kár terjedelme (nagysága), W = a kár valószínűsége (gyakorisága)

A veszély figyelmeztet, a kockázattal számolnunk kell. A hibát, mint a felismert üzemzavart meg kell oldani.

A hazai és nemzetközi szakirodalomban a kockázatnak számos megközelítésével találkozunk, szinte minden szakterület (ipar, mezőgazdaság, humán, bank stb.) kialakította a maga kockázati felfogását. Több oldala és értelme a megfogalmazásának összetettségére is utal.

Tágabb értelemben: tevékenységünk tervezett és tényleges eredménye egymástól eltérhet. A kockázat ebben az értelemben a kocka szóra és a kockavetés játékra is utal, mivel a veszteség és nyereség esélyét is magába foglalja. A gazdasági életben és a biztosítási gyakorlatban a kockázat szűkebb értelmét használják. A kockázaton a veszteség (anyagi kár/elmaradt haszon) illetve az érdeksérelem (nem anyagi kár) lehetőségét értjük.

Ha mélyebb összefüggéseket is keresünk, akkor a biztonsági szükséglet kielégítésének szempontjai szerint vizsgálhatjuk a kockázatok különböző szintjét [1].

- döntéshozatallal összefüggő megközelítés

<b>aktív kockázatok</b>	<b>passzív kockázatok</b>
döntések során tudatosan vállalt kockázatok (űrkutatás, új technológiák kifejlesztése stb.)	döntések velejárájaként inkább „vis major” jellegű kockázatok (levegőszennyezés, közúti balesetek nagy része, motorizáció hatása stb.)

- okok és okozatok szerinti vizsgálat

<b>kiváltó ok</b>	<b>kiváltott hatás, okozat</b>
természeti eredetű kockázatok	elemi károk (földrengés, lavina stb.), természetet károsító kockázatok
társadalmi eredetű kockázatok: emberek, csoportok, szándékos vagy gondatlan magatartása	környezetre káros beruházások megvalósítása
gazdasági eredetű kockázatok	eladásra nem került árukészletek, banki pénzüpi műveletek
műszaki kockázatok	az új technológiák bevezetése szorosan összefügg a természeti kockázatokkal (sugárzásveszély, robbanásveszély stb.)
emberi életet és egészséget veszélyeztető kockázatok (műszaki, természeti eredetűek)	a vírusok, járványok, sugárzás társadalmi következményekkel is járnak

- kockázat időtartama szerint vizsgálva

<b>hosszú távú kockázat</b>	<b>középtávú kockázat</b>	<b>rövid távú kockázat</b>
súlyos felelősségi kockázatok: környezetszennyezés, termékfelelősség beruházások kockázatai	növénytermesztési kutatási, fejlesztési kockázatok	értékesítés közlekedés, szállítás kockázatai

- a kockázatok megkülönböztethetők aszerint is, hogy saját magunknak, vagy ún. harmadik személynek okozott formában jelentkeznek-e

saját érdeket érintő kockázatok	harmadik személyek érdekeit érintő kockázatok
vagyoni, jövedelmi hatások: épületek, gépek, járművek stb. következményi károk: üzemszünet, nemfizetés miatt.	tervezői, üzemeltetői felelősség, bérlői, bérbeadói felelősség, építési-szerelési felelősség, környezetszennyezés stb.

- a lehetséges kár nagysága szerinti csoportosítás

ún. katasztrófakárok kockázatai	nagy, illetve közepes károk kockázatai	ún. kis (bagetell) károk kockázatai
súlyos kárkövetkezmények: nukleáris (lásd Csernobil), vegyipari károk, természeti katasztrófák stb.	Technikai eszközökkel kezelhető károk: árvizek, robbanás, robbantás miatti károk stb.	az egyén számára súlyos következmények, de megoldható károk: kisebb balesetek, csőtörés károk stb.

A kockázat kifejezhető valamely egységre vonatkoztatott bekövetkezési számmal (pl. haláleset/km, vagy robbanás/év stb.).

*Néhány baleseti kockázat*

Vonat $0,4 \times 10^{-9}/\text{km}$	
<u>Például Budapest–Peking–Budapest útra</u>	$R = 4 \times 10^{-6}$
Repülő $0,5 \times 10^{-9}/\text{km}$	
<u>Például Budapest–Kalifornia–Budapest</u>	$R = 2 \times 10^{-6}$
Autó $15 \times 10^{-9}/\text{km}$	
<u>Például Budapest–Balaton–Budapest</u>	$R = 3 \times 10^{-6}$
<u>Ugyanez minden hétvégén, egy év alatt (50 hétvége)</u>	$R = 150 \times 10^{-6}$
Kerékpár $85 \times 10^{-9}/\text{km}$	
<u>Például Budapest–Balaton és vissza</u>	$R = 20 \times 10^{-6}$
Motorkerékpár $500 \times 10^{-9}/\text{km}$	
<u>Például Budapest–Velencei-tó és vissza</u>	$R = 50 \times 10^{-6}$

**Mi az elfogadható kockázat?**

- 1987-ben Kalifornia állam 2/3-os többséggel elfogadta az *Ismeret Joga* néven emlegetett törvényt, amely többek közt kimondja, hogy „Egy embert sem lehet tudva vagy tudatlanul kitenünk olyan kémiai hatásnak, ami rákos vagy genetikai károsodást okoz anélkül, hogy e veszélyre figyelmét előzőleg felhívniánk.”
- Végül a kaliforniai jogászok abban állapodtak meg, hogy  $R < 10^{-5}$  (10 mikrorizikó) a figyelmeztetés nélkül okozható kockázat mértéke.
- „...ez ártalmatlan lehet az Ön egészségére. [1]

**A szakmai gyakorlat az elfogadható kockázatra általában két fogalmat használ:**

- **Egyéni kockázatot**, amely az a kockázati szint, amely a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos baleset bekövetkezésekor, a baleset helyszínétől különböző távolságokban, egy **ott tartózkodó személy elhalálzásának valószínűségét fejezi ki**. Az egyéni kockázatot általában akkor vesszük az elfogadhatóság szempontjából figyelembe, ha az adott helyen olyan emberek vannak, akik (legalábbis elméletileg) ott folyamatosan tartózkodnak (például lakóházakban).
- **Társadalmi kockázatot**, amely az a kockázati szint, amely a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos baleset bekövetkezésekor, a baleset helyszínétől különböző távolságokban, az ott tartózkodó **személyek valamely csoportja elhalálzásának valószínűségét fejezi ki**. A társadalmi kockázat elfogadható mértéke a baleset által érintett személyek számától is függ. A társadalmi kockázatot általában akkor vesszük az elfogadhatóság szempontjából figyelembe, ha az adott helyen olyan emberek vannak, akik nem tartózkodnak ott folyamatosan (például munkahely, bevásárlóközpont stb.).

Rendszerint a társadalmi kockázati kritériumok alkalmazása **csupán kiegészítő jelleggel**, az egyéni kockázati kritériumok alkalmazása mellett történik.

Az egyéni és a társadalmi kockázati kritériumok felállításánál **három régiót lehet megkülönböztetni**,

- az elfogadható kockázati térséget,
- az elfogadhatatlant, valamint
- a köztes térséget, ahol a kockázatot feltehetően még tolerálható szintűnek lehet minősíteni, jóllehet annak csökkentése igencsak kívánatos.

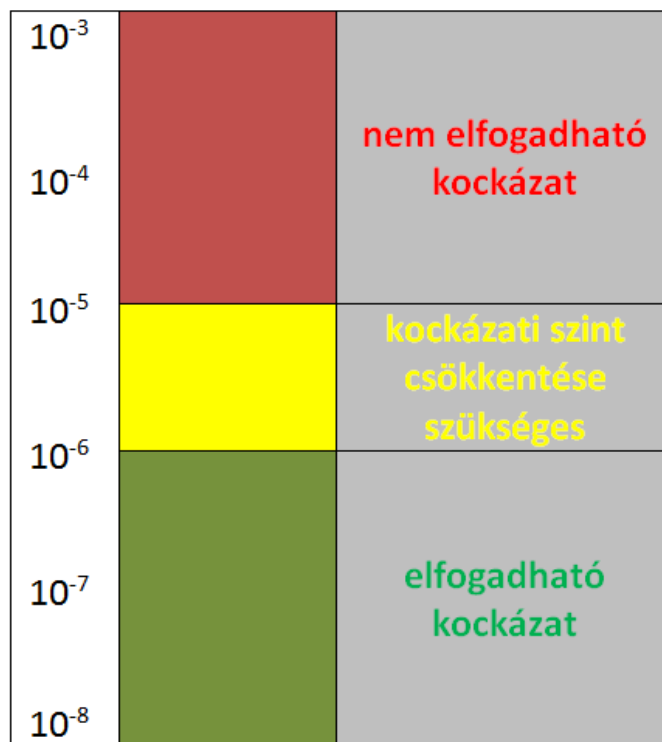
**Egyéni kockázat**

A hatóság a veszélyességi övezetben élő lakosság veszélyeztettségének megítélésére az egyéni kockázat mértékét veszi alapul. Az elfogadhatóság feltétele:

a) Elfogadható szintű veszélyeztettséget jelent, ha a lakóterület olyan övezetben fekszik, ahol súlyos baleset következtében történő halálozás egyéni kockázata nem haladja meg a  $10^{-6}$  esemény/év értéket.

b) Nem jelent elfogadható veszélyeztettségi szintet, ha lakóterületen a halálozás egyéni kockázata  $10^{-6}$  esemény/év és  $10^{-5}$  esemény/év között van. Ekkor a hatóság kötelezi az üzemeltetőt, hogy hozzon intézkedést a tevékenység kockázatának csökkentésére, vagy olyan biztonsági intézkedések (riasztás, egyéni védelem, elzárkózás stb.) feltételeinek biztosítására, amelyek a kockázat szintjét csökkentik. [1]

c) Nem elfogadható, ha a halálozás egyéni kockázata a veszélyességi övezet adott részén meghaladja a  $10^{-5}$  esemény/év értéket. Ha a kockázat a településrendezési eljárás keretein belül nem csökkenthető, a hatóság kötelezi az üzemeltetőt a tevékenység korlátozására vagy megszüntetésére. [1]



4. ábra. Az egyéni kockázat elfogadhatóságának szemléltetése (Forrás: a szerzők által készítve)

**Társadalmi kockázat**

Az a kockázati szint, amely a veszélyes anyagokkal kapcsolatos súlyos baleset bekövetkezésekor, a baleset helyszínétől különböző távolságokban, az ott tartózkodó személyek valamely csoportja elhalálzásának valószínűségét fejezi ki. A társadalmi kockázat számot ad a környezetben dolgozó, illetve lakó emberek jelenlétéről és védelméről. [1]

Elfogadható szintű veszélyeztetettséget jelent, ha a vizsgált területen a súlyos baleset következtében történő halálozás társadalmi kockázati szintje ( $y$  halálozás/év):

$$y < 10^{-5} \cdot x^{-2} \text{ halálozás} \cdot \text{fő/év}$$

ahol  $x$  – az áldozatok száma (fő)

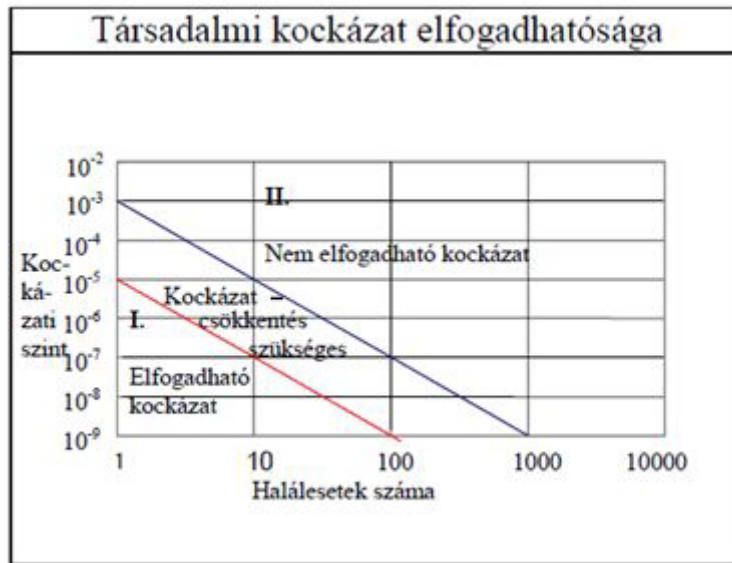
Nem elfogadható szintű veszélyeztetettséget jelent, ha a vizsgált területen a súlyos baleset következtében történő halálozás társadalmi kockázati szintje ( $y$  halálozás/év):

$$10^{-3} \cdot x^{-2} < y < 10^{-5} \cdot x^{-2} \text{ halálozás} \cdot \text{fő/év}$$

Ekkor a hatóság kötelezi az üzemeltetőt, hogy intézkedjen az adott tevékenység kockázatának csökkentésére, vagy megfelelő biztonsági intézkedések (riasztás, egyéni védelem, elzárkózás stb.) feltételeinek biztosítására, melyek csökkentik a kockázat szintjét.

Nem jelent elfogadható szintű kockázatot, ha a vizsgált területen a halálozás társadalmi kockázata:  $y > 10^{-3} \cdot x^{-2}$

Minél több embert érint a halálos hatás a társadalmi kockázat annál kevésbé elfogadható. Így az egyéni kockázati szintek állandó értékeivel ellentétben, a társadalmi kockázati szintet csak a halálos áldozatok várható számának függvényeként lehet meghatározni. Pl. 10 fő esetén az elfogadható társadalmi kockázat határa  $10^{-7}$  esemény/év, 100 fő esetén  $10^{-9}$  esemény/év.



5. ábra. A társadalmi kockázat elfogadhatóságának ábrázolása [1]

Foglalkozási ágak kockázatértékei

kereskedelem	néhányszor $10^{-6}$ halálozás/év
gyári munka	$10-100 \times 10^{-6}$ halálozás/év
közlekedés	$400 \times 10^{-6}$ halálozás/év
építőiparban	$400 \times 10^{-6}$ halálozás/év
szénbányászat	$800 \times 10^{-6}$ halálozás/év
elektromostávvezeték-építés	$1200 \times 10^{-6}$ halálozás/év
munka tengeri olajkutakon	$1500 \times 10^{-6}$ halálozás/év
mélytengeri halászat	$1800 \times 10^{-6}$ halálozás/év
USA elnöke	$3-6000 \times 10^{-6}$ halálozás/év

4. táblázat. Néhány foglalkozás kockázatértéke [1]

## 1.4 A KATASZTRÓFA MEGHATÁROZÁSA

**A katasztrófa jelentős anyagi, energetikai, technikai kárt, tájpusztulást, életminőség-romlást, életveszélyt jelentő hatás.**

A különféle katasztrófák elleni tudatos, tervszerű védelem megteremtése az emberiség egyik nagy, globális feladata. A képek önmagukért beszélnek, a médián keresztül jól ismert helyzetek:

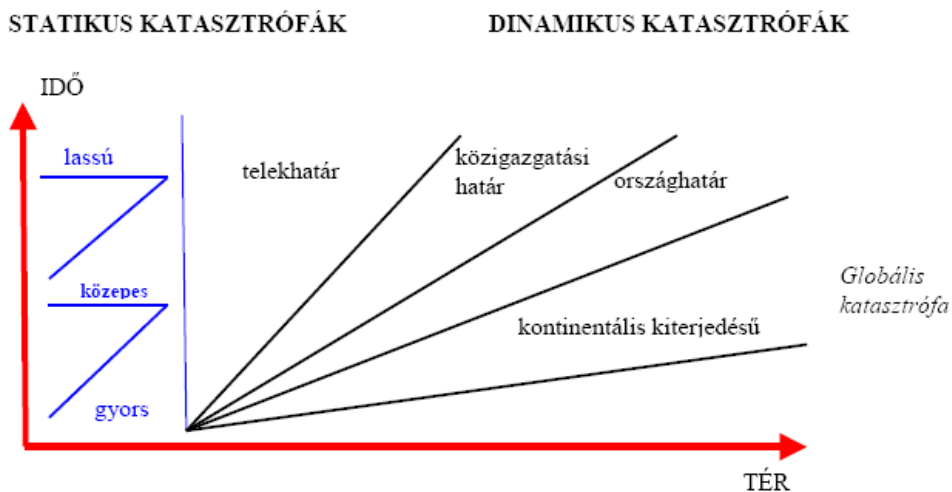




6. ábra. A médiában a katasztrófákról gyakran bemutatott képek

A katasztrófák **statikus** lefolyásúak (például levegő-, víz-, talajszennyezés stb.) vagy **dinamikusak** (például árvíz, földrengés, szökőár, tornádó stb.).

Kiterjedése a **regionális** jellegűtől a **globális** katasztrófaig terjed. Szemléltesse az összefüggéseket a 7. ábra. [1]



7. ábra. Statikus és dinamikus katasztrófák kritériumainak összefoglalása  
(Forrás: Dr. Nagy Tibor: A biztonság garanciái IV. Tűzvédelmi szeminárium, Gyula, 1994.)

A társadalom a katasztrófahelyzeteket általában nehezen tolerálja. Nemzetközi szervezetek most alakítják ki a definícióját. Abban egyetértenek, hogy az alábbi feltételek valamelyikének teljesülése katasztrófaként kezelendő:

- 10 vagy ennél több haláleset, illetve súlyos sérülés,
- több mint 200 ember kitelepítése,
- helyi eredetű élelmiszer vagy ivóvíz fogyasztásának tiltása,
- több mint 25 000 km<sup>2</sup> földterület vagy vízfelület erős szennyeződése,
- több mint 10 km partszakasz, folyószakasz szennyeződése.

A dinamikus katasztrófák következményeit vizsgálva azt látjuk, hogy az események és áldozataik közül az **elemi** és a **közlekedési** károk a legkritikusabbak. A legnagyobb anyagi károkat az elemi és tűzkárok adják, a megoszlást mutatja az 5. táblázat.

Katasztrófák jellege	Katasztrófák megoszlása %		
	esemény	áldozatok	anyagi kár
természetes eredet (tájfún, vulkán stb.)	35,9	88,2	82,5
tűzvész	11,7	0,6	8,5
repülőgép	9,4	0,3	5,6
hajó	14,4	2,3	3,1
közlekedés	18,5	2,9	2,7
egyéb	10,0	4,7	0,7

5. táblázat. A katasztrófák számszerűsített ábrázolása (Forrás: Münchener Rück kiadvány, 2006.)

Az eddig előfordult legnagyobb technikai katasztrófák a bophali (India) növényvédőszer-gyárból 30 tonna metil-izocianát kiszabadulása és a csernobili atomreaktor robbanása voltak.

Magyarországon az elmúlt 25 évben 2 bányakatasztrófa, 1 vegyipari és 1 repülőgép-szerencsétlenség haladta meg a katasztrófák nemzetközi (IAEA) küszöbértékét. A legnagyobb anyagi kár a Dunamenti Erőműben 1970-ben (akkori áron 100 M Ft), illetve 2003-ban a Paksi Atomerőműben mintegy 6-7 milliárd Ft volt.

## 1.5 VESZÉLY ÉS KOCKÁZAT FOGALMAK IPARI FOLYAMATOKBAN

A **veszély** olyan fizikai helyzet, mely potenciálisan emberek sérülését, vagyoni tárgyak vagy a környezet károsodását okozhatja. Veszély egy szubsztancia által okozott sérülés lehetősége. Más definíció szerint a veszély egy rendszerre, termékre, üzemre vagy műveletre potenciálisan ható külső és/vagy belső körülmény, vagy körülmények együttese, mely aktivizálódása során a veszélyt olyan események sorozatává alakítja, mely veszteséget (balesetet) okoz. Egyszerűbb, alapvetőbb definíció szerint a veszély olyan körülmény, mely sérülést vagy halált, vagy egy berendezésben, tulajdonban, vagy a környezetben sérülést vagy veszteséget okozhat.

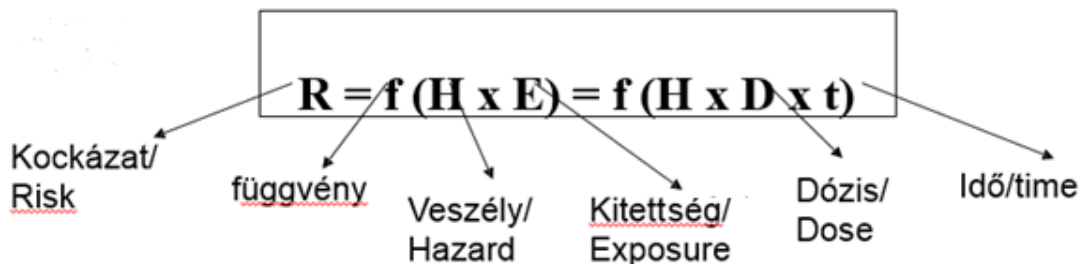
A **mérgező hatás** egy szubsztancia veszélye, mely mérgezést okozhat.

A **kockázat vegyi anyagok esetén** annak a gyakoriságnak a mértéke, melynek során egy vegyület által okozott sérülés következik be adott körülmények között:

- valószínűség × következmények egy nemkívánatos esemény előfordulása kapcsán.

Más megfogalmazás szerint a kockázat „**változások, vagy baleseti veszteségek vagy nemkívánt következménnyel járó események lehetősége, így**

- egy veszély következményeként adott időtartam alatti expozíció révén fellépő veszélyes esemény valószínűsége, vagy
- adott számú ember halálát okozó ilyen esemény előfordulási gyakorisága, és
- az ilyen esemény következményét az éves halálozások számával fejezzük ki.”



Így azon vegyszerek, melyek veszélyessége kicsi, de az általuk okozott kitettség gyakori, vagy mértékeltelen, nagyobb kockázattal járhatnak, mint a veszélyesebb, de kisszámú kitettséggel járó vegyszerek. A kockázat csökkentése a kitettség mértékének csökkentését jelenti. [1]

### Kockázattípusok [1]

- szándékos vagy szándék nélküli
- nagy valószínűségű, kis következményű
- kis valószínűségű, nagy következményű
- egyéni vagy társadalmi
- környezeti vagy technológiai

## 1.6 IPARI VESZÉLYEK CSOPORTOSÍTÁSA

Az ipari veszélyek az alábbi csoportokba sorolhatók:

- fizikai veszélyek
- kémiai (vegyi) veszélyek
- biológiai veszélyek
- pszichológiai veszélyek
- mechanikai veszélyek

### Fizikai veszélyek

- zaj
- rezgés
- tűz
- hőmérséklet
- elektromos áram
- nyomás
- érintkezés mikroszkopikus szálakkal vagy szálak belégzése
- villámcsapás
- nedvesség
- fagyhatás
- hőhatás
- vízvesztés
- oxigénhiány
- nem ionizáló sugárzás



*NaCl-epiklórhidrin tűz és robbanás Buncefield, UK [3]*

*Kémiai veszélyek*

- éghető, robbanóanyagok
- folyadékok és gázok
- gőzök
- szilárd vegyületek
- ködök
- füstök
- füstködök, szmogok
- érzékenységnövelő, szenzibilizáló anyagok

*Biológiai veszélyek*

- por
- vírusok
- baktériumok
- gombák
- protozoák
- élősködő férgek
- vérben keletkező patogének
- penészgombák
- klónozással létrehozott DNS-töredékek
- emberi szövetek
- sejt kultúrák

*Pszichológiai veszélyek*

- alkalmazott munkahelyi gyakorlatok, rendszerek
- alkalmazott bérezési rendszerek
- a végzett munka típusa
- a munkához tartozó kockázatok
- monotonitás
- hosszú munkaidő
- elismeréshiány, munkasikerek hiánya
- gyenge előmenetel
- jóléti intézkedések hiánya
- gyenge emberierőforrás-gazdálkodás
- otthoni feszültségek
- sztrájkok
- váratlan termelés-csökkenés

*Mechanikai veszélyek*

hatás alapján:

- erőhatások
- ütközések
- leesés magasról
- ütés objektumoktól
- helyszűke

- elcsúszás és elbotlás
- esés éles, hegyes objektumra
- sűrített levegő/nagy nyomású folyadék hatásai
- belegabalyodás kötélbe, fonálba stb.
- sérülés berendezésektől

kár alapján:

- törés és vágás
- súrlódás és dörzsölés
- nyírás
- szúrás
- gyenge karbantartás és üzembiztonság

A fizikai veszélyek előfordulási helyét és egészségre gyakorolt hatásait foglalja össze a következő táblázat.

Veszély	Hely	Hatás az egészségre
hő	öntöde, üvegipar, nehéz fémipar	hősokk, igen magas láz
	föld alatti bányák, vulkanizáló üzemek, textilüzemi fonoda	kihűlés, hősokk, hógörccs
hideg	hadsereg, élelmiszeripar, tartósító- és konzervipar	hűtési és fagyási sérülések fagyási lábgangréna, a bőr kékes elszíneződése
fény	bányák, búvárkodás	szemdeformáció, szemfáradás, fejfájás, szemrezgés
zaj	zajos gépcsarnokok	tartós halláskárosodás, idegbántalmak, csökkenő hatékonyság, zavartság, vérnyomás növekedése, álmatlanság
rezgés	pneumatikusfúró-kezelők	Raynaud-féle „fehér ujj” szindróma, csukló, könyökök, vállak kopásos ízületi gyulladása
ionizáló sugárzás	radiográfia, radioizotóp alkalmazások, műanyag, élelmiszer, konzervipari feldolgozás, kémiai és orvosi kutatások	szemkárosodások, rák és leukémia, vérszegénység, vérképző szervek betegségei

6. táblázat. A fizikai veszélyek előfordulási helye és egészségre gyakorolt hatásai [1]

#### Vegyí veszélyek típusai

- **Anyagból eredő veszélyek:** A vegyszerek veszélyes tulajdonságaiból erednek. Például gyúlékonyság, robbanékonyság, mérgező hatás, korrozív hatás, reakcióképesség, radioaktivitás, redukáló hatás, oxidáló hatás, bomlékonyság, vagy inkompatibilitás.
- **Folyamatból eredő veszélyek:** A folyamat során kémiai és fizikai változások, kémiai reakciók, nyomás- és hőmérséklet-változás, áramlási tulajdonságok és mennyiségek, egyéb paraméterek változása.
- **Berendezésekből eredő veszélyek:** A vegyszerek tárolására, kezelésére vagy reakciójára szolgáló tartályok, reaktorok és más berendezések veszélyei.
- **Ellenőrzési veszélyek:** A nem megfelelő, hibás, elégtelen, vagy rosszul módosított ellenőrző berendezésekből vagy azok meghibásodásából eredő veszélyek.

- **Tűz keletkezéséből eredő veszélyek:** Tüzek vagy robbanások.
- **Mérgező hatásból eredő veszélyek:** Kifolyásból és gázzivárgásokból eredő szennyeződések és mérgezési veszélyek.
- **Kezelési veszélyek:** Lyukadások, kiömlések és kifröccsenések során léphetnek fel.

Vegyipari veszélyek más szempontú csoportosítása:

- **Vegyipari veszélyek – Fizikai és egészségre ható veszélyek**
  - Fizikai veszélyek: korrozív, robbanékony stb. anyagok.
  - Egészségre ható veszélyek: mérgező, irritáló és oxidáló anyagok.
- **Vegyipari veszélyek – Baleseti és üzemzavari veszélyek**
  - Védőberendezések, -eszközök, vészhelyzeti beavatkozó berendezések hiánya, vagy alkalmazásának mellőzése

A technológiai folyamatok során előforduló veszélyforrásokat foglalja össze a 7. táblázat. [2]

Technológiai folyamatok veszélyforrásai (DOE-HDBK-1100-2004)			
Energiaforma	Kapcsolódó veszély(ek)	Tipikus baleseti esemény(ek)	
Kémiai energia	önpolimerizációs hajlam	ellenőrizetlen polimerizáció	
	érzékenység rázásra	szilárd vagy folyékony robbanóanyag, vagy azok keverékének detonációja	
	termikus instabilitás	termikus robbanás önmelegedés és reakció-megszaladás után	
	visszarendeződési hajlam	ellenőrizetlen átrendeződési reakció (pl. etilén-oxid)	
	piroforosság	levegővel érintkezve tűz keletkezése	
	lobbanási hajlam		edény, zárt készülék felhasadása a benne lévő gőzök és levegő reakciója miatt
			gázfelhőrobbanás
			lángra lobbanás
			tócsatűz
	égési hajlam		anyagtűz
			porrobbanás
			aeroszolgyulladást követő gyors tűz
			gázrobbanáshoz vezető forró folyadék vagy szilárd anyag
	peroxidálási hajlam		hosszabb ideig oxigénnel érintkezve; hőfejlődéssel járó peroxidbomlás
	vízzel való reakció hajlam		vízzel reagáló anyag kibocsátása és annak heveny reakciója a vízzel vagy a nedvességgel
	oxidáló- vagy redukálóképesség		oxidáló anyag érintkezése szerves anyaggal, anyagtűz keletkezik
ellenőrizetlen redoxireakció			
savasság vagy lúgosság		szerves gáz kibocsátása (pl. vízmentes HCl)	
		korrozív folyadék vagy szilárd anyag kiömlése	
		ellenőrizetlen sav-bázis reakció	
toxicitás		toxikusgőz-kibocsátás	
		toxikus folyadék vagy szilárd anyag kiömlése	
más megnövekedett reaktivitás		gondatlan keverés vagy érintkezés inkompatibilis anyaggal, hőfejlődés, nyomásnövekedés vagy toxikus gáz képződése	
csökkent kémiai reaktivitás (inert anyag)		személyek belépése oxigénhiányos zárt térbe	

7. táblázat. Technológiai folyamatok veszélyforrásai (DOE-HDBK-1100-2004)

Technológiai folyamatok veszélyforrásai (folytatás)		
Energiaforma	Kapcsolódó veszély(ek)	Tipikus baleseti esemény(ek)
termikus energia	megnövekedett hőmérséklet	forró anyag kibocsátása
		kontaktus forró felülettel
		gőzkifújás vagy hasonló
	lecsökkent hőmérséklet	tartályrepedés a benne lévő folyadék hőtágulása miatt
kriogén anyag kibocsátása		
nyomás-térfogati energia	összenyomható folyadék térfogata növekvő hőmérsékleten	tartály vagy zárt tér hasadása
		nagy sebességű kiáramlás lyukon vagy törésen keresztül
	nyomás alatti folyadék tárolása	gyors fázisátmenet (boiling-liquid-expanding-vapor-explosion, BLEVE)
összenyomható folyadék tárolása vákuum alatt	tartály vagy zárt tér összeroppanása	
potenciális (helyzeti) energia	a referenciaszinten felül elhelyezkedő anyag	felhalmozott hordók ledőlése
		felhalmozott granulált anyag megcsúszása
		folyadék kifolyása hibás tartályból
		kibukó anyagok kiloccsanásból, túltöltésből
mozgási energia (anyagmozgatás)	műveleti anyagok mozgatása	túlnyomás vagy túlhevítés zárt térbe való szivattyúzás során
		műveleti anyagok ütközése
		sérülés vízütésből
elektromágneses energia	megnövekedett elektromágneses sugárzási szint	árnyékolatlan lézer- vagy mikrohullámú sugárzás a folyamat során
elektromos energia	megnövekedett feszültség	áramütés elektromos energiát alkalmazó folyamat során (pl. alkáli elektrolízis)

7. táblázat (folytatás). Technológiai folyamatok veszélyforrásai (DOE-HDBK-1100-2004)

## 1.7 IPARI FOLYAMATOK BIZTONSÁGA

Az ipari folyamatok biztonsága időben változó, a biztonságot befolyásoló tényezőket folyamatosan nyomon kell követni.

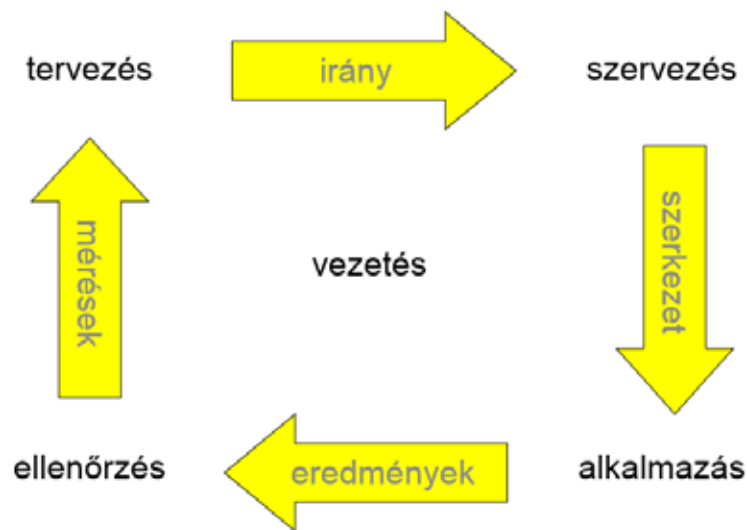
Az eljárások biztonságának elemei a következők [3]:

1. Felelősség
2. A folyamatok ismerete és dokumentálása
3. A projekt- és dizájnprogramok 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

Az ipari folyamatok biztonságának biztosításához elengedhetetlen a menedzsment rendszerszintű helyes működése. A menedzsmentrendszer funkcióit mutatja a 8. ábra. [3]



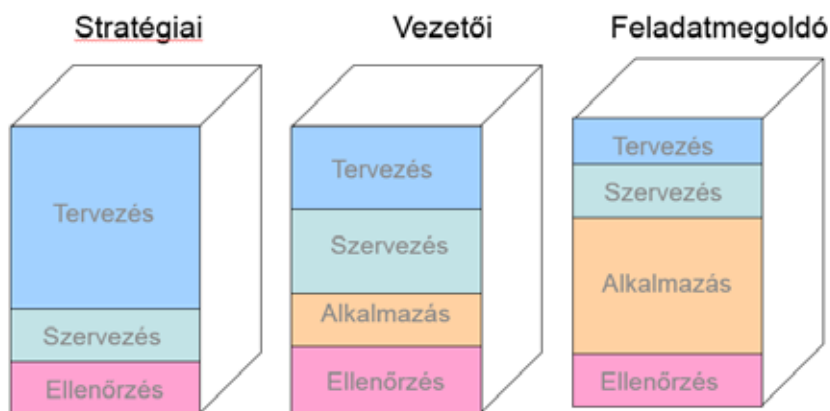
8. ábra. A menedzsmentrendszer funkciói (Forrás: Ludányi Ágnes, Pacsuta István: Vezetési ismeretek, szervezetfejlesztés, Eszterházy Károly Főiskola, 2014.)

Egy a folyamat biztonságát biztosító menedzsmentrendszer tulajdonságait és jellemzőit foglalja össze a 8. táblázat. [3]

<p><b>Tervezés</b>                      Explicit célok és tárgyak                      Jól definiált terület                      A kívánt eredmények világosak                      Alternatív teljesítési mechanizmusok figyelembevétele                      Jól definiált bemeneti adatok és készletigények                      A szükséges eszközök és gyakorlások azonosítása</p>	<p><b>Szervezés</b>                      Jelentős támogatás                      Hatáskörök elhatárolása                      A szerepek és felelőségek explicit megjelölése                      Szabályszerű eljárások                      Belső koordináció és kommunikáció</p>
<p><b>Alkalmazás</b>                      Részletes munkatervek                      A megvalósítás specifikus mérföldköveinek kijelölése                      Mechanizmusok kezdeményezése</p>	<p><b>Ellenőrzés</b>                      Teljesítési szabványok és mérési módszerek                      Ellenőrzések és mérlegek                      Teljesítménymérés és beszámoló, belső riportok                      Eltérések vizsgálata                      Auditálási eljárások                      Korrekciós műveleti mechanizmusok                      Eljárások megújítása és ismételt jóváhagyása</p>

8. táblázat. Adott folyamat biztonságát biztosító menedzsmentrendszer tulajdonságai és jellemzői [3]

A menedzsment szerepe a biztonságban szervezési szintek függvénye, ezt foglalja össze a 9. ábra. [3]



Folyamat biztonságát szolgáló menedzsment példái különböző szervezési szinteken

9. ábra. A menedzsment szerepe a biztonságban, a szervezési szintek függvényében [3]

Természetesen a folyamatok biztonságának biztosítása a menedzsment felelőssége.

Felelősség:

- A menedzsment elkötelezettsége minden szinten
- Az eljárás biztonságának státusza más szervezési célokkal összehasonlítva (minőség, költség, eredmény)
- A célokat megfelelő forrásokkal kell támogatni
- Nyitottság tanácsokkal, kommunikációval és kezdeményezéssel szemben

Mivel az idő során a folyamatok biztonságát befolyásoló tényezők változnak, azokat folyamatosan követni kell. A változások részei:

- A folyamat technológiájának változása
- A képesség változása
- Szervezési változások
- Ellentmondások kezelése
- Permanens változások
- Átmeneti változások

A biztonság folyamatos fenntartásának fontos része a folyamatok és berendezések integritásának biztosítása.

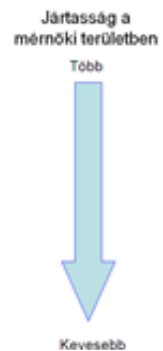
Ennek elemei:

- Nemcsak a tipikus, de az előre látható feltételek minden formájának kezelése.
- Annak biztosítása, hogy az valósul meg, amit elterveztek és megépítettek.
- Annak biztosítás, hogy a konstrukció valóban magalapozott.
- Annak biztosítása, hogy:
  - megelőző karbantartás,
  - folyamatos karbantartás,
  - felülvizsgálat történjen.

- **Különös óvatosság szükséges az automatikus biztonsági rendszereknél.**
- Az operátor egy hibázásra hajlamos személy, aki a háttérben tevékenykedik.
- A hibákat elviselhetőségre kell tervezni, nem csak megelőzésre. Ennek elemei:
  - detektálás,
  - korrekció.

Az ipari folyamatokban résztvevők emberi viselkedésének aspektusai a következők [3]:

- Az emberek és a szervezetek zöme nem szándékozik megsérülni (balesetet szenvedni).
- Annak megértése, hogy a balesetek elkerülésére miért akarják megértetni az emberi viselkedés formáit, egyéni és szervezeti szinten. Ennek részei:
  - Fizikai interfész
    - Ergonómia
  - Pszichológiai interfész
    - Észlelés, döntéshozatal, ellenőrzés
  - Emberi gondolkodási folyamatok
    - A döntéshozatal alapjai
    - Az ideális versus aktuális viselkedés
  - Szociális pszichológia
    - Kapcsolatok másokkal
    - Szervezeti viselkedés



### Emberi viselkedésmódozatok

Ahelyett, hogy a bukási lehetőségeket tekintené, arra figyel, hogyan működhet normálisan.

Típusai:

- *Szakértelem alapú viselkedés*
  - A belső állapotokra gyors válaszokat ad, ritkán veszi igénybe a külső információkat annak eldöntésére, hogy a folyamatok a terv szerint mennek-e.
  - Gyakran kezdeményez a szabályok alapján.
- *Szabályok szerinti viselkedés*
  - IF..., THEN...(ha így.... akkor úgy)
  - A szabályok alkalmazásához érzék szükséges, nemcsak alkalmazni kell azokat, de ismerni kell azokat a feltételeket is, melyek esetén egy adott szabály alkalmazható.
- *Tudás alapú viselkedés*
  - Alkalmazható, ha szabály nem használható, de valamilyen előzetes akció szükséges.
  - A leglassabb, de a legrugalmasabb.

Az ipari folyamatok veszélyei között fontos szerepet játszanak az **aktív és látens meghibásodások**.

- *Aktív*
  - Azonnali kedvezőtlen hatás.
  - Hasonló a „veszélyes cselekményhez”.
- *Látens*
  - A hatás bizonyos ideig nem, ha egyáltalán észrevehető.
  - Hasonló a „rezidens patogénhez”. Előre nem látható kiváltó helyzetek aktiválják a patogént, ami a védekezést legyengíti, vagy váratlanul kikerüli.

### A látens meghibásodás klasszikus példája

Az anyag veszélyessége ismert volt, de a potenciális rendszer meghibásodási módok ismeretének hiánya hibás kezelési gyakorlatot eredményezett.



10. ábra. Epiklórhidrin tűz, Avonmouth, UK [3]

### Másik példa látens hibára



11. ábra. Oldószerrobbanás egy nyomtatófesték-üzemben – Danvers, MA, 2006. november [3]

- A veszély ismert volt, de a védelem jóindulatú kompromisszumok alapján módosult.
- Az eljárás látens hibája a végrehajtásban hibázási valószínűséget eredményezett.

### További példa látens hiba hatására (porrobbanások)



12. ábra. Scottsbluff, NE, 1996 [3] 13. ábra. Port Wentworth, GA, 2007 [3]

Az anyag veszélye nem volt nyilvánvaló (a korábbi tapasztalatok ellenére). A látens hiba lehetővé tette por felgyülemelését, a további események kiindulópontjaként.

## 1.8 IPARI FOLYAMATOK VESZÉLYKEZELÉSE [4]

### Általános folyamatveszélyek (General Process Hazards, GPH)

Beletartoznak a folyamatok, pl. exoterm reakciók, endoterm reakciók, hidrogénezés, alkilezés, izomerizálás, szulfonálás, semlegesítés, észterezés, oxidáció, polimerizáció, kondenzálás, halogénezés, nitrálás, töltési-ürítési folyamatok, zárt terű folyamatok, elégtelen ürítési és korlátozott hozzáférésű folyamatok. Mindegyik ilyen folyamathoz többletveszélyre jellemző számítást rendelnek hozzá.

Az általános folyamatveszélyek között említendő:

- exoterm reakciók
- endoterm folyamatok
- anyagkezelés vagy szállítás
- folyamatgépek épületben és nyílt terepen
- hozzáférhetőség (access)
- ürítési és elfolyási ellenőrzés

### Speciális folyamatveszélyek (Special Process Hazards, SPH)

Idetartoznak azok a speciális veszélyek, mint a folyamat paraméterei, hőmérséklet, nyomás, lobbanási hajlam, az anyag robbanási határai (alsó és felső), a készülékek, berendezések hibái, mint külső és belső korrózió, folyások a csatlakozásoknál stb. Mindegyik ilyen folyamathoz többletveszélyre jellemző számítást rendelnek hozzá.

- Speciális folyamatveszélyek között említendő:
- Toxikus anyagok.
- Vákuumnyomások (<500 mmHg).
- Üzemelés robbanási tartományban, vagy ahhoz közel:
  - tartálypark lobbanékony folyadékokkal,
  - töményítési vagy hígítási hibák,
  - végig a robbanási tartományban üzemel.
- Porrobbanás.
- Túlnyomás.

### A veszélyek kezelésének részei:

- Veszély azonosítása.
- Veszély értékelése.
- Baleseti gáz-/gőzfelhő-kibocsátás (gyúlékony és/vagy mérgező).
- A kárenyhítés mérnöki módszerei.
- A veszély kezelésének tervezési elemei.
- Folyamatbiztonsági kezelés, Process Safety Management (PSM).
- Enyhítő intézkedések tervezése.
- Veszélyre adott válasz (Emergency response) tervezése (ERP-onsite).
- A helyi hatóságok és nyilvánosság riasztása.

### Folyamatok veszélyeinek kezelése (Process Hazard Management, PSM)

A PSM néhány fontos eleme:

- Alkalmazottak részvétele
- Folyamatbiztonsági információ (Process Safety Information, PSI)

- Folyamatok veszélyelemzése (Process Hazard Analysis, PHA)
- Műveleti folyamat
- Gyakorlás, kiképzés
- A biztonsági vállalkozó
- Indítás előtti biztonsági szemle
- Mechanikai integritásvizsgálat
- Üzem közbeni programok
- A változtatások kezelése (Management of Change, MOC)
- Esemény kivizsgálása
- Biztonsági tervezés és válasz teljesítési audit

### **Folyamatok veszélyelemzése (PHA)**

#### **1. Műveleti lépések**

- Indítás
- Normál, átmeneti és vészhelyzeti üzemvitelek
- Normál leállás
- Indítás, karbantartás vagy vészhelyzeti leállás után
- Műveleti korlátok
- A normál üzemviteltől való eltérések korrekciójához vagy az eltérések megakadályozásához szükséges lépések következményei
- Biztonsági és egészségügyi szempontok
- Az expozíció megelőzéséhez szükséges elővigyázatossági lépések, a mérnöki felügyelettel együtt
- Adminisztratív felügyelet és személyi védőeszközök
- A fizikai érintkezésből vagy belélegzésből eredő expozíció ellenőrzéséhez szükséges intézkedések
- A nyersanyagok minőség-ellenőrzése és a veszélyes vegyi anyagok leltári mennyiségének ellenőrzése
- Biztonsági rendszerek és azok szerepe

#### **2. Indítás előtti ellenőrzés**

- A konstrukció és a berendezések megfelelnek-e a tervezett specifikációknak
- Biztonsági, műveleti karbantartások és vészhelyzeti eljárások rendelkezésre állnak-e és megfelelőek-e
- A módosított felszerelések megfelelnek-e a változtatások kezelésére adott előírásoknak
- Az összes munkavállaló munkamenetre vonatkozó kiképzése befejeződött-e

#### **3. A változtatások kezelése (Management of Change, MOC)**

- A tervezett változtatás technikai alapja megvan-e
- A változtatások hatása a biztonságra és az egészségi állapotra
- A műveleti eljárások módosításai
- A változtatáshoz szükséges időtartam
- A tervezett változtatásokhoz szükséges hatósági követelmények
- A műveleti biztonsági információk (PSI) aktualizálása, PHA & műveleti eljárások.

#### 4. Folyamatok veszélyelemzése (Process Hazard Analysis, PHA)

- Mérnöki és adminisztratív ellenőrzések
- Emissziók korai detektálására alkalmas módszerek alkalmazása
- A mérnöki és adminisztratív ellenőrzések hibáinak következményei
- Felszerelésvizsgálat
- Emberi tényezők vizsgálata
- Az ellenőrzés hibáiból adódó, az emberekre és másra ható lehetséges biztonsági és egészségi hatások tartományának minőségi értékelése

#### A veszélyforrás-elemzési módszerek kiválasztása

Általános szabály nincs a módszerek kiválasztásához, de legalább hat szempontot érdemes mérlegelni. Ezek lehetnek:

- **A folyamat/üzem fejlődési fázisai**

Minden működési fázisban más-más információval rendelkezünk, más kockázati szinttel találkozunk. A kutatásfejlesztés – tervezés – kivitelezés – üzembe helyezés – üzemeltetés (közben a karbantartás) – üzemleállítás, üzemlebontás (teljes és részleges leállítás) kockázatai jelentős mértékben eltérnek egymástól.

- **A balesetek lehetséges következményeinek súlyossága.** Minél súlyosabb a bekövetkezés valószínűsége, annál részletesebb elemzés szükséges.
- **A folyamat/üzem bonyolultsága.** Egy komplex technológiai rendszernél az elemzés is összetettebb.
- **Jártasság a veszélyforrás-elemzésben.** Az elemzés csapatmunkát igényel.
- **Adat- és információigény.** Az egyes vizsgálati módszerek eltérő adat-/információigénnyel rendelkeznek. Részleges teljesítésükkel a vizsgálat eredménye nem teljes.
- **Idő- és költségigények.** A célok, idő és költségelemek optimumát keressük. Például egy gyors kockázatáttekintéshez ne használjuk az idő- és költségigényes módszert.

Ezek ismeretében a következő veszélyforrás-elemzési módszereket alkalmazzák (vastagon szedve a legismertebbeket):

<b>Veszélyforrás-elemzési módszer</b>	
<b>Angol elnevezés</b>	<b>Magyar elnevezés</b>
	Meghibásodás elemzése MSZ-09-96611-85
Safety Review	Biztonságtechnikai áttekintés
Preliminary Hazard Analysis (PHA)	Előzetes veszélyforrás-elemzés
<b>Hazard and Operability Studies (HAZOP)</b>	<b>Működésbiztonsági veszélyelemzés MSZ-09-960614-87</b>
„What if”Analysis	„Mi történik, ha” vizsgálata
<b>Checklists</b>	Ellenőrző lista
Human Error Analysis	Emberi hiba és ok faelemzés MSZ-09-960619-87
Relative Ranking	Veszélyforrások relatív rangsorolása
<b>Fault Tree Analysis (FTA)</b>	Hibafa elemzés MSZ-09-960615-87
Event Tree Analysis (ETA)	Eseményfa elemzés MSZ-09-960616-87
Cause/Consequence Analysis	A meghibásodás okainak és következményeinek vizsgálata
<b>Risk Based Inspection (RBI)</b>	Diagnosztikai vizsgálatokra épülő objektív információelemzés

9. táblázat. Az alkalmazott veszélyforrás-elemzési módszerek (vastagon szedve a legismertebbek) [3–4]

#### **Veszélyazonosító (HAZID) technikák [4]**

*Módszerei:*

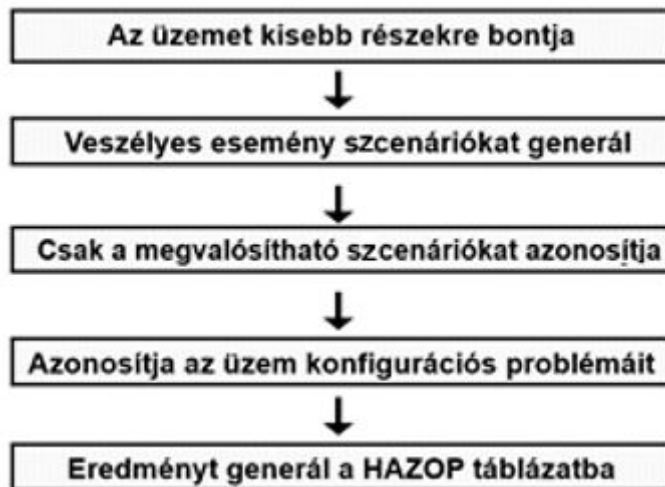
- *Komparatív módszerek*, pl. ellenőrzési listák és auditok.
- *Alapvető módszerek*, pl. Deviation Analysis, Hazard and Operability Studies, Energy Analysis, Failure Modes & Effects Analysis.
- *Meghibásodási logika*, pl. hibafák, eseményfák és ok-következmény diagramok

*HAZID technikák*

- Az üzemet külön egységekre bontja.
- Veszélyes esemény szcenáriót generál.
- Megkülönbözteti a megvalósítható és nem megvalósítható szcenáriókat.
- Az üzem konfigurációs problémáit szabályok alapján deríti fel.



A HAZID eljárás folyamata:



14. ábra. A HAZID eljárás lépései

A veszély komolyságát kategóriákba sorolással értékeli. A veszély komolysága [4]:

Kategória	Elnevezés	Jellemzők
I.	<b>katasztrofális</b>	halálozás a rendszer elpusztul
II.	<b>kritikus</b>	súlyos sérülések vagy betegségek a rendszer súlyosan károsodik
III.	<b>marginális</b>	kiseb sérülések vagy betegségek a rendszer kismértékben károsodik
IV.	<b>jelentéktelen</b>	nincs sérülés vagy betegség a rendszer nem sérül

10. táblázat. A veszély kategóriái [4]

A veszélyek lehetséges gyakoriságát szintekbe sorolják.

Leírás	Szint	Speciális egyéni jellemző	Készlet vagy leltár
<b>Gyakori</b>	A	Valószínűleg gyakran fordul elő	Folyamatosan megfigyelhető
<b>Valószínű</b>	B	Az üzem élete során néhányszor előfordul	Gyakorta elő fog fordulni
<b>Alkalmanként</b>	C	Az üzem élete során előfordulhat	Néhányszor elő fog fordulni
<b>Csekély</b>	D	Az üzem élete során nem valószínű, hogy előfordulhat, de megeshet	Valószínűtlen, de várhatóan előfordulhat
<b>Valószínűtlen</b>	E	Annyira valószínűtlen, hogy joggal tételezzük fel, nem fog előfordulni	Előfordulása valószínűtlen, de lehetséges

11. táblázat. A veszélyek lehetséges gyakorisági szintjei [4]

Fentieknek megfelelően egy veszélyértékelő mátrix hozható létre. [4]

**Veszélyértékelő mátrix**

Előfordulás gyakorisága	VESZÉLYKATEGÓRIÁK			
	I. Katasztrofális	II. Kritikus	III. Marginális	IV. Elhanyagolható
(A) gyakori	1A	2A	3A	4A
(B) valószínű	1B	2B	3B	4B
(C) alkalmanként	1C	2C	3C	4C
(D) csekély	1D	2D	3D	4D
(E) valószínűtlen	1E	2E	3E	4E

12. táblázat. A veszélyek értékeléséhez használatos mátrix [4]

Veszély kockázati indexe	HRI Hazard Risk Index
1A, 1B, 1C, 2A, 2B, 3A	I.
1D, 2C, 2D, 3B, 3C	II.
1E, 2E, 3E, 3E, 4A, 4B	III.
4C, 4D, 4E	IV.

13. táblázat. A mátrix celláinak besorolása [4]

**Javasolt HRI kritériumok**

- I. elfogadhatatlan
- II. nemkívánatos (menedzsment döntése kell)
- III. elfogadható a menedzsment számára
- IV. ellenőrzés nélkül

Leírás	Szint	Előfordulás gyakorisága	Potenciális mennyiségi megfeleltetések
<b>gyakori</b>	A	nagy	$10^{-1}$
<b>valószínű</b>	B	↓	↕
<b>néha</b>	C	közepes	$> 10^{-3}$
<b>ritkán</b>	D	↓	$> 10^{-4}$
<b>valószínűtlen</b>	E	alacsony	$> 10^{-6}$

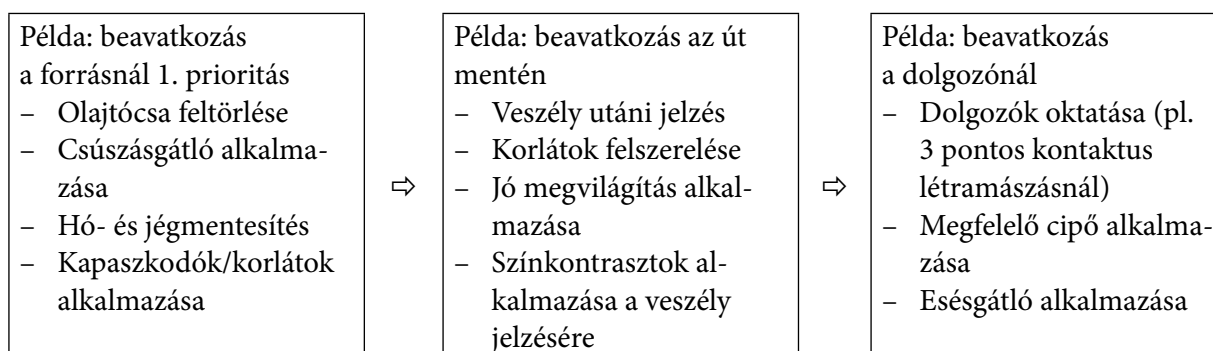
14. táblázat. A minőségi gyakoriságok és a mennyiségi megfeleltetése [4]

A veszélyelemzés lépéseit foglalja össze a következő ábra a projekt végrehajtása során:

A veszély és kockázatelemzés típusa	Az ipari projekt fázisa
Előzetes veszélyelemzés/ Preliminary Hazard Survey	Előzetes vizsgálat
HAZOP, What if, FMEA, Fault-Tree elemzések	Megvalósítási hatástanulmány
	Projekt elfogadása
Event-Tree Analysis, Reliability Analysis, Risk Analysis	Részletes tervezés
	Létrehozás
Mérnöki felügyelet	Átvétel
Biztonsági felügyelet és audit	
Biztonsági mintavétel, Walk-through Survey	Működés

15. ábra. Veszélyelemzés a projektvégrehajtás különböző fázisaiban [4]

Egy veszély kezelése azt jelenti, hogy a veszélyt kiküszöböljük, vagy olyan szintre csökkentjük, mely nem okoz kárt a dolgozóknak. A kezelés elsődlegesen a veszély forrásánál kezdődik. Ha ott nem lehet beavatkozni, a beavatkozást a forrástól a dolgozóig vezető úton kell megtenni. Ha másként nem megy, a beavatkozást a dolgozónál kell megtenni. A beavatkozás szintjeit mutatja a 16. ábra.



16. ábra. A beavatkozás szintjeinek bemutatása egy példán keresztül (Forrás: a szerzők által készítve)

### Mit jelent a rendszerbiztonság?

A rendszerbiztonsági elv speciális technikai és menedzsmenteszközök alkalmazását jelenti a veszélyek szisztematikus előrelátására és kezelésére egy projekt, program vagy tevékenység teljes életciklusára.

Az elv megkívánja a biztonsági elemzés és veszélykezelés eljárásainak alkalmazását, egy rendszer koncepció fázisától kezdve a tervezési, megvalósítási, termelési, tesztelési és felhasználási fázisain folytatva, egészen a rendszer megszüntetéséig, bezárásáig.

## 1.9 KOCKÁZATELEMZÉS, KOCKÁZATKEZELÉS

**A kockázatelemzéseknek két típusa van:**

- deduktív, illetve
- induktív eljárások.

A deduktív eljárások **feltételeznek egy végeseményt, és azokat az okokat keresik**, amelyek ezt a végeseményt előidézték.

Az induktív eljárások esetén **feltételezik egy elem meghibásodását**. A lefolytatott elemzés **rögzíti azokat az eseményeket, amelyeket ez a meghibásodás okozhat**.

**Kockázatkezelés más szempontú típusai:**

- inaktív (figyelmen kívül hagyják)
- reaktív (csökkentés)
- interaktív (kezelés)
- proaktív (tervezés)

**Megoldható a következő módokon:**

- Kockázat elkerülése – Nem végez kockázattal járó tevékenységet, vagy kevésbé kockázatos tevékenységgel helyettesíti.
- Kockázat ellenőrzés alatt tartása – Lehet tudatos és ismerethiányos.
- Kockázat átruházása – Például biztosítások kötésével.
- Kockázat csökkentése – A kockázatot szisztematikusan csökkentik a kockázat-ellenőrzési módszerek segítségével.

**Kockázatkezelés lépései:**

- kockázatbecslés és tervezés (azonosítás, előrejelzés, analízis, tervezés)
- műveleti kockázatcsökkentés (detektálás, diagnosztizálás, korrigálás)

**Környezeti kockázatok:**

- áradások, árvizek
- hurrikánok, forgószelek
- földrengések, cunamik
- iszapömlések, lavinák
- erdőtüzek
- mérgezgáz-felhők
- klímaváltozás, tengerszint-emelkedés

**Technológiai kockázatok**

- tüzek, robbanások
- mérgező vegyszerek kikerülése
  - gyártóüzemből
  - szállítás közben
- olajfoltok
- nukleáris balesetek

**Kockázat-ellenőrző/-kezelő eljárások**

- Inherens biztonságú kialakítás (beépített biztonság)
- Hibatűrő kialakítások (egyszeri vagy többszörös hibára)
- Hibával szembeni intézkedések
- Megfelelő információ a maradvány kockázatokról
- Igazgatási ellenőrzések (pl. az operátorok kiképzésébe beépített előírások stb.)
- Más kockázatcsökkentő intézkedések
- Korrigáló és megelőző intézkedések
- Dokumentumok ellenőrzése

**Következményanalízis vagy félkvantitatív kockázatelemzés [4]**

*A lehetőségek vizsgálata különféle veszélyazonosító technikákkal, mint:*

- előzetes veszélyelemzés (pha)
- veszély és működőképesség vizsgálat
- biztonsági audit
- hibafa elemzés (Fault tree analysis)
- eseményfa elemzés (Event tree analysis) stb.

*Következménymodellek*

- Veszélyazonosító technikákkal egy reális scenáriót határoznak meg.
- Majd a scenárió fizikai hatását számítják megfelelő modellekkel, úgymint:
  - kifolyási modell
  - diszperziós modell
  - nyílttéri gőzfelhő-robbanási modellek
  - tűzsugárkiterjedés-számító modellek
  - BLEVE nyomáshulláma által okozott sérüléseket számító modellek
  - tűzgömb hősugárzása által okozott sérüléseket számító modellek
  - tócsatűz hősugárzása által okozott sérüléseket számító modellek stb.

*Rendelkezésre álló technikák*

- Tűz és robbanási index (Dow index) és toxicitási index
- A tüzek, robbanások és mérgezőanyag-kibocsátások eredményeként valószínűsíthető sérülések számítása és ezek kombinálása azok előfordulási valószínűségeivel egyéni kockázat és társadalmi kockázat formájában
- A második eljárás reálisabb a káros esemény által érintett valószínű távolságok meghatározásában.
- A hatások számításához rendelkezésre álló matematikai modellek
- Nyomás alatt lévő folyadékok kibocsátási sebességét számító modellek
- Szélirányban az alsó robbanási koncentrációt számító (LEL) modellek
- LEL koncentráció vonalakat talajszinten számító modellek
- A robbanási tartományban lévő gáz tömegét számító modellek (csak nyílt téri gőzfelhők esetén)
- Nyílt téri gőzfelhő berobbanása által keletkezett nyomáshullám által okozott sérüléseket számító modellek
- BLEVE során a keletkezett robbanási tartományban lévő gáz tömegét számító modellek
- Tűzgömb sugarát számító modellek

- Tűzgömb létezési idejét számító modellek
- Hősugárzási fluxust számító modellek
- Hődózist számító modellek

**Dow és Mond indexek [4]**

A két index összefügg, a Mond index a Dow index kiterjesztése. A Dow index tűz- és robbanásveszélyt számít egy adott folyamat lépésére, figyelembe véve a folyamatban kezelt anyag lobbanási és reaktivitási hajlamát, általános és különleges folyamatkörülmények között. A Mond index a fentiek mellett az anyag toxicitását is figyelembe veszi.

tűz- és robbanásveszély jelzőszáma :  $(F \& EI) = MF \times (GPH) (SPH)$

Toxicitási index :  $\frac{Th + Ts (1 + GPH + SPH)}{100}$

- ahol,
- MF = anyagi faktor (Material Factor)
  - SPH = speciális folyamatveszély (Special Process Hazard,  $F_2$ )
  - GPH = általános folyamatveszély (General Process Hazard,  $F_1$ )
  - Th = Toxicitás faktor az NFPA (National Fire Protection Association) hazard index alapján (0–4)
  - Ts = korrekciós faktor a toxicitásra, a maximálisan megengedhető koncentráció (MAC) érték (ppm) alapján.

Az egység kockázati faktora ( $F_3$ ) számítható az általános folyamatveszély ( $F_1$ ) és a speciális folyamatveszély ( $F_2$ ) faktorok szorzatával:

$$F_3 = F_1 \times F_2$$

A Dow index számítható az anyagi faktor (MF) és az egység kockázati faktora ( $F_3$ ) szorzatával:

$$F \& EI = MF \times F_3$$

Toxicitási és korrekciós faktorok a maximálisan megengedhető koncentráció (MAC) -értékekhez:

NFPA indexszámok	Toxicitás faktor (Th)
0	0
1	50
2	125
3	250
4	325

MAC (ppm)	TS
5 és kiömléskor	125
5 – 50	75
>=50	50

**Az F&EI Dow index számítása [4]**

A tűz- és robbanási index számításának kezdőpontja az anyagi faktor (MF, material factor) számítása. Ez a tényező a legveszélyesebb anyagok, vagy azok keverékeinek energiapotenciáljával arányos. Értéke 0–40 között változhat. Meghatározása két paraméter, a lobbanékonyság és a reaktivitás alapján történik. Az anyagi faktor értékei táblázatban találhatóak vagy számíthatók. Az index számításánál feltételezik, hogy az ipari folyamatban minimum 2500 kg lobbanékony, éghető vagy reaktív anyaggal dolgoznak, kevesebb anyaghasználat esetén a kockázatot túlbecsüljük.

Az anyagi faktor, mely a lobbanási hajlam és a reakcióképesség függvénye, a következő módon számítható:

- Szükséges az anyag lobbanáspontja vagy korrigált égéshője ( $H_{cv}$ ), utóbbit meghatározhatjuk az égéshő és a 27 °C-on vett gőznyomás szorzatával.
- A lobbanási faktor ( $N_F$ ) meghatározható a következő táblázat alapján a lobbanásponti adat vagy a korrigált égéshő ismeretében.
- Meghatározható az adiabatikus bomlási hőmérséklet a vegyületre.
- Ennek alapján meghatározható a reaktivitási faktor ( $N_R$ ) a táblázatból a bomlási hőmérsékletekből.
- $N_F$  és  $N_R$  értékei alapján az anyagi faktor számértéke a táblázatból kiolvasható.

		adiabatikus bomlási hőm. $T_d$ (K)	<830	830–935	935–1010	1010–1080	>1080	
			reaktivitás $N_R$					
lobbanáspont, °C	$H_{cv}$ , kJ.bar/mol		$N_R = 0$	$N_R = 1$	$N_R = 2$	$N_R = 3$	$N_R = 4$	
-	$<4 \times 10^{-5}$	lobbanékonyság $N_F$	$N_F = 0$	0	14	24	29	40
>100	$4 \times 10^{-5}$ –2,5		$N_F = 1$	4	14	24	29	40
40–100	2,5–40		$N_F = 2$	10	14	24	29	40
-20 – +40	40–600		$N_F = 3$	16	16	24	29	40
< -20	>600		$N_F = 4$	21	21	24	29	40
			anyagi faktor (MF)					

15. táblázat. A lobbanékonyság és a reaktivitás segítségével számítható anyagi faktor (Forrás: a [4] alapján a szerzők által szerkesztve)

Példa a táblázatból történő leolvasáshoz: az etilén-oxid lobbanékonysága 4, reaktivitása 3, a táblázat alapján anyagi faktora 29. A butil-acetát fenti két indexe 2 és 2, így anyagfaktora 24.

A számítással történő meghatározás menete a következő:

A lobbanékonyság számítható a lobbanáspont vagy a korrigált égéshő alapján, utóbbit az égéshő és a 300 K hőmérsékleten vett gőznyomás szorzatával számítjuk ki. 300 K alatti forrásponttal rendelkező vegyületek esetén a gőznyomás értékét 1 bar-nak vesszük. A lobbanékonyság számításához használjuk az adiabatikus bomlási hőmérsékletet ( $T_d$ ).

Például a propilén-oxid lobbanáspontja 20 °C alatti, égéshője 30,703 kJ/g, molekulatömege 58, moláris égéshője  $30,703 \times 58 = 1780,78$  kJ/mol, 300 K hőmérsékleten gőznyomása 0,745 bar, bomlási hőmérséklete 675 °C.

-20 °C alatti lobbanáspont-hoz tartozó lobbanékonysági veszély értéke 4. Ez ellenőrizhető  $H_{cv}$  számításával:  $H_{cv} = 1780,78 \times 0,745 = 1326$  J bar/mol, melyhez táblázatból 4-es lobbanékonyság tartozik.

*Az indexek számítása*

- Azonosítjuk a kockázatos műveleteket.
- Meghatározzuk az anyagi faktort (MF) minden műveleti egységre (lobbanási és reaktivitási faktorok).
- Meghatározzuk a tűz és robbanási (F&EI) indexet és a probléma hatásterületét minden műveleti egységre. Utóbbit mint a hatásterület sugárát diagramokról olvassuk le, és a sugár ismeretében számítjuk ki a hatásterületet.
- Az egység kockázati faktora ( $F_3$ ) és az MF ismeretében diagramról leolvassuk a sérülési faktor (damage factor) számértékét.
- Számítjuk a hatásterület és a sérülési faktor szorzataként a behatás tárgyának maximális valószínűséggel bekövetkező sérülését [Maximum Probable Property Damage (MPPD)].
- A veszély mértéke F&EI és  $T_h$  értéke alapján is becsülhető.

F & EI index	Toxicitási index	Veszély mértéke
1–60	1–6	enyhe
61–96	6–10	mérsékelt
97–127	> 10	közepes
128–158	> 10	nagy
> 159	> 10	komoly

16. táblázat. A tűz és robbanási, illetve a toxicitási index felhasználása a veszély mértékének meghatározásához (Forrás: a [4] alapján a szerzők által szerkesztve)

*A kockázatelemzés alapelvei [4]*

1. Minden releváns kockázatot szisztematikusan meg kell határozni
  - Csak a nagy értékekkel kell foglalkozni.
  - Figyelembe kell venni a munka veszélyes aspektusait.
  - Vegyük figyelembe és kritikusan nézzük a létező biztonsági ellenőrzéseket és intézkedéseket.
2. Az elemzés során gyakorta fellépő feladatok
  - Az aktuális gyakorlatra kell figyelni.
  - Figyelembe kell venni nem rutinszerű műveleteket.
  - Figyelni kell a változásokra, zavarokra.
3. Mindenkit figyelembe kell venni, akit e kockázat érinthet, beleértve az üzem látogatókat, szállítókat és az üzem környezetében lévő embereket.
4. Figyelembe kell venni és objektíven kezelni az ellenőrzési intézkedéseket.
5. A védelmi intézkedések szintje meg kell egyezzen a kockázatok szintjével (ALARP szintű kockázatokkal).
6. A legtöbb esetben először egy durva közelítés alkalmazandó, meghatározandó, hogy kell-e részletesen vizsgálni, ha igen, akkor elvégezni.

A kockázatelemzésnél valószínűségeket alkalmazunk.

Veszélyes anyagokkal dolgozva a műveleti aktivitás kockázata két elemből áll:

- egy bizonyos nemkívánatos esemény következményei
- bizonyos következmények előfordulási valószínűsége



Három valószínűségi típust különböztetünk meg:

- az iniciáló esemény valószínűségét
- a tervezett ellenintézkedések működésének valószínűségét
- egy baleset bizonyos adott következményeinek valószínűségét

**A kockázattal kapcsolatos hét fő szabály**

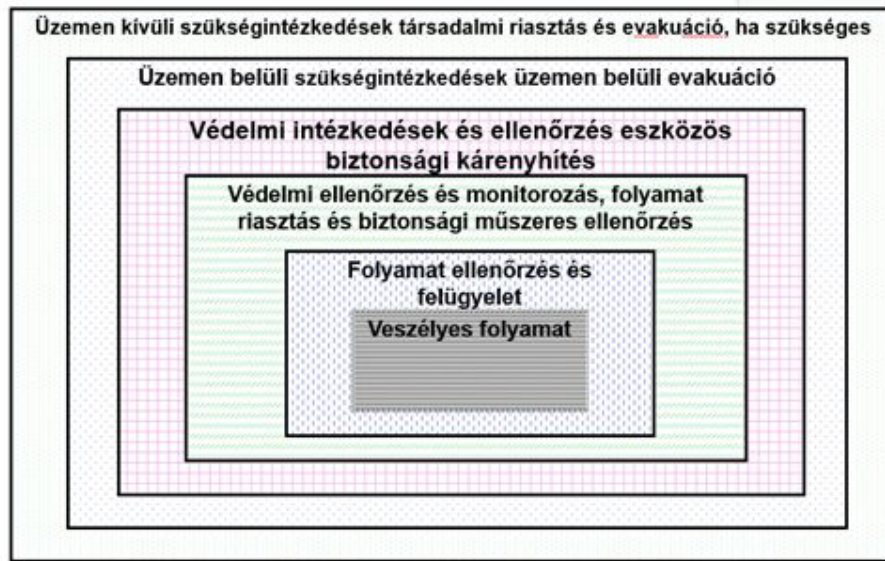
1. Fogadd el és alkalmazd a közösség mint legitim partner véleményét.
2. Körültekintően tervezz, és valósítsd meg elképzeléseidet.
3. Hallgass a közösség speciális aggályaira (a kommunikáció oda-vissza irányú kapcsolat).
4. Légy becsületes, egyenes és nyitott (a bizalom és a hitelesség a legértékesebb kincs).
5. Munkádat koordináld, és működj együtt más hiteles forrásokkal.
6. Elégítsd ki a média igényeit (minden médium igényli a kockázattal kapcsolatos információt is).
7. Beszélj világosan és együttérzően (a nagy nyilvánosság felé használj egyszerű, nem szakmai nyelvezetet).

A kockázatelemzésre alkalmazható szoftverek listáját foglalja össze a 17. táblázat.

No.	Név	Alkalmazás
1.	SAFETI	Onshore Risk Analysis
2.	SFU	Offshore Risk Analysis
3.	CAFTAN	Event Tree Analysis
4.	ETRA	Event Tree Analysis
5.	HAZSEC	HAZOP Study
6.	HAZTRAC	HAZOP Recommendation Tracking
7.	PHAST	Consequence Analysis
8.	WHAZAN	Consequence Analysis
9.	EFFECTS	Consequence (Effects) Modeling
10.	DAMAGE	Consequence (Damage) Modeling
11.	PC-FACTS	Failure & Accident Databank
12.	ASAP	Event Tree Analysis
13.	FMECA	Failure Mode Effects & Criticality Analysis
14.	ANEX	Life Time Analysis & Failure Estimation
15.	E&P FORUM	Hydrocarbon Leak & Ignition Database
16.	ALOHA	Consequence Analysis
17.	CLASS	Hazardous Area Risk & Classifications
18.	RISK CURVES	TNO Individual & Group Risk computations
19.	RISKA T	Risk Analysis model of Health & Safety Executives, UK
20.	FACTS	TNO Frequency Estimation Database
21.	OREDA	DNV Frequency Estimation Database
22.	FRED	Consequence Analysis software of Shell, UK
23.	EAHAP	Consequence modeling software of Energy Analysts Inc., US)

17. táblázat. Kockázatelemzésre alkalmas szoftverek (Forrás: a [4] alapján a szerzők által szerkesztve)

A védelmi elemzés egymásba ágyazódó rétegeit mutatja be a 17. ábra [4]:



17. ábra. A védelmi elemzés rétegei [4]

## 1.10 KÖVETKEZMÉNYANALÍZIS

Példaképpen bemutatjuk a BLEVE robbanási és tűzesemény következményeinek elemzési eredményeit különböző statikus és dinamikus nyomás alatti tartályok esetére. [4]

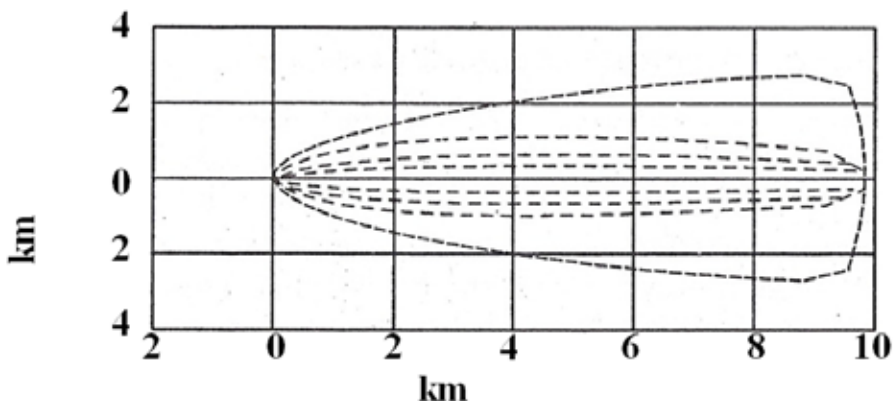
BLEVE szcenáriók és a következmények távolságai			
tartálytípus	mennyiség (t)	100% halálozás távolsága	1% halálozás távolsága
tartályautó	12	137 m	500 m
tartályautó	20	162 m	600 m
vasúti tartály	50	218 m	700 m
Horton gömbtartály	140	305 m	940 m
Horton gömbtartály	1150	624 m	1834 m

18. táblázat. BLEVE modell következményei különböző statikus és mobilis nyomás alatti tartályok esetén (Forrás: a [4] alapján a szerzők által szerkesztve)

Másik példaképpen bemutatjuk egy elfolyás ammóniatartályból esemény következményelemzésének eredményeit [4]:

*Szcenário:* 20” átmérőjű tartályból 10” átmérőjű csövön folyik ki az ammónia.

*Következmény:* A közvetlenül egészségkárosító koncentrációfront (IDLH) távolsága szélirányban 9,9 km.

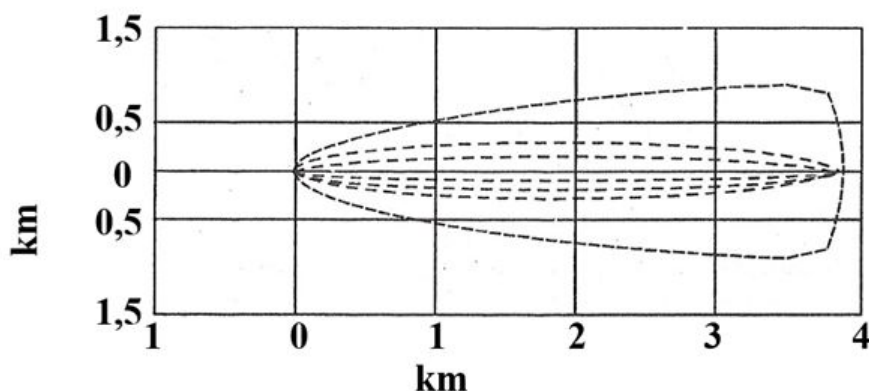


18. ábra. Ammóniaömlés koncentrációinak alakulása egy káresemény során [4]

Harmadik példaként bemutatjuk H<sub>2</sub>S tartalmú savanyú földgáz-tartályból elfolyás következményelemzésének eredményét.

*Szcenário:* egy 42” átmérőjű cső teljes keresztmetszeti törése

*Következmény:* A közvetlenül egészségkárosító koncentrációfront (Immediately Dangerous to Life or Health concentration, IDLH) távolsága szélirányban 3,9 km.



19. ábra. Kénhidrogén koncentrációinak alakulása egy káresemény során [4]

### 1.11 VESZÉLYES ÜZEMEK ELFOGADHATÓ KOCKÁZATAINAK KÉRDÉSEI

- Kockázati szintek, egyéni kockázatok, társadalmi kockázatok, önkéntes és nem önkéntes kockázatok, kockázatok észlelése.
- Az élet filozófiájának és etikájának alapkérdései.
- Mekkora az elfogadható kockázat?
- A kockázat teljesen nem szüntethető meg, de adott költség mellett minimalizálható.
- Meddig mehetünk el ezen az úton?

**Az elfogadható kockázat kritériuma**

- Ha a kockázatot halálosbaleset-gyakorisággal fejezzük ki (**FAFR**, Fatal Accident Frequency Rate) és úgy számítjuk, hogy az óránkénti kitettség alatt bekövetkező halálozások számát szorozzuk  $10^8$  számmal. Az 1000 munkásnál 50 év alatt ( $1000 \times 50 \times 2000 = 10^8$  óra) bekövetkező halálozások számát halálos baleseti rátának (**FAR** – Fatal Accident Rate) nevezzük. Ez a halálozások száma  $10^8$  munkaóra alatt. Például, ha  $FAR = 4$ , akkor 1000 munkásból, 20 éves koruktól 70 éves korukig dolgozva a végén 4 munkás hal meg balesetben az 50 év során, és 996 éli túl.
- A FAFR az ipari balesetek halálozási számát fejezi ki egy embercsoportra az életük során végzett munkavégzésre vonatkoztatva.
- Léteznek bizonyos javasolt üzemikockázat-elfogadási kritériumok, de ezek eléggé szubjektívek.

**Általában elfogadottak a következő alapelvek:**

1. Az életet nem szabad veszélyeztetni.
2. Minden egyéni kockázat esetén a FAFR értéke 0,4 vagy 0,3 alatt kell legyen.
3. A társadalmi elfogadható kockázat megállapítása átgondolás és megvitatás kérdése, a következő szempontok figyelembevételével. Elfogadható, ha:
  - a) 100 évente 1 esetnél kisebb gyakorisággal fordul elő,
  - b) FAFR értéke kisebb 0,001-nél,
  - c) az üzem halálozási kockázata egy külső emberre nézve évente kisebb, mint  $1/10^5$ , egy magas statisztikai konfidenciaszint mellett,
  - d) egyes emberek elhalálozhatnak, akkor ennek gyakorisága  $1/10^7$  évente és személyenként, vagy  $1/10^8$  évente és személyenként.
  - e) kritériumtól függetlenül, minden egyes eseménynél törekedni kell a halálozások számának csökkentésére.

Gondoljuk át a következő kérdést, vajon egy baleset gyakorisága, mely 1000 ember halálával járhat, 1000-szer kisebb kell-e legyen, mint egy másik baleset gyakorisága, mely 1 ember halálával jár? A kockázat elfogadása erősen szubjektív! Bármely balesetben a halálozások számát kell minimalizálni, ez a fő cél. A veszteségek ellenőrzése és megelőzése segíti a cél elérését.

**Veszteségek megelőzése, és a teljes veszteség ellenőrzése**

A fő veszélyforrás egy a környezet felé elhelyezkedő gát sérülésében nyilvánul meg.

A veszteségek megelőzése a következőt jelenti.

1. A technológia lényegének és veszélyeinek áttekintése.
2. Hangsúlyt helyez a menedzsmentre.
3. Nem próbálgatáson alapuló rendszer alkalmazása.
4. Törekvés a környezet felé való izoláció sérülésének elkerülésére, melynek eredménye tűz, robbanás vagy mérgező anyag kibocsátása.
5. A veszélyazonosító technikák fejlesztése.
6. A kockázatkritériumok elveinek alkalmazása és a veszély mértékének meghatározása.
7. A veszélyek mennyiségi értékelésének fejlesztése.
8. A megbízhatósági mérnöki ismeretek alkalmazása.
9. A függetlenség elvének alkalmazása a kritikus értékelések és felügyeletük során.
10. Vészhelyzetekre vonatkozó tervezés.
11. A gyakorlat, a törvények és rendeletek, a szabványok illesztése a technológiai változásokhoz.

*A teljes veszteség-ellenőrzés területei:*

1. Egészség károsodása.
2. Üzletmenet megszakadása.
3. Vagyoni károk.
4. Tűz / robbanás / mérgező anyagok kibocsátása.
5. Környezetszennyezés.
6. Biztonság.
7. Termékfelelősség.

*Ezek elkerülhetők:*

- A termelési veszteségi helyzet azonosítása.
- A veszteségek felmérése.
- A veszteségeket minimalizáló módszerek keresése.
- A módszerek alkalmazása.

*Mindezek ellenére előfordulhatnak olyan események, melyek vészhelyzethez vezethetnek:*

- Az emberi viselkedés megjósolhatatlan.
- A véletlen, az elégedettség, a biztonság hibás értelmezése, indokolatlan nyugalom.
- Kis valószínűségű események.
- Nehezen megjósolható események.
- Nagy valószínűségű, de a következmények hibás becsülésének esetei.
- Hibás prioritással jelölt esetek.

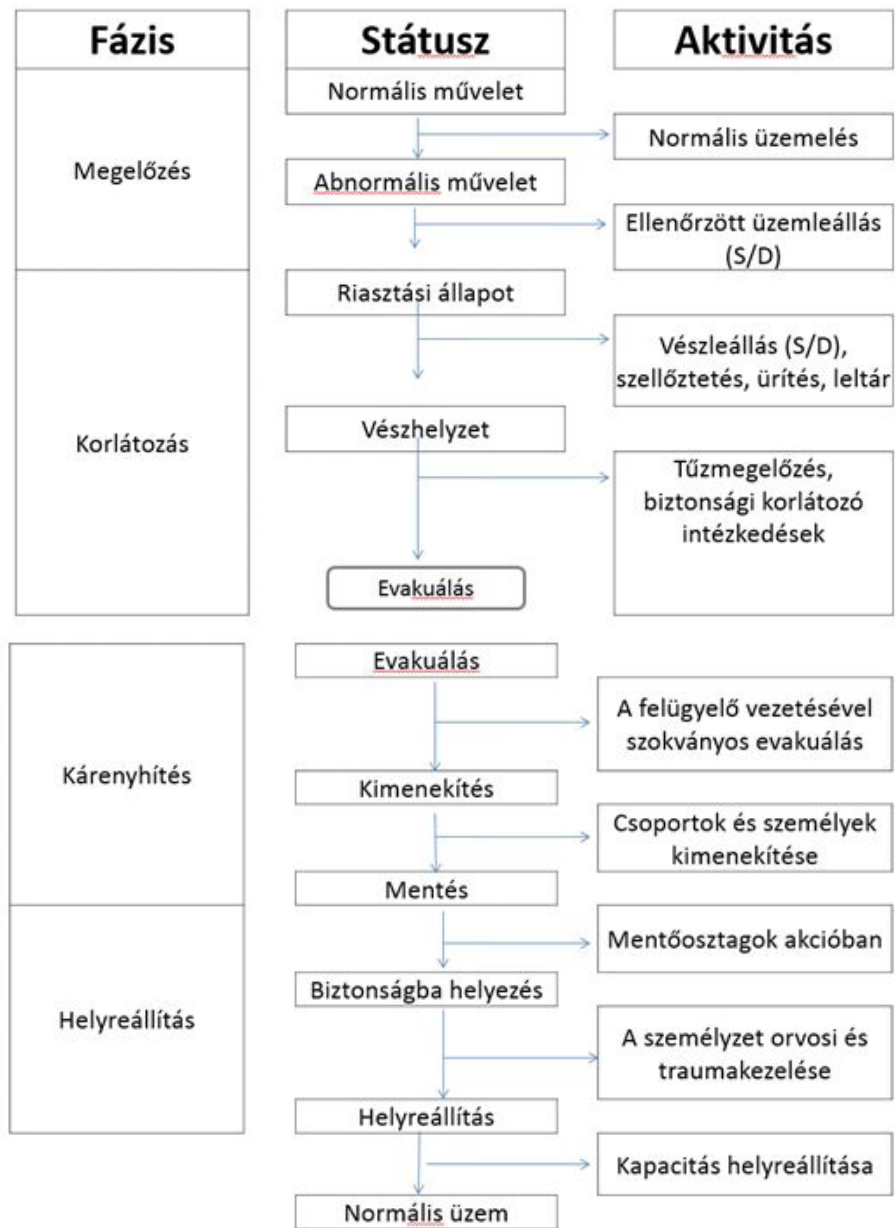
*Készenlét a veszélyre és a válaszcímre:*

A veszélyre való felkészülés már a tervezési stádiumban megkezdődik. Integrált része a tervezési, kivitelezési, műveleti és karbantartási folyamatoknak.

Bármely időben veszélyhelyzet állhat elő, ha:

- A folyamat paraméterei megváltoznak.
- A berendezés vagy műszer egy része meghibásodik.
- Az ellenőrző rendszer meghibásodik.
- Emberi hiba történik.
- Természeti katasztrófa, pl. árvíz, szélvihar, villámcsapás, földrengés történik.
- Társadalmi felfordulás történik.
- Ártó támadás, szabotázs történik.

Vészhelyzeti események sorrendje:



20. ábra. A vészhelyzeti események sorrendjének összefoglalása [4]

*A vészhelyzeti felkészültség elemei*

1. Az ÜZEM azonosítása.
2. A TERÜLET térképe.
3. Az üzem elrendezése.
4. Veszélyek és veszélyellenőrzés elhelyezkedése.
5. Anyagok biztonsági adatlapjai (Material Safety Data Sheets, MSDS).
6. Folyamatedényzet veszélyei és ellenőrzési lehetőségei.
7. Egyéb veszélyek és ellenőrzési lehetőségei.
8. Termelési hulladék ártalmatlanítása.
9. Korábbi balesetek/események rögzítése.
10. Gázkiömlés, koncentráció lehetséges területei.
11. Evakuációs terv.
12. Környezeti hatástanulmány.
13. Időjárási helyzetkép.
14. Eseménykontrollerek (Incident Controllers Ics).
15. Tartalék esemény kontrollerek (Deputy Incident Controllers Dy. Ics).
16. Terület főkontrollerek (Site Main Controllers SMCs).
17. Kulcsemberek listája.
18. Fontos dolgozók listája.
19. Gyülekezési pontok.
20. Vészhelyzeti ellenőrzőközpont (Emergency Control Center, ECC).
21. Tűz- és mérgezőanyag-ellenőrzési pontok helyei.
22. Orvosi pontok helyei.
23. Szállító- és evakuáló egységek elhelyezkedése.
24. Szennyezést ellenőrző pontok elhelyezkedése.
25. Egyéb részek elhelyezkedése.
26. Riasztók és szirénák elhelyezkedése.
27. Belső telefonvonal.
28. Külső telefonok.
29. Vészhelyzet deklarálására kijelölt személyek.
30. Vész hívások rögzítésére alkalmas eszközök és formátumok.
31. Törvény szerinti kommunikáció.
32. Elkülönítési távolságok.
33. Vész helyzeti utasítási kézikönyvek.

## 2. A VEGYIPAR MINT RENDKÍVÜL VESZÉLYES IPARÁG

---

**A vegyiparban a veszélyek tűz, robbanás és mérgezőanyag-kibocsátás formájában realizálódhatnak.**

- Ezek során betegség, sérülés, halál és anyagi károk jelentkezhetnek.
- Sérülhet a környezet.
- Sérülhetnek az emberek az üzemben belül és kívül, illetve a szolgáltatások.
- Hatásuk lehet rövid távú és hosszú távú.

**A vegyiparban magas a potenciális veszély, a következő okok miatt:**

- Veszélyes anyagok/vegyszerek/anyagkészletek
- Veszélyes üzemi körülmények / magas hőmérséklet/ magas nyomás / korróziós hatások kombinációi
- Exoterm reakciók
- Inkompatibilitások (pl. víz és fémnátrium)
- Változó környezeti feltételek
- Emberi tényezők
- Természeti katasztrófák

### 2.1 POTENCIÁLIS VESZÉLYFORRÁSOK A VEGYIPARBAN

#### A. Energiaforrások

- Folyamatvegyszerek, üzemanyagok, atomreaktorok, generátorok, akkumulátorok, gyújtóforrások, radiofrekvenciás energiaforrások, aktivátorok, sugárforrások
- Forgó gépek, erőgépek, aprítók, törők, futószalagok, daruk
- Nyomás alatti edények, mozgó és lehulló objektumok

#### B. Anyagok kibocsátása

- Elfolyások, szivárgások, kifújások
- Káros hatások, mérgezés, égés, zúzódás, biológiai hatások
- Lobbanékonyság, reaktivitás, robbanékonyság, korróziós hajlam, tűzelősegítő tulajdonságok és vegyszerek. Nedves felületek, korlátozott látás, kihullások, zajok, sérülések
- Porképződés, ködképződés, permetképződés

#### C. Tűzveszély

- Tűz, tűzterjedés, tűzgömb, hősugárzás
- Robbanás, másodlagos robbanás, dominóeffektus
- Zaj, füst, toxikus füst, kitettségek, egyéb hatások
- Szerkezetek összeomlása, repülő, leeső tárgyak, fragmentumok



**D. Folyamatok állapotai**

- Magas/alacsony/változó hőmérséklet és nyomás
- Stresszkoncentrációk, stressz-visszarendeződés, rezgés, zaj
- Szerkezeti sérülés vagy hiba, repülő tárgyak, összeomlás.
- Áramütés, hőhatás, figyelmetlen aktiválások, energiaforrások meghibásodása.
- Sugárzás, belső tűz, túlhevült edényzetek.
- Berendezés, ellátás, hevítés, berendezés meghibásodása.
- Indítási és leállási körülmények.
- Karbantartás, építés és felügyelet körülményei.

**E. Környezeti hatások**

- Az üzem hatása a környezetre, elfolyások, szennyezések, szállítások, szél- és fényviszonyok változása, gyújtóforrások, rezgések, zaj, sugárzási kölcsönhatások, tűzterjedés, robbanás
- A környezet hatása az üzemre (lásd előző pont)
- Klíma, nap, szél, hó, jég, talaj, szennyezők, nedvesség, környezeti állapotok
- Vis major, földrengés, gyújtogatás, árvíz, tájfun, előre nem látható körülmények
- Telephely elhelyezkedésének faktorai, embercsoportok, szállítási, közlekedési körülmények, helyszűke, geológia, geográfia
- Biztonság

**2.2 KÉMIAI BIZTONSÁG**

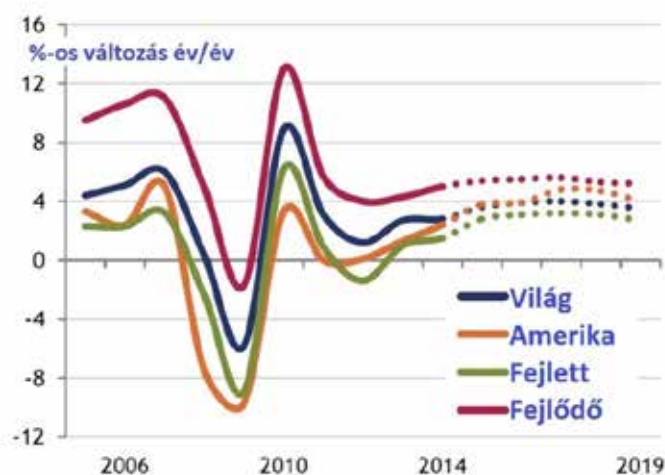
A világ népessége 2015. június 9-én 7,32 milliárd fő. [5] Az elmúlt évtizedekben a vegyipari termelés nagyságrendekkel megemelkedett, s ez a tendencia folyamatosan növekvő.

A 21. ábra a globális vegyipari termelési adatokat követi nyomon évről évre, és a %-os változásokat jeleníti meg az előző évhez viszonyítva. Természetesen az ábrán jól látható a világon végigsöprő gazdasági mélyponton jellemezhető időszak is, de azt követően ismét, a diagramon jól elkülönülő emelkedés tapasztalható.

A kémiai biztonság: a kemizációból, a vegyi anyagok életciklusából származó, a környezetet és az ember egészségét károsító kockázatok kezelését – csökkentését vagy elkerülhetővé tételét – célul kitűző, illetőleg megvalósító intézmények, tevékenységek olyan összessége, amely egyidejűleg tekintetbe veszi a fejlődés fenntarthatóságának szükségességét; a 2000. évi XXV. törvény a kémiai biztonságról szóló törvény szerint.

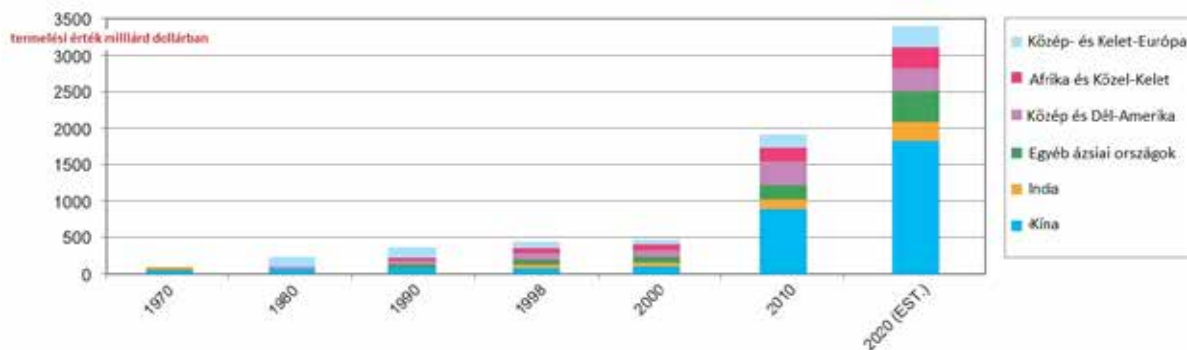
<b>A kémiai biztonságot szabályozó jogszabályok</b>	
<p>Hazai jogszabályok:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 2000. évi XXV. törvény a kémiai biztonságról</li> <li>– 44/2000. (XII. 27.) EüM rendelet a veszélyes anyagokkal és veszélyes készítményekkel kapcsolatos egyes eljárások, illetve tevékenységek részletes szabályairól</li> <li>– 25/2000. (IX. 30.) EüM-SZCSM együttes rendelet a munkahelyek kémiai biztonságáról</li> <li>– 38/2003. (VII. 7.) ESZCSM-FVM-KvVM együttes rendelet a biocid termékek előállításának és forgalomba hozatalának feltételeiről</li> <li>– 224/2008. (IX. 9.) kormányrendelet a kémiai terhelési bírság alkalmazásának részletes szabályairól</li> </ul> <p>európai uniós jogszabályok:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– 1907/2006/EK rendelet (REACH)</li> <li>– 1272/2008/EK rendelet CLP/GHS rendelet</li> </ul>	

19. táblázat. A kémiai biztonságot szabályozó dokumentumok összefoglalása  
(Forrás: a szerzők által készítve)



21. ábra. Globális vegyipari termelési adatok %-os változása az előző évhez viszonyítva  
(Forrás: [6] alapján a szerzők által szerkesztve)

A Közép-Európára jellemző adatok is egyértelmű termelési növekedést mutatnak a 22. ábrán. Magyarországon a vegyipari termelésből származó GDP kb. 5%-nyi érték, és Európában hozzávetőlegesen közvetlenül 2 millió, közvetetten 3 millió munkavállaló érintett. Meg kell azonnal említeni, hogy a gyógyszeripar komoly részét teszi ki az említett adatoknak, és az európai ember – óvatos orvosi becslések szerint is – jelentős mennyiségű gyógyszert fogyaszt. A 21. és a 22. ábra a globális vegyipari termelési adatokat foglalja össze.



22. ábra. A vegyipari termékek értéke milliárd dollárban kifejezve és jelölve az évek szerint  
(Forrás: [7] alapján a szerzők által szerkesztve)

### 2.2.1. REACH/GHS/CLP

A REACH az EU új jogszabálya, mely a vegyi anyagokról és a biztonságos felhasználásukról szól, ezek regisztrálásával, értékelésével, engedélyezésével és korlátozásával foglalkozik. A REACH rendelet 2007. június 1-jén lépett hatályba. A REACH nagyobb felelősséget hárít az iparra a vegyi anyagok által jelentett kockázatok kezelése tekintetében. A REACH létrehozta az Európai Vegyianyag-ügynökséget (ECHA), amely központi koordinációs és végrehajtási feladatot lát el a folyamat egészében.

„A REACH rendelet az EU valamennyi tagállamában, így Magyarországon is közvetlenül alkalmazandó. A jogszabály által kötelezett ipari szereplőknek, így alapvetően a vegyi anyagot gyártóknak, importálóknak és továbbfelhasználóknak hazánkban is eleget kell tenniük a rendelet előírásainak! Fontos tudni, hogy a rendelet nem csak a szigorú értelemben vett vegyipar szereplőire vonatkozik, annak kötelezettjei lehetnek más iparágak (pl. építőipar, műanyagipar, elektronikai cikkek gyártói stb.) is, ha tevékenységük során a rendelet értelmében vegyi anyagnak minősülő anyagot gyártanak, importálnak, vagy használnak fel.” [8]


A GHS (Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals = a vegyi anyagok osztályozásának és címkézésének globálisan harmonizált rendszere) az Egyesült Nemzetek vegyianyag-szabályozása 2008-ban.





A CLP (Classification, Labelling, and Packaging = az anyagok és keverékek osztályozásáról, címkézéséről és csomagolásáról) rendelet egy új besorolási és címkézési rendszert vezetett be a veszélyes vegyi anyagokra az Európai Unióban. A piktogramok is megváltoztak, és összhangban vannak az ENSZ (GHS) egyetemes harmonizált rendszerével.

„2015. június 1-jétől a vegyi anyagok és keverékek osztályozására és címkézésére vonatkozóan a vegyi anyagok osztályozására, címkézésére és csomagolására vonatkozó (CLP) rendelet lesz az egyedi irányadó jogszabály. A CLP kötelezi a vállalatokat veszélyes vegyi anyagaiknak a forgalomba hozatal előtti megfelelő osztályozására, címkézésére és csomagolására.” [9]

A veszélyt jelző piktogram kép egy címkén, melyen a figyelmeztető jel tájékoztat a kárról, amelyet az adott anyag az emberi egészségre vagy a környezetre kifejthet.

Az új piktogramok alakja csúcsán álló négyzet, melyben vörös színű oldalakkal határolt, fehér hátterű alapon jelennek meg a különböző veszélyszimbólumok. Ezek a régi, narancssárga négyzetű piktogramokat váltják fel. A régi piktogramok bizonyos esetekben még használhatók 2017. június 1-jéig.

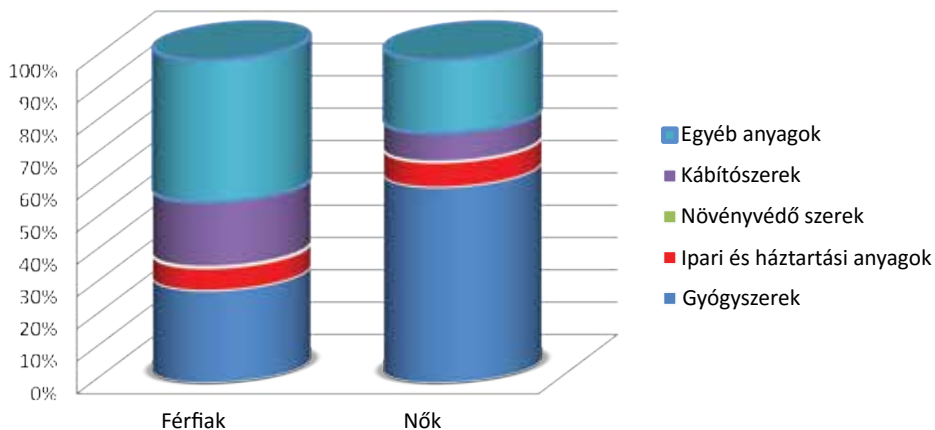
GHS/CLP szimbólum	Jelentése	Példa
 <b>GHS01 Robbanásveszélyes anyag</b>	<p>Instabil robbanóanyag, robbanásveszély; tömeg felrobbanásának veszélye</p> <p>robbanásveszély; súlyos veszélye robbanásveszély; tűz, robbanás vagy kivetés veszélye következhet be. A tűz hatására felrobbanhat.</p>	<p>tűzijátékok, lőszer, robbanóanyagok</p>
 <b>GHS02 Tűzveszélyes anyag</b>	<p>Rendkívül tűzveszélyes gáz gyúlékony gáz;</p> <p>Rendkívül tűzveszélyes aeroszol, tűzveszélyes aeroszol;</p> <p>Fokozottan tűzveszélyes folyadék és gőz; Tűzveszélyes folyadék és gőz</p> <p>tűzveszélyes szilárd anyag</p>	<p>benzin, szerves oldószerek, illékony anyagok</p>
 <b>GHS03 Oxidáló anyag</b>	<p>Tűzet okozhat vagy fokozhatja a tűz intenzitását; oxidáló hatású.</p> <p>Tűzet vagy robbanást okozhat; erős oxidáló hatású.</p>	<p>oxigén, oxidálószer</p>
 <b>GHS04 Gáz nyomás alatt</b>	<p>Nyomás alatti gázt tartalmaz; melegítés/melegedés hatására felrobbanhat.</p> <p>Mélyhűtött gázt tartalmaz; fagymarást vagy sérülést okoz.</p>	<p>gáztartályok, gázipalackok (ipari, egészségügyi)</p>
 <b>GHS05 Maró, korrozív anyag</b>	<p>Korrozív hatású lehet a fémekre.</p> <p>Súlyos égési sérülést és szemkárosodást okoz.</p>	<p>sósav, ammónia, ecetsav, lefolyótisztítók</p>

GHS/CLP szimbólum	Jelentése	Példa
 <b>GHS06 Mérgező anyag</b>	<p>Lenyelve halálos.                      Halálos sérülés történhet bőrrel érintkezve.                      Belélegezve halálos.                      Lenyelve mérgező.                      Mérgező bőrrel érintkezve.                      Belélegezve mérgező.</p>	<p>peszticidek,                      metanol,                      cianidvegyületek                      (vízoldható)</p>
 <b>GHS07 Figyelmeztetés</b>	<p>Légúti irritációt okozhat.                      Álmoságot vagy szédülést okozhat.                      Allergiás bőrreakciókat okozhat.                      Súlyos szemirritációt okoz.                      Izgatja a bőrt.                      Lenyelve ártalmas.                      Ártalmas bőrrel érintkezve.                      Belélegezve ártalmas.                      Károsítja a közegészséget és a környezetet,                      ózont a légkör felső rétegeiben.</p>	<p>mosószeresek,                      hűtőfolyadékok,                      tisztítószeresek</p>
 <b>GHS08 Egészségkárosító anyag</b>	<p>Halálos lehet lenyelve és a légutakba kerülve.                      Károsítja a szerveket.                      Károsíthatja a szerveket.                      Károsíthatja a termékenységet vagy a születendő gyermeket.                      Feltehetően károsítja a termékenységet vagy a születendő gyermeket.                      Rákot okozhat.                      Feltehetően rákot okoz.                      Genetikai károsodást okozhat.                      Feltehetően genetikai károsodást okoz.                      Belélegezve allergiás és asztmás tüneteket,                      és nehézlégzést okozhat.</p>	<p>terpentin,                      benzin,                      petróleum</p>
 <b>GHS09 Környeztkárosító anyag</b>	<p>Nagyon mérgező a vízi élővilágra, hosszan tartó károsodás.                      Mérgező a vízi élővilágra, hosszan tartó károsodás.</p>	<p>peszticid,                      benzin,                      terpentin</p>

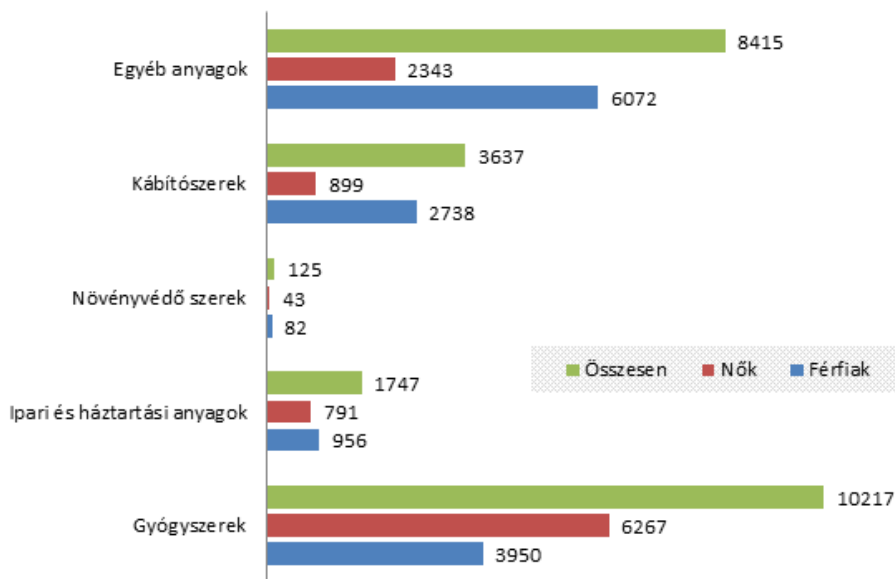
20. táblázat. A veszélyes vegyi anyagok (és keverékek) jelöléséhez használt 9 GHS/CLP szimbólum, jelentése és példák a használatára (Forrás: [10–14] alapján a szerzők által készítve)

### 2.2.2. VESZÉLYES ANYAGOK AZ EMBEREK KÖZELÉBEN

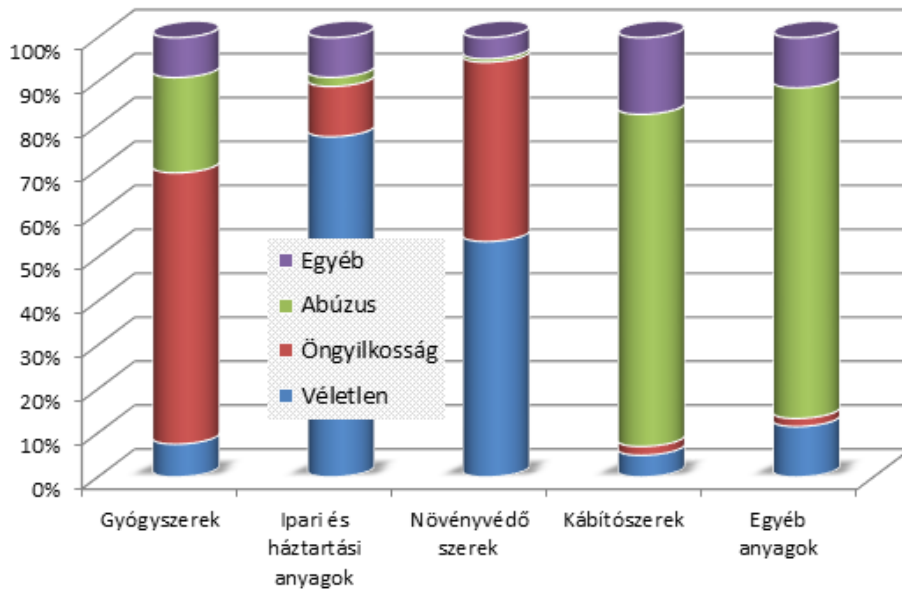
Az Országos Kémiai Biztonsági Intézet idén is elkészítette jelentését az előző évi mérgezéses esetekről. A beérkezett mérési adatok újraértelmezése kerül bemutatásra a következő diagramokon.



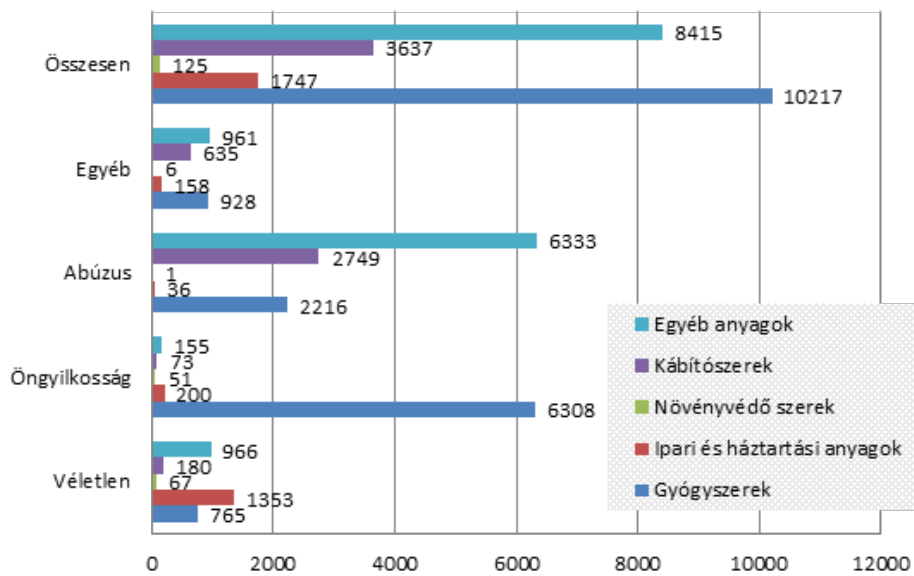
23. ábra. A mérgezések megoszlása a mérgezést előidéző anyagcsoportok szerint (%-os megoszlásban; forrás: [15] alapján a szerzők által készítve)



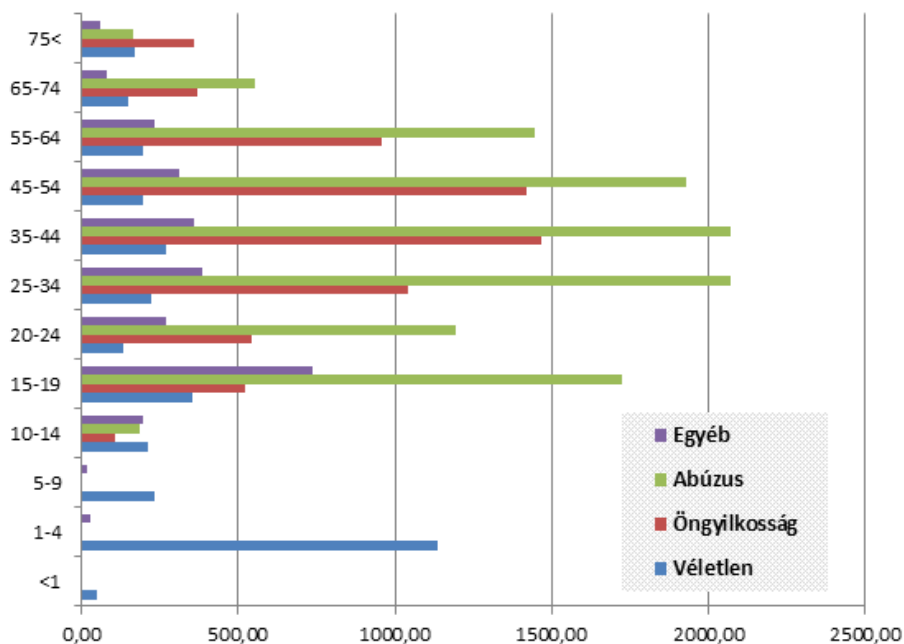
24. ábra. A mérgezések megoszlása a mérgezést előidéző anyagcsoportok szerint (esetszámok szerint; forrás: [15] alapján a szerzők által készítve)



25. ábra. A mérgezések indítékának anyagcsoportonkénti megoszlása (%-os ábrázolásban; forrás: [15] alapján szerzők által készítve)



26. ábra. A mérgezések indítékának anyagcsoportonkénti megoszlása (esetszámokkal; forrás: [15] alapján szerzők által készítve)



27. ábra. A mérgezések korcsoportonkénti megoszlása (Forrás: [15] alapján a szerzők által készítve)

Abúzus: orvosi (egészségügyi) aspektusból egy vegyszer (pl. gyógyszerek, drogok, alkohol, higító) használatának az a módja (egészségügyi indok nélkül), ami a szervezetet károsítja, a felhasznált vegyület mennyisége, helytelen alkalmazása, vagy annak jelentős időtartama miatt. Az abúzus a társadalom egészét érinti.

Az ipari tevékenységek, amelyeknek köszönhető a jelenlegi életszínvonalunk, rendkívüli mennyiségű vegyszert használnak fel. Természetesen szigorú előírások, szabályok figyelembevételével, és a hulladékgazdálkodás alkalmazásával a környezetet ért károk minimálisra (elfogadható értékre) szoríthatók.



A 21. táblázatban összefoglalásra került néhány tipikus ipari szennyezési forrás.

Az üzem típusa	A megtalálható veszélyes anyag
üzemanyagraktár	szénhidrogének (főként gázolaj és benzin)
élelmiszer-ipari üzem (desztillálók)	alkoholok
sűrített gázokat előállító gyár	egészségügyi és ipari gázok
építőipar	robbanóanyagok, ipari gázok (300 bar), üzemanyagok
ruhatisztító vállalkozás	oldószerek (halogénezett, szerves)
nyomtatott áramkörök készítése	szervetlen savak
mezőgazdasági termékek gyártása és forgalmazása	peszticidek, műtrágyák
robbanóanyag-gyártó üzemek	robbanóanyagok, pirotechnikai termékek
élelmiszerraktárak, és hűtőházak	ammónia, gyúlékony porok (pl. a liszt)
öntödék	műgyanták, egyéb vegyszerek
bútorgyártó üzemek	szerves oldószerek, ragasztók
veszélyes hulladékot feldolgozó üzemek	gyakorlatilag bármilyen veszélyes vegyület megjelenhet
kórházak	egészségügyi gázok, gyógyszerek, izotópok
kémiai, fizikai, biológiai laboratóriumok, kutatóintézetek, üzemek	gyakorlatilag bármilyen veszélyes vegyület előfordulhat
műanyag-, és gumigyártó üzemek	oldószerek, adalék- és segédanyagok
papírgyártó üzemek	fehérítőszerke, lúgok, savak, egyéb anyagok
uszodák	cseppfolyós klórgáz, hidrogén-klorid, nátrium-hipoklorit, kénsav
acélüzemek	savak, zsirtalanítók (oldószerek)
textilgyártó üzemek	oldószerek, festékek, gyanták, egyéb anyagok
vízkezelő művek	cseppfolyós klórgáz, savak, lúgok, ózon, klór-dioxid
hegesztéssel foglalkozó vállalkozások, üzemek	ipari gázok, acetilén (dissou) gáz

21. táblázat. Az iparban gyakrabban előforduló veszélyes anyagok és eredetük  
(Forrás: [16] alapján a szerzők által készítve)

### 2.2.3. TOXIKOLÓGIAI ISMERETEK ÉS FOGALMAK ÖSSZEFOGLALÁSA

**Dózis:** adott anyag azon mennyisége, amely az élő szervezetbe kerül (az expozíció során), illetve felszívódik.

Élőlényre vonatkoztatva: mg komponens/testtömeg kg

Időre nézve: mg hatóanyag/kg/nap

Környezeti expozícióhoz használt mértékegységek: mg/l, mg/g(kg), mg/m<sup>3</sup>

**LD<sub>50</sub>** (félhalálos dózis): az a méregadag (mg/testtömeg kg-ban kifejezett), amely a kezelt állatok 50%-át elpusztítja a megfigyelési időszak alatt.

**LC<sub>50</sub>** (félhalálos koncentráció): az a mg/m<sup>3</sup>-ben számszerűsített méregkoncentráció a belélegzett levegőben, amely a kísérleti állatok 50%-át meghatározott idejű inhalációs kezelés alatt elpusztítja.

**LD<sub>50/30</sub>**: a radioaktív anyagok toxikus hatását kifejező számadat. Azt a dózisszintet jelenti, amelytől a kezelt állatok 50%-a 30 napon belül elpusztul.

Toxicitás foka	LD50 mg/ttkg	Letális emberen po (=per oralis, szájon át)
Rendkívül mérgező	<1	néhány csepp, morzsányi
Igen mérgező	1–50	kávéskanálnyi, késhegynyi
Mérsékelten mérgező	50–500	kupicányi, diónyi
Enyhén mérgező	0,5–5 (g/kg)	vizespohárnyi
Viszonylag nem mérgező	5–15 (g/kg)	0,5–1 liter
Ártalmatlan	>15 (g/kg)	>1 liter

22. táblázat. A mérgező anyagok felosztása a toxikusságnak megfelelően  
(Forrás: [17] alapján a szerzők által készítve)

### A méreghatást befolyásoló tényezők

1. A testidegen kémiai anyag tulajdonságai:

- mennyiség
- töménység
- vegyi tisztaság (technikai tisztaság)
- lipoidoldékonyság
- molekulaméret és -tömeg
- halmazállapot
- gőznyomás
- szemcseméret
- kémiai szerkezet
- ionizáció

2. A hatás időtartama és gyakorisága:

- akut (heveny) mérgezés: toxikus nagyságrendű dózisok egyszeri hatására kialakuló mérgezés, tünetei viszonylag rövid időn belül jelentkeznek (órák, napok),
- szubakut (félheveny) mérgezés: szubtoxikus nagyságrendű dózisok többszöri ismételt hatására kialakuló mérgezés, tünetei hosszabb-rövidebb időn belül jelentkeznek (napok, hetek, hónapok),
- krónikus (idült) mérgezés: mikrotoxikus nagyságrendű dózisok többszöri ismételt hatására kialakuló mérgezés, tünetei hosszabb időn belül jelentkeznek (hónapok, évek).

3. Az élő szervezetek biológiai tulajdonságai:

- fajok
- fajta, törzs, érvonal (egyedek)
- genetikai polimorfizmus
- nemek
- életkor
- tápláltsági, fejlettségi állapot
- egészségi állapot
- méreganyaghoz való hozzászokás
- egyéb faktorok

*Xenobiotikum*: környezetidegen, szintetikus vegyi anyag

<b>Kémiai anyag</b>	<b>LD<sub>50</sub> mg/ttkg</b>
Etil-alkohol	10 000,0
Konyhasó	4 000,0
Morfin	900,0
Decis 2,5 EC	620,0
Nikotin	1,0
Aflatoxin B1	7,2
VX (harcigáz)	0,015
Dioxin	0,001
Tityustoxin	0,009
Tetanus toxin	0,000002
Botulinum toxin	0,000001

23. táblázat. Különböző kémiai anyagok LD<sub>50</sub> értékei (Forrás: [17] alapján a szerzők által készítve)

*Méreg v. mérgező anyagok*: azon szerves vagy szervetlen vegyületek, amelyek már kis mennyiségben káros hatást fejtenek ki az élő szervezetre. A méreg alapvetően mennyiségi fogalom.

*Toxin*: a mikroorganizmusok által termelt mérgeanyagok.

*Mérgezés (toxikózis)*: a méreg által kiváltott kóros állapot, megbetegedés.

*Expozíció*: az a folyamat, amikor a mérgező anyag eljut az élő szervezetig és kontaktus alakul ki.

*Kockázat* = Veszély × Expozíció

Annak a valószínűsége, hogy a károsodás bekövetkezik.

#### **Az expozíció lehetőségei:**

- szájon át (tápcsatorna – táplálék, italok)
- belégzéses (tüdő – levegő)
- dermális (bőr)
- injekálás

#### **Az expozíció időtartama és gyakorisága [17]**

*A mérgező hatás időtartama és gyakorisága szerint lehet [17]:*

- Akut (heveny) mérgezés: mérgező (toxikus) adagú dózisok egyszeri hatására kialakuló mérgezés, tünetei viszonylag rövid időn belül jelentkeznek (percek, órák, napok).
- Szubakut (félheveny) mérgezés: szubtoxikus nagyságrendű dózisok többszöri ismételt hatására kialakuló mérgezés, tünetei hosszabb-rövidebb időn belül jelentkeznek (napok, hetek, hónapok).
- Krónikus (idült) mérgezés: mikrotoxikus nagyságrendű dózisok többszöri ismételt hatására kialakuló mérgezés, tünetei hosszabb időn belül jelentkeznek (hónapok, évek).
- Szubkrónikus: ismételt expozíció 1 hónaptól 3 hónapig terjedő időtartam.

**Mérgező hatások típusai**

- **Helyi**, az érintkezés helyén kialakuló károsodások
  - a bőr
  - a szem, az orr, a száj és a torok nyálkahártyája
  - a légzőrendszer és a tápcsatorna bármely részén
- **Szisztémás (általános)**

Az érintkezés helyétől távolabb eső szervekben, szövetekben kialakuló károsodások (a felszívódás és az eloszlás segítségével valósul meg).

- **Kumulatív hatás**

Az ismételt expozíció során a mérgező vegyi anyag csak némileg ürül ki, a felesleges anyagok folyamatosan deponálódnak. A visszamaradó mennyiségek felhalmozódnak, és ezek a felhalmozódott mennyiségek már képesek (súlyosabb) mérgező hatást okozni.

**Metabolizmus:** a szervezetbe kerülő lipofil testidegen anyagok a metabolizáló enzimrendszerek hatására hidrophil, kiüríthető anyagokká alakulnak át. A metabolizmus megváltoztatja a vegyület kémiai szerkezetét és fizikai-kémiai tulajdonságait. **A metabolizáció lehet detoxikus és toxikus.**

*A mérgező vegyületek anyagcsoportonkénti felosztása:*

- nehézfémek
- növényvédő szerek
- egyéb ipari anyagok
- élelmiszer-adalékok
- gyógyszerek
- állatgyógyászati szerek
- természetes toxinok

*A mérgező anyagok csoportosítása*

- Eredet alapján (növényi, állati, bakteriális, ásványi, szintetikus eredetű)
- Kémiai jelleg szerint (szerves, szervetlen, fémes, nemfémes, sav, lúg, szerves oldószer)
- Halmazállapotnak megfelelően (légnemű, cseppfolyós, szilárd)
- Felhasználási terület, forrás alapján (ipar, mezőgazdaság, vízszennyező, levegőt szennyező, táplálékban található anyagok stb.)
- Mérgező hatásuk szerint (nagyon mérgező, mérgező, ártalmatlan)
- A behatolási mód alapján (bélrendszeren, bőrön át, légzőrendszeren keresztül)

*Vegyi anyagok toxicitás szerinti felosztása a valószínű halálos orális emberi adag alapján [17]:*

- szupertoxikus (1,0 mg/kg)
- rendkívül toxikus (1,1–50,0 mg/kg)
- nagyon toxikus (50,1–500,0 mg/kg)
- toxikus (500,1–5000,0 mg/kg)
- enyhén toxikus (5000,1–15000,0 mg/kg)
- gyakorlatilag nem toxikus (>15.000 mg).

**Karcinogén, mutagén és teratogén (reprotoxikus) anyagok – CMR**

Röviden CMR anyagoknak is nevezik az angol neveinek kezdőbetűiből származtatva (karcinogén, mutagén és teratogén = Carcinogens, Mutagens and Reprotoxins).



**Rákkeltő anyagok (karcinogén – carcinogens):** olyan anyagok és készítmények, amelyek belelegezve, lenyelve vagy a bőrön keresztül felszívódva rákot okozhatnak, vagy annak előfordulási esélyét növelhetik. A leggyakoribb daganatkeltő kémiai ágensek: arzén, kadmium, PAH vegyületek, vinil-klorid, benzol. Néhány ipari tevékenység, ahol előfordulhatnak potenciális rákkeltő anyagok: gumigyártás, fafeldolgozás, festékgyártás, növényvédőszer-előállítás. [18–20]

**Mutagének (mutagén – mutagenic):** anyagok és készítmények, amelyek belelegezve, lenyelve vagy a bőrön keresztül felszívódva örökletes genetikai károsodást okozhatnak, vagy azok előfordulási esélyét növelhetik. Máshogy megfogalmazva: a mutagén hatású anyag/ágens, amelynek az az elsődleges biológiai hatása, hogy megváltoztatja az örökítőanyagban kódolt információt. (Mutáció: a sejt örökítő anyagának – DNS vagy kromoszóma – szerkezetében bekövetkező változás.) [18–20]

**Teratogének (teratogén vagy reprotoxikus – reprotoxins):** azok az anyagok vagy készítmények, amelyek belelegezve, lenyelve vagy a bőrön keresztül felszívódva öröklődő káros hatásúak (illetve ennek esélyét növelik) az utódokra, és/vagy a férfi vagy női szaporodási funkcióra, vagy kapacitásra. A teratogén hatás lehetséges következményei az élő szervezetre nézve: szerkezeti rendellenesség, növekedési visszamaradás, funkcionális rendellenesség, elhalások (embrió, magzat). Néhány potenciális teratogén vegyület vagy vegyületcsoport: dioxinok, nehézfémek (pl. ólom, kadmium, higany), kábítószer (pl. kokain, heroin). [18–20]

Veszélyességi osztály	Kategóriák	A kategóriák ismertetése
<b>Karcinogének</b>	<b>1A</b>	Az emberre gyakorolt rákkeltő hatása bizonyított.
	<b>1B</b>	Az anyagok rákkeltő hatása az emberre feltételezett (de nem bizonyított).
	<b>2</b>	Az anyagok rákkeltő hatása az emberre nem kizárt (de nem bizonyított).
<b>Mutagének</b>	<b>1A</b>	Az emberi ivarsejtben örökletes mutációt okozóként ismert (bizonyított) anyagok csoportja.
	<b>1B</b>	Az emberi ivarsejtben örökletes mutáció kialakulása feltételezett (de nem bizonyított) ezeknek a vegyszereknek az esetében.
	<b>2</b>	Aggodalomra okot adó anyagok, mert örökletes mutációt idézhetnek elő az ember ivarsejtjeiben.
<b>Teratogének (Reprotoxikus anyagok)</b>	<b>1A</b>	Ide tartoznak azok az anyagok, amelyekről ismert (bizonyított), hogy károsak az emberi reprodukcióra.
	<b>1B</b>	E kategóriával jelzett anyagokról feltételezett, hogy károsak az emberi reprodukcióra. Feltételezett (de nem bizonyított).
	<b>2</b>	A vegyületek gyaníthatóan károsak az emberi reprodukcióra.

24. táblázat. A karcinogén, mutagén, teratogén anyagokra vonatkozó kategóriák ismertetése a CLP VI. melléklete alapján (Forrás: [18–20] alapján a szerzők által készítve)

Figyelmeztetés a címkén	Piktogram	„H” mondatok	CMR kategória a GHS (CLP) szerint
Veszély		H350 H340 H360	1A vagy 1B
Figyelmeztetés		H351 H341 H361	2

25. táblázat. A CMR kategóriás anyagok szabályos címkéséhez szükséges információk (Forrás: [21] alapján a szerzők által készítve)

Adriamicin	Androgén szteroidok
4-amino-bifenil	Akrilnitril
Auramin	Azbeszt
Aflatoxinok	Benzol
Arzén	Berillium
Biszlór-metil-éter	Benzantracén
Benzpirén	Benzidin
Ciklofoszfamid	Dibenzantracén
Dietil-szulfát	Dietil-stilbosztrol
Dibrómetán	Fenacetin
Formaldehid	N-Nitroso-dietilamin
Króm	Hematit bányatermék /radon/
Kátrány és olajszármazékok	Kadmium-oxid
Klór-metiléter	Izopropilolaj
Krómvegyületek	Mustárgáz
N,N-bisz/2-klóretil/éter	2-naftilamin
Nikkelvegyületek	Oximetalon
Orto-toluidin	Poliklórozott bifenilek
Propilén-oxid	Vinil-klorid

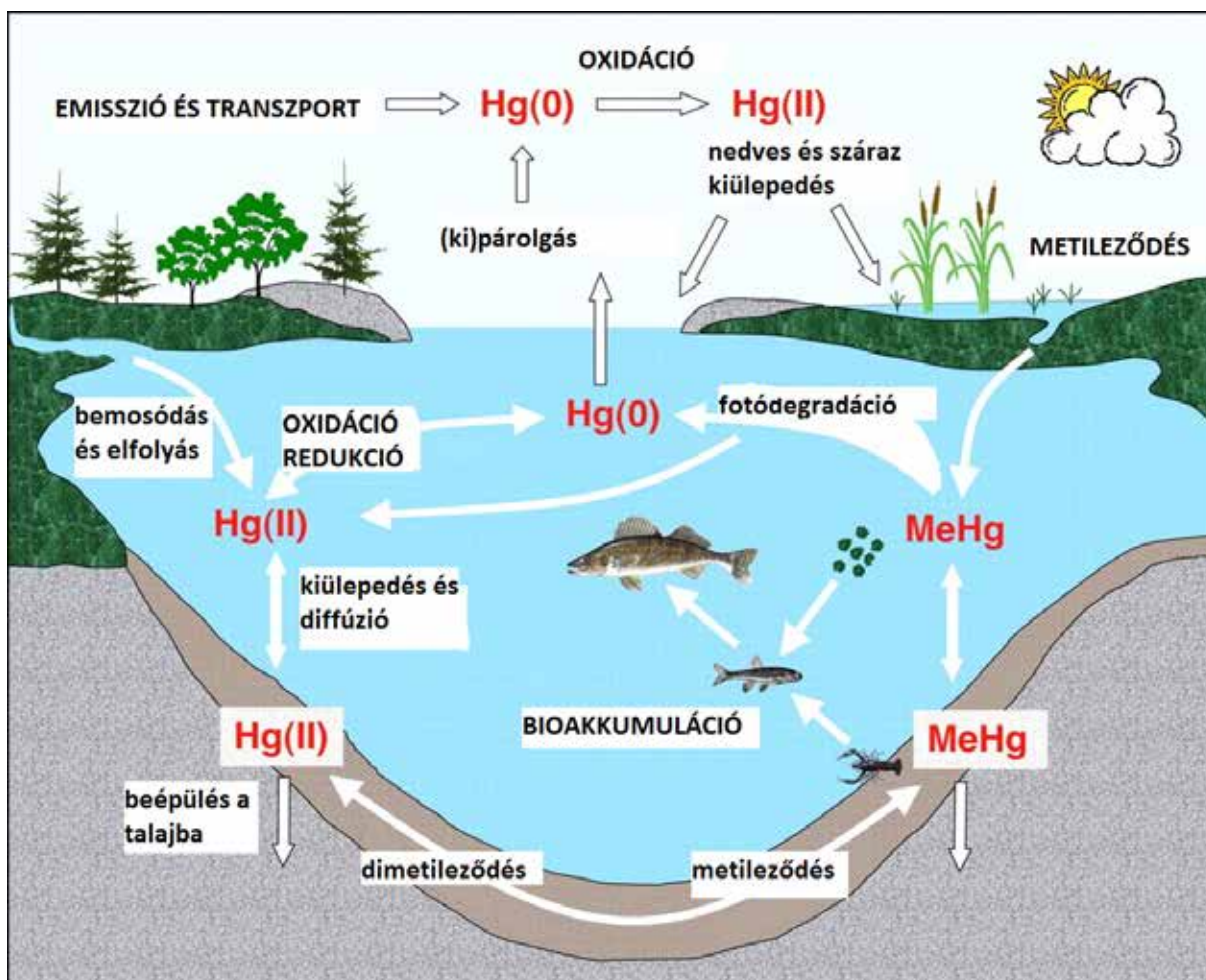
26. táblázat. Az emberi szervezetre karcinogén vagy potenciálisan karcinogén hatású, gyakoribb előfordulású vegyületek (Forrás: [17–21] alapján a szerzők által készítve)

## 2.2.4. A TOXIKOLÓGIA GYAKORLATI FONTOSSÁGÁNAK BEMUTATÁSA A HIGANY ÉS VEGYÜLETEI PÉLDÁJÁN

Emberi tevékenységek, mint például a bányászat, kohászat, tüzelőanyagok használata, szeméttégetés felelősek a környezet higanyterheléséért. Régebben akkumulátorok, fénycsövek, barométerek, hőmérők előállításához és elektrolízis során használtak fel higanyt. Napjainkra kezd kiszorulni, még katalizátorként, elektromos kapcsolókban, egyenirányítókban alkalmazzák.

A higany ugyanúgy körforgásban vesz részt a természetben, mint minden más elem (elemi higanygőz ↔ szervesetlen vegyületek ↔ szerves vegyületek). Az élővízi körforgásban szerves formában akkumulálódik, a víz → planktonok → algák → kishalak → ragadozók irányban növekszik.

Az expozíciót követően a vérbe került higany a vörösvértestekhez kötődik (a vér higany szintje 5–50 µg/l is lehet), így pedig rövid időn belül széteszik a teljes szervezetben. Az emberben a több millió éves evolúció során kiépült szervezetet védő mechanizmusok sem tudják meggátolni, hogy az idegrendszerbe kerüljön (a placentán és a vér-agy védőgáton a központi idegrendszerbe jut), akkumulálódik a májban, vesében, izomban és a hajban. A biológiai felezési ideje jelentős, 40–100 nap. Szervezetünkben a metil-higany szervesetlen vegyületté alakul. A következő ábra bemutatja a higany átalakulását a környezetben.



28. ábra. A higany átalakulásai egy élő rendszerben (Forrás: [22] alapján a szerzők által készítve)

A metil-higany veszélyei [22]:

- Metil-higany okozta a Minamata-kórt Japánban, az 1950-es években. Egy tengerparti üzemből higanyal szennyezett víz került a tengeröbölbe. Ezután az üledékben élő mikroorganizmus tevékenysége miatt (lásd 28. ábra), metileződést követően a planktonokba, halakba, végül pedig az emberekbe került.
- A metil-higany lipofil vegyület, így felszívódása a tápcsatornából könnyedén megvalósul. Fő útja az epével való kiválasztódás, azonban nagy része a bélrendszerből visszaszívódik.
- A metilhigany-mérgezés a halló- és látókéregben okoz károsodást.

A szervezetbe jutott higany megkötésére kelátképző vegyületeket alkalmaznak, illetve hemodialízist.

### 2.2.5. NÉHÁNY ÉLETSZERŰ PROBLÉMA A CMR ANYAGOKKAL KAPCSOLATBAN

1. A formaldehid jelenleg a 2. kategóriába került az Európai Unió döntése (pontosabban az ECHA – Európai Vegyianyag-ügynökség) által. Az Európai Unióban óvatos becslések szerint is több mint 100 000 tonna felett használnak a különböző ágazatokban. Több tízezer ember érintett, még akkor is, ha nem számoljuk a kórházi, patológiai felhasználást, ahol gyakori az alkalmazása. Néhány terület, ahonnan még nem sikerült teljesen kiváltani a felhasználását [23]:

- ipar (faipar, szénhidrogén kitermelésénél a csatlakozások kötéseikhez),
- vakcinagyártásnál (inaktiválószer),
- bútorgyártás (formaldehid alapú gyanták és ragasztók),
- autók, teherautók (festékeinél, alkatrészeinek ragasztásainál, stabil kötőanyag),
- tintagyártás,
- ruhagyártás (ránccmentesítés).

2. 1,2-diklór-etán jelenleg az 1. B kategóriába került az Európai Unió (pontosabban az ECHA – Európai Vegyianyag-ügynökség) által. A becslések szerint több millió tonnát használnak fel az Európai Unió területén évente, többségében szintézishez. [23]

karbolsav; indium-foszfid; kőszénkátrány; gallium-arzenid; dietil-hexil-ftalát (DEHP); perfluor-oktánsav; stroncium-kromát; triklór-etilén; dinitro-toluol; hidrogénnel kezelt benzín; N-etil-2-pirrolidon; gallium-arzenid; dibutil-ftalát; diizobutil-ftalát; benzil-butyl-ftalát; kadmium-fluorid; kadmium-szulfát stb.

27. táblázat. Néhány gyakrabban használt CMR anyag  
(Forrás: [17, 23] alapján a szerzők által készítve)



<b>Akut toxicitás</b>	Az egészségre ártalmas hatások egyszeri kémiai expozícióra bekövetkeznek (pl. bőr inszekticiddel – rovarölő szerrel – véletlenszerűen érintkeznek).
<b>Karcinogén</b>	A vegyszer potenciálisan rákot okozhat (pl. légzés közben az azbeszt tűs kristályai a tüdőbe kerülnek, vagy a bőr használt motorolajjal kerül kapcsolatba).
<b>Krónikus toxicitás</b>	Az egészségre ártalmas hatások ismétlődő expozíciót követően, rövid expozíció (hetek) vagy hosszabb (évek) alatt következik be a vegyi anyaggal való érintkezést követően.
<b>CMR (Carcinogenic, Mutagenic or Toxic to Reproduction)</b>	A vegyi anyag rákkeltő, mutagén vagy reprodukciót károsító lehet.
<b>Irritáló</b>	A vegyületek átmeneti (visszafordítható) bőr-, szem- vagy légúti károsodást eredményezhetnek.
<b>Mutagén</b>	A vegyi komponens maradandó károsodást okozhat a sejtek genetikai állományában, ez pedig öröklődő genetikai károsodást, rákos megbetegedést idézhet elő (pl. a nap ultraviola sugarai, benzol).
<b>Reprodukciót károsító vegyi anyag</b>	A vegyület hatással lehet a felnőtt férfi vagy női szaporodásra, születési rendellenességeket okozhat (például ólom vagy szén-monoxid).
<b>Légzőszervi allergizáló anyag</b>	Olyan anyag, amely belélegezve allergiás reakciót okozhat a légutakban (pl. glutáraldehidben vagy izocianát).
<b>Bőrallergizáló anyag</b>	Olyan anyag, amely belélegezve allergiás reakciót okozhat a bőrön (pl. fűrészpor, ragasztók).

28. táblázat. Fontosabb toxikológiai fogalmak összefoglalása  
(Forrás: [24] alapján a szerzők által készítve)

Néhány példa a vegyi anyagok szervezatkárosító hatásaira:

- agy és idegrendszer károsodása: peszticidek, higany, ólom, szerves oldószerek, szén-monoxid
- szem-, orr-, torokirritáció: savas ködök, gőzök, hegesztésnél keletkező füst, dízel kipufogógáz
- tüdő sérülése: tüdőkárosodás (azbeszt – tüdőrák, hegesztéskor keletkező füstök), irritáció általi asztma (savködök), allergiás asztma (lisztpor, izocianát, fapor.)
- máj károsodása: vinil-klorid
- húgyhólyag károsodása: azoszínezékek
- bőr sérülése: allergiás kontakt dermatitisz (nikkel, latex, kromátvegyületek, néhány cement), irritatív kontakt dermatitisz (oldószerek, detergenssek, kenőanyagok, olajok)
- negatív hatás a vér- és csontvelőképzésre: benzol, benzingőz kitettséget követően (vérszegénység, leukémia) [25]

## 2.3 AZ ÉGÉS ÉS A ROBBANÁS ELŐFORDULÁSI VESZÉLYESSÉGÉNEK BEMUTATÁSA IPARI PÉLDÁKON KERESZTÜL

### 2.3.1. A ROBBANÓKÉPES GÁZ-LEVEGŐ ELEGY KIALAKULÁSA

A gáz-halmazállapotú anyagok pillanatok alatt kitöltik a rendelkezésre álló teret, legyen az tartály, reaktor vagy egy helyiség. A gázok és gőzök egy adott koncentrációban képesek robbanóképes koncentrációt alkotni a levegővel. Az éghető anyag és az oxigén koncentrációja határozza meg az égési folyamatot, ezeket nevezzük alsó és felső robbanási határnak. A gázok robbanóképességének meghatározására alkalmazható az alsó és felső robbanási érték.

*Alsó robbanási határ (ARH):* a gáz-halmazállapotú komponensnek azon koncentrációját, amelynél a robbanás a levegőfelesleg következtében még nem következik be, alsó robbanási határnak (határértéknek vagy határkoncentrációnak) nevezzük.

*Felső robbanási határ (FRH):* a gáz-halmazállapotú vegyületnek azt a koncentrációját, amelynél a robbanás a gázfelesleg, illetve levegőhiány (tulajdonképpen oxigénhiány) következtében már nem lehetséges, felső robbanási határnak (határértéknek vagy határkoncentrációnak) nevezzük.

Az iparban gyakrabban használt veszélyes gáz és folyadék alsó és felső robbanási határkoncentrációja került összefoglalásra a **29. táblázatban**.

Veszélyes anyag neve	Alsó robbanási határérték (LEL = ARH) (%) lower explosive limit	Felső robbanási határérték (UEL = FRH) (%) upper explosive limit
aceton	2,15	13,0
acetilén	2,5	100
benzol	1,2	8
szén-diszulfid	0,6	60,0
etil-alkohol	3,3	19,0
etil-éter	1,7	36,0
etilén (etén)	2,7	36,0
benzin	~ 0,6	~ 8
fűtőolaj/diesel	~ 0,6	~ 6,5
hidrogén	4	77
metán	4,4	17
metanol	6,0	36,0
pentán	1,5	7,8
propán	1,7	10,8
propilén (propén)	2,0	11,1
toluol	1,2	7,0

29. táblázat. Néhány gyakran használt veszélyes gáz-, és folyadék halmazállapotú anyag alsó és felső robbanási határkoncentrációja (Forrás: [25] alapján a szerzők által készítve)

Különböző technológiai megoldásokkal a gázokkal történő ipari műveletek is biztonságossá tehetőek. A gyakorlati koncentrációértékek folyamatosan nyomon követhetők, a megfelelő szenzorokkal ellátott mérőműszerekkel (például monitoringhálózat kiépítésével). Emellett az is kijelenthető, hogy minél szélesebb az alsó és felső határ közötti különbség (vagyis minél jelentősebb az elegy robbanásra képes tartománya), annál veszélyesebb az adott anyaggal való tevékenység.

### 2.3.2. LEVEGŐ ÉS SZILÁRD ANYAGOK KEVERÉKÉNEK ÉGÉSE

Néhány technológiai folyamat (szövés, aprítás, őrlés, keverés stb.) során folyamatos a kis méretű szilárd részecskék térbe jutása. A jelenség komoly probléma, mivel gyakorlatilag anyagvesztéssel, egészségkárosodással jár, és robbanásveszélyes keverék kialakulását kíséri. A levegőbe jutott porrézecskek fluid állapotban hosszabb-rövidebb ideig lebeghetnek, és könnyen kialakulhat a robbanás-hoz elegendő koncentráció. Kialakulását elősegítheti a légáramlás (huzat) a munkaterületen, de a köz-  
zelben történő anyagmozgatás is. Robbanóképes keverék alakulhat ki, melyben gyújtóforrás hatására porrobbanás játszódik le. Az anyagi minőség és az ebből adódó eltérő tulajdonságok alapján a porokat tűzveszélyességük szerint csoportosítjuk. Leggyakoribb veszélyek a malom- és a cukoriparban, de a szénporral dolgozó technológiáknál is előfordulhatnak. Ipari porforrások kerültek összefoglalásra a 30. táblázatban.

#### Másodlagos porrobbanás

A porrobbanás gyakran két lépcsőben következik be. Az elsónél a helyiség kis térfogatában játszódik le a reakció, amely felkavarja az ott koncentrálódott portömeget, és robbanóképes koncentrációjú keverékké alakítja (jelentősebb nagyságú térben összpontosul, mint az első robbanás). Az első robbanás lesz a gyújtóforrása a másodlagosnak. A másodlagos porrobbanás az esetek többségében pusztítóbb, mint az első.

#### Sújtólég- és szénporrobbanás a bányában [25]

Kitermeléskor a szénbányák jelentős részében éghető gáz (leginkább metán) és por (felkeveredett szénpor, a huzathatás tartja fluid állapotban) is jelen lehet a munkaterületeken, így jelentős veszély hárul a bányászokra. A metán és levegő robbanóképes elegye a sújtólég (robbanási tartománya 5–15 térfogat%). Maximális erejű a 9,5 térfogat%-os metántartalmú gáz-levegő elegy pusztító hatása.

A szénporfelhő-levegő keverék adott feltételek esetén robbanóképes, ami fokozódik, ha kisebb a szénpor nedvességtartalma, illetve több illékony szénhidrogént tartalmaz, kevesebb a hamutartalma, és kicsi a szemcsemérete.

A szénbányákban gyakran bekövetkező porrobbanás folyamata: a bányában levő szénpor az előző munkafolyamatokat követően már leülepedett, az ekkor a metán-levegő elegy miatt bekövetkező sújtólégrobbanás felkavarja porfelhővé (kialakul a szénpor-levegő veszélyes keveréke). Az első robbanást követő szénporrobbanás (a másodlagos) jóval kiterjedtebb területen fejt ki pusztító hatását, mint a sújtólégrobbanás, mert az előrehaladó nyomáshullám a leülepedett szénpor egy részét felkavarja (fluid állapotba hozza), amit a robbanás lángja meggyújt.

Az 1.9. fejezetben ismertetett Dow és Mond indexek használhatók egy vegyület tűz- és robbanásveszélyességének, illetve toxicitásának meghatározására.

Forrás	Részecsketípus	Forrás, előfordulás	Kezelés
Műtrágyaipar	foszfátok, karbamid, kálium-klorid, anhidrit, más szulfátok	porítás, kezelés, szárítás, szinterezés, granulálás, gázok	nedves elválasztás ciklonnal, reciklizálás
Szénfeldolgozás	szén + koks szemcsék, korom, kondenzált termékek	elgázosítás, porítás	elektrosztatikus leválasztás, energiahasznosítás
Elektrokémiai ipar	fém + oxid szemcsék	száraz elektrolízis	elektrosztatikus leválasztás
Kalcium-karbid	koks, mészkő, kalcium-hidroxid	koks porítás + szárítás, mészkőhevítés	ciklonos elválasztás, szerkezeti anyag
Festékipar	színezékek, + egyéb szemcsék, nehézfémvegyületek	porítás, diszpergálás	ciklonos leválasztás, szűrés
Biocidipar	rovarirtók, növényvédő szerek, hordozóanyagok	szárítás, keverés	ciklonos elválasztás, reciklizálás
Detergens ipar	nátrium-foszfát, szóda, Na-borátok	keverés, diszpergálás, granulálás	ciklonos elválasztás, reciklizálás
Gumi- és műanyagipar	gumi + műanyag szemcsék, talkum, egyéb töltőanyagok	mechanikai kezelés extrakció, diszpergálás	szűrés, töltőanyag
Fém-szulfid pörkölés	érc, koks, fém-oxidok, salakszemcsék	porítás, szinterezés, torogázkezelés	ciklonos elválasztás, cementgyártás
Fémipari kezelések	fém és fém-oxidok	konverter és pörkölőkemence, hulladék gázok	ciklonos elválasztás, reciklizálás
Öntödék	fém és fém-oxidporok, szilikátok	pörkkemence-hulladékok, öntőhomok kezelése	szűrés, reciklizálás
Kötő- és szerkezeti anyagok	klinker- és cementpor, kőzet- és ásványi porok	nyersanyagok kinyerése, őrlése, szállítása, hevítése	elektrosztatikus és ciklonos leválasztás, reciklizálás
Kerámia- és üvegyipar	kvarc és szilikátok, fém- és nemfém-oxidok	kezelési, gyártási folyamatok	szűrés, ciklonos leválasztás
Fafeldolgozás	fűrészpor, csiszolóporok	aprítás, fűrészelés, őrlés, méretre vágás	ciklonos leválasztás, komposztálás
Textilipar	gyapotszálak és egyéb rostok	kezelés	ciklonos leválasztás

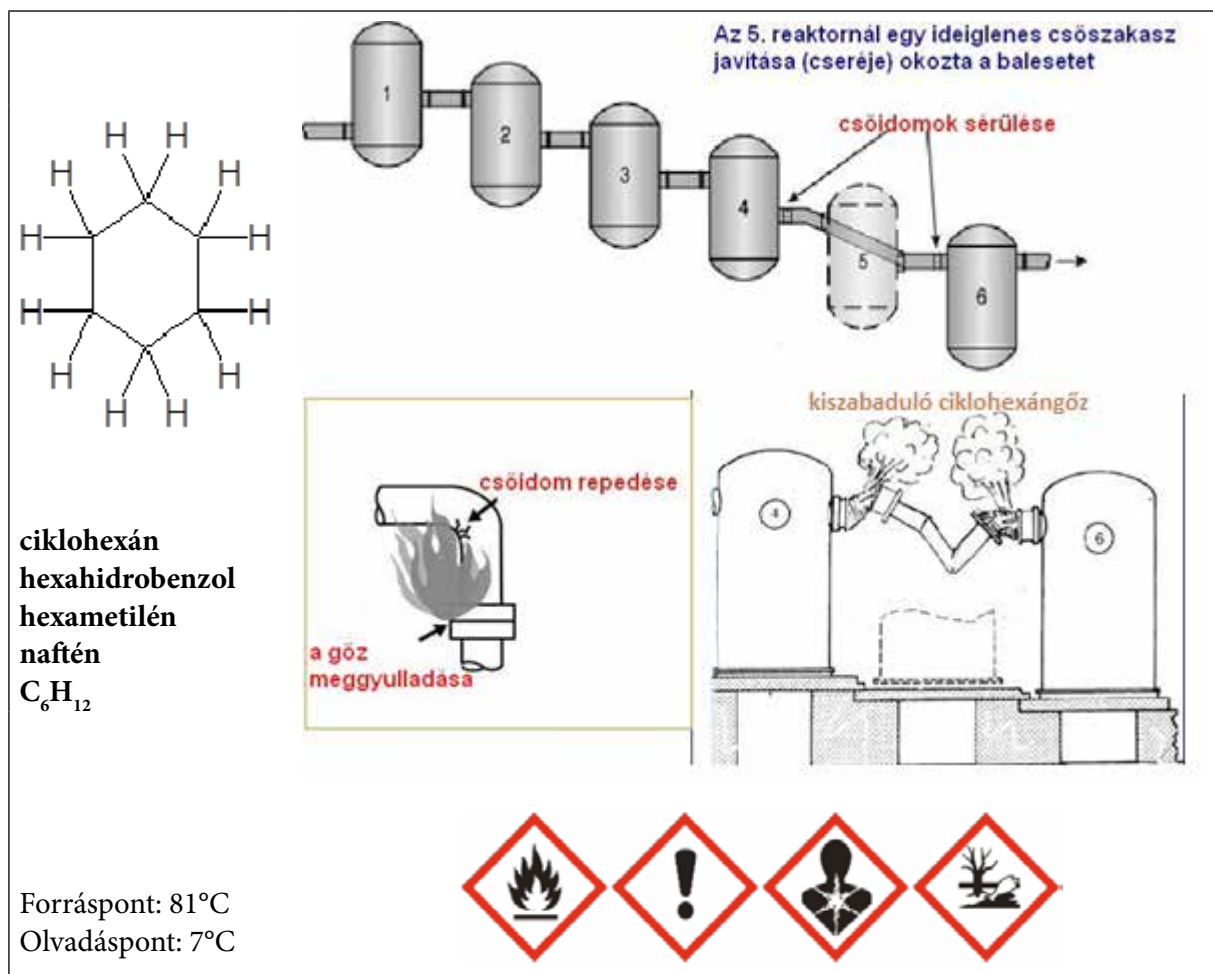
30. táblázat. Porforrások (Forrás: [25] alapján a szerzők által készítve)

### 2.3.3. KÖDROBBANÁS

A ködöt a gázban, gőzben, levegőben változó ideig lebegő folyadékcseppek építik fel. A cseppek egymással érintkezve nagyobb cseppekké állhatnak össze, így kondenzálódhatnak. A köd kémiai tulajdonságai megegyeznek a ködöt alkotó folyadék tulajdonságaival, néhány fizikai tulajdonság eltérő. Köd keletkezhet mechanikai hatásra, pl. forgó eszköz, propeller, nagy sebességű levegőporlasztás, üzemcsarnokban fellépő huzathatás egy nyitott reakcióedény (reaktor) közvetlen közelében. A vegyiparban jelentős számú folyamat idézheti elő a ködképződést. [25]

Bekövetkezhet ködrobbanás speciális esetekben is, például a fluid állapotba került porrészecskék lebegés közben megolvadnak és köddé válnak. Amennyiben nem tartják be a technológiai utasításokat, megtörténhet, amikor naftalinport (olvadáspont: 80,26 °C) adagolunk egy reaktor meleg légterébe. Leggyakrabban a köd úgy keletkezik, hogy a folyadék először elpárolog, majd kondenzálódik.

Egy jelentős vegyipari példa ködrobbanásra az 1974-ben bekövetkezett flixborough-i baleset. A nagy átmérőjű megrepedt csővezeték-részből nagy hőmérsékletű ciklohexán folyadék ömlött ki, melynek jelentős része azonnal gáz-halmazállapotúvá alakulva szabadult ki a nyomás alatt álló reaktorból. A kijutást követően a légtér alacsonyabb hőmérsékletű részeinél kondenzálódott ciklohexán-cseppek levegővel alkotott keveréke jött létre. Majd szikra hatására berobbant. A baleset paraméterei 155 °C és 8,6 bar. Megközelítőleg 50 tonna ciklohexán került a levegőbe, és 28 ember vesztette életét, 36 fő pedig megsérült. Az anyagi kár jelentős, 1821 ház és 167 üzlethelyiség szenvedett kárt. A baleset vázlata a 29. ábrán látható.



29. ábra. A Nypro Factoryban (Flixborough, United Kingdom, 1974) bekövetkezett ipari baleset rövid ismertetése, és a ciklohexán fontosabb fizikai-kémiai tulajdonságai (Forrás: [26–28] alapján a szerzők által készítve)

## 2.4 A BIZTONSÁGOS MUNKAKÖRÜLMÉNYEK KIALAKÍTÁSA

A vegyi anyagokkal kapcsolatos munkálatok összességében kockázatosak.

Az életszínvonalunk folyamatos fenntartásához nélkülözhetetlenek a különböző üzemekben előállított termékek, melyekhez jelentős mennyiségű vegyület előállítására, szállítására, átalakítására, raktározására van szükség. Az évszázados szakmai-technikai tapasztalat során kialakult és megtervezett gyártási utasítások, leírások hiánytalan betartása a kockázatot a minimális értékre csökkentheti.

A veszélyes üzemekben a biztonságos munkavégzés érdekében betartandó alapszabályok a következők [17–28]:

1. Az üzemcsarnokban nem alakulhat ki gyúlékony légtér:

- az üzemcsarnok levegőjében előforduló anyag koncentrációját a minimálisra, az alsó határérték alá kell csökkenteni;
- amennyiben lehetséges, zárt technológia alkalmazása, folyamatos gyártási móddal;
- meg kell akadályozni a finom eloszlású, gyúlékony anyagok veszélyes felhalmozódását (mind a

levegőben, mind a szerkezeti elemeken);

- a gépek, berendezések, szerszámok anyagát helyesen kell megválasztani (például vanádiumötvetzetekből készült eszközök, a szikrahatás elkerülése érdekében).

2. Meg kell akadályozni a gyúlékony légtér meggyulladását:

A gyújtóforrásokat megfelelő távolságra kell tartani a gyúlékony anyagoktól. Néhány gyakoribb gyújtóforrás a nyílt láng, a forró (izzó) felület, a forró gáz és gőz, a szikrahatás, a statikus feltöltődés, az elektromágneses hullámok, az erős fényhatás, a hőtermelő vegyi folyamatok.

A légtér veszélyesség szerint három zónára osztható:

- a 0. zónában gyújtóforrás nem lehet jelen (a robbanásveszély előfordulása a légtérben több mint 1000 óra/év);
- az 1. zónában ritkán előfordulhat gyújtóforrás, de a gyújtást megfelelő üzemi utasításokkal meg kell akadályozni (a robbanásveszély előfordulása a légtérben 10 és 1000 óra/év közötti érték);
- a 2. zónában gyújtóforrás rendszeres vagy gyakori kialakulása nem engedhető meg (a robbanásveszély előfordulása a légtérben kevesebb, mint 10 óra/év).

3. Csökkenteni kell a tűz, illetve robbanás esetleges hatásait:

- a nyomás csökkentése (lefúvató szelep, hasadótárcsa);
- a berendezés (reaktor) alakja, a tervezésekor figyelembe kell venni az optimális nyomásellenállást;
- robbanás energiáját elnyelő (szétoszlató) segédberendezések alkalmazása. [17–28]

### 3. ATOMERŐMŰVI KOCKÁZATOK

---

#### 3.1 KOCKÁZAT ÉS ELVISELHETŐ KOCKÁZAT AZ ATOMENERGIA-IPARBAN

Az elviselhetőség nem jelent elfogadhatóságot. Azt az akaratot tükrözi, hogy úgy éljünk együtt a veszéllyel és az erre vonatkozó kockázattal, hogy azok megfelelő ellenőrzés alatt maradjanak. A kockázat elviselése annak elismerése, hogy azt teljesen megszüntetni nem tudjuk, de megfigyelés alá helyezzük és törekszünk a kockázat lehető legkisebbre csökkentésére.

**A kockázat annak lehetősége, hogy valami káros esemény következik be.** Kezeléséhez szükséges, hogy megtaláljuk annak a módját, hogy meghatározzuk, milyen gyakorisággal következhet be az esemény adott körülmények között.

A valószínűség a bekövetkezés gyakoriságát jelzi. A kockázat szóval inkább a bekövetkezés következményeit jelöljük a bekövetkezés valószínűsége helyett. Minden kockázat meghatározásához három fontos komponens tartozik:

1. a bekövetkezés valószínűsége,
2. a valószínűséghez rendelhető esemény és
3. az esemény következményeinek súlyossága.

A kockázatok egy része természeti eredetű, más része emberi eredetű veszélyekhez rendelhető.

A kockázattal kapcsolatban további fontos ismeretek a következők:

- Nulla kockázat nem létezik.
- Tőlünk távol eső, minket kevésbé fenyegető kockázat megváltozhat és megnövekedett kockázatot jelenthet. A távol eső kockázat nem jelent kockázatmentességet.
- Saját személyes kockázati valószínűségünk eltérhet az átlagos kockázattól, annál nagyobb vagy kisebb is lehet.

Az a tény, hogy évente több száz ember hal meg közlekedési balesetben, nem gátolja meg, hogy naponta autóba ülünk, remélve, hogy számunkra a kockázat elfogadható. Ennek az eldöntését tapasztalataink alapján tesszük meg. A kockázat megoszlása a társadalmon belül nem egyenletes. Például egy duzzasztógát környékén lakók kockázata magas, míg a haszon (villamos áram) egyformán oszlik meg a távolabb lakók között is. Az emberek egy adott kockázatot különféleképpen ítélnék meg saját tapasztalataik alapján, vagy a veszély alá- vagy túlbecslése alapján, és az elviselhető kockázat mértéke veszélyforrásonként eltérhet. Egyes veszélyforrásokat kevésbé „szeretnek”, mint másokat. Tipikus halálesettel járó kockázatokat mutat a 31. táblázat angol adatok alapján:



gyakoriság (fő/év)	kockázat leírása
1 ember halála 100-ból	magányos sziklamászás minden hétvégén
1 ember halála 1000-ból	munkavégzés magas kockázatú munkahelyen, pl. bányászatban
1 ember halála 10 000-ból	részvétel átlagos közlekedési balesetben
1 ember halála 100 000-ból	munkavégzés alacsony kockázatú munkahelyen
1 ember halála 1 000 000-ból	lakástűz vagy gázrobbanás
1 ember halála 10 000 000-ból	villámcsapás

31. táblázat. Átlagos halálozási kockázatokhoz rendelhető események (Anglia)

### Ipari kockázatok kezelése

Az ipari kockázatok kezelése nagyon hasonló a mindennapi élet kockázatainak kezeléséhez. Így a kockázatokat a következő módon minősítik:

- Ha az adott kockázat olyan nagy, illetve következménye annyira elfogadhatatlan, akkor a kockázatot ki kell zárni.
- Ha a kockázat nagyon kicsi, vagy nagyon kicsire csökkenthető, nem szükséges további intézkedés.
- Ha a kockázat köztes értékű, akkor a lehető legalacsonyabb szintre kell csökkenteni (As Low As Reasonably Practicable, **ALARP**), figyelembe véve a csökkentés hozadékát és a csökkentés költségeit.

#### Az ipari kockázatok kezelésének alapelvei

A fő ipari veszélyek, bármely emberi ipari tevékenységhez kapcsolható ipari veszélyek, melyek kockázataik révén potenciálisan nagy károkat és életveszélyt okozhatnak, igénylik a kockázatok meghatározását és megfelelő kezelését. A kezelés szisztematikus megközelítést igényel. Először az üzem megbízhatóságát, az üzemi meghibásodások kockázatait mérik fel és számítják valamely módszerrel a megítélés elősegítésére. Ennek alapján döntenek el az esetlegesen szükséges kockázatkezelés lépéseit. A véletlen meghibásodások elleni védelem érdekében a fizikai objektumok nagyobb megbízhatóságát írják elő. Ezt a túlbiztosítást hívják **redundanciának**. A redundancia nem nyújt védelmet az **inherens** (vele járó, lényeges) tervezési-kivitelezési hibák ellen, ezeket a hibákat az egymástól független tervezési-kivitelezési eljárásokkal lehet kiküszöbölni (tervezési-kivitelezési **diverzitás**). Ezekkel az eljárási módszerekkel a kockázat csökkenthető.

Másodszor a tervezések során konzervatív elvek szerint, óvatosan járnak el. Rendkívül fontos az üzem tervezésének, kivitelezésének, üzemelésének és karbantartásának általános minősége és a menedzsment által alkalmazott üzemeltetési folyamatok minősége.

### Egyéni kockázat és társadalmi kockázat

Egy meghatározott kockázat esetén fontos, hogy az kire, vagy mely csoportokra vonatkozik, így beszélhetünk egyénekre vonatkozó egyéni kockázatokról és csoportokra, társadalomra vonatkozó társadalmi kockázatokról.

#### Egyéni kockázatok

Egy nagy ipari baleset lehetősége esetén minden egyénben felmerülő kérdés, mekkora a kockázat rám és a családomra nézve? Meghatározható az egyes egyénre vonatkozó kockázat mértéke azoknál, akiket érinthet a baleset következménye. Az egyéni kockázat meghatározásánál az első kérdés az ipari

baleset valószínűségének becslése. Az üzemre és az ott dolgozókra vonatkozó megbízhatósági adatok összegyűjtése és értékelése alapján ez a kockázat meghatározható. Például mennyi mérgező gáz vagy radioaktív anyag kerülhet ki a környezetbe, és annak milyen becsült hatásai lehetnek az egyes emberekre elhelyezkedésük és más körülmények függvényében. A számítások után megbecsülhető az egyes emberekre vonatkozó egyéni kockázat mértéke éppúgy, mint a társadalmi kockázaté.

A veszélyek típusa szerint más és más káros hatásuk lehet az egyes emberekre, a hatás lehet pillanatnyi vagy tartós, azonnali vagy később ható, közvetlen vagy közvetett.

#### *Társadalmi kockázatok*

Egy nagy ipari baleset hatása általában szélesebb rétegeket érint az egyes embereknél, társadalmi hatása van. Ilyen hatású volt a csernobili baleset. Itt nemcsak néhány ember halt meg és sokan szereztek hosszú távú sérülést, de drasztikusan csökkent a nukleáris energiatermelés szerte a világban. Az emberek hajlamosak arra, hogy az egyes balesetekben elhunyt, összességében nagyszámú ember esetét ne vegyék olyan komolyan, mint az egy baleset során elhunyt ugyanakkora számú ember halálát. Az ilyen nagy ipari balesetek kockázatainak becslésére alkalmazzák a társadalmi kockázatot. Ennek során a nagy balesettel kapcsolatos, a társadalom számára felmerülő költségeket is figyelembe veszik. A baleset során felmerülő költségeket megszorozva annak elfordulási valószínűségével, a kár (detriment) mértékéhez jutunk. Egy atomerőmű megépítése és működése esetén jelenleg nagyon kicsi a valószínűsége egy halálesetekkel járó nagy nukleáris baleset előfordulásának. Ennél nagyobb valószínűséggel fordulhatnak elő közepes kárral járó balesetek és üzemzavarok, és végül még nagyobb gyakorisággal kisebb üzemzavarok, melyeknek lehetnek egészségügyi hatásai is. Ezeket a kockázatokat meghatározva és összegezve jutunk a teljes kár (total detriment) értékéhez.

#### *Az egyéni és társadalmi kockázatok összegzése*

Összegezve, a kumulatív, összegzett kockázat meghatározására két lehetőség van bármely veszélyes ipari üzem esetén:

1. Ki lehet számítani bármely érintett egyén egyéni kockázatát, vagy
2. a teljes társadalom társadalmi kockázatát nagy ipari balesetek esetén. Ez a kockázat kifejezhető kár formájában egy adott időszakra, mint a teljes rombolás mennyisége szorozva annak előfordulási valószínűségével.

### **A radioaktív sugárzás káros hatásai**

Az atomenergetikai telephelyek fő kockázata az ionizáló sugárzásra képes anyagok kibocsátásának lehetősége. A radioaktív sugárzást kibocsátó anyagokat szokás csoportosítani eredet szerint természetes és ember által létrehozott, mesterséges radioaktív izotópokra.

#### *Természetes radioaktivitás*

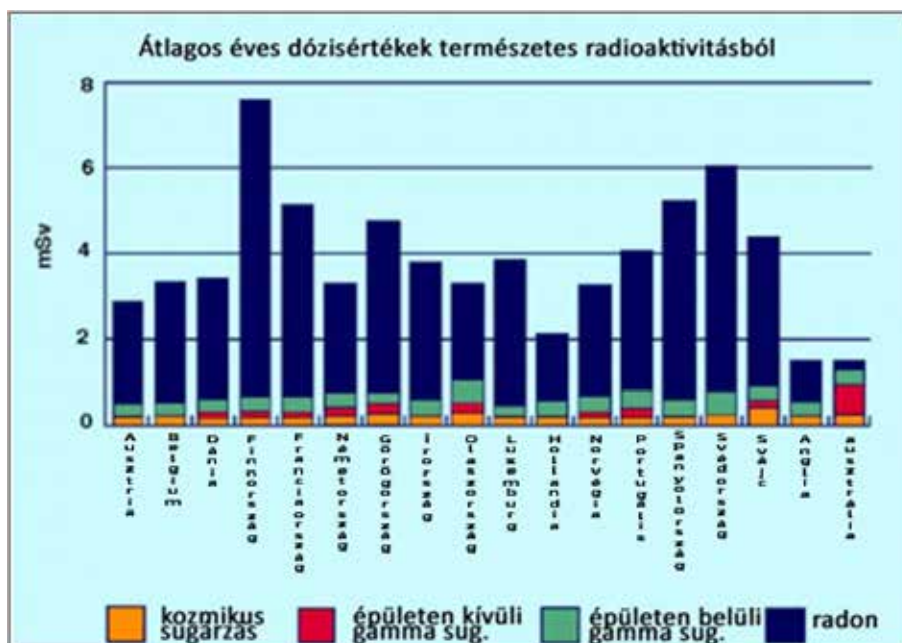
A radioaktív sugárzás természetes csoportja a környezet része, ennek hatása eltérésekkel, de minden embert érint. A napból és a világűrrel érkező kozmikus sugárzás az adott földrajzi hely magasságától függően közöl energiát (dózist) az emberekkel. A kozmikus sugárzás jelentős részét a levegőréteg pajzsként elnyeli, és a kölcsönhatás eredményeként radioaktív izotópok, az ún. kozmogén radionuklidok (pl.  $^{14}\text{C}$ ,  $^3\text{H}$  stb.) keletkeznek folyamatosan. Ezen kozmogén radionuklidok mennyisége nagyjából állandó a Föld felszínén. A természetes radioaktivitás másik fontos csoportját alkotják az ún. ősi (primordiális) radioaktív izotópok, melyek égitestünk keletkezése idején jöttek létre, és azóta (5-10 milliárd év) csak bomlanak, fogynak. Ma már csak a nagyon lassan bomló, milliárd év

nagyságrendű felezési idővel rendelkező ősi nuklidok vannak jelen. Ezek egyik csoportja 1-2 bomlási lépésben stabilizálódik (pl.  $^{40}\text{K}$ ,  $^{87}\text{Rb}$ ), másik fontos csoportjának induló izotópja ( $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ ) 10-20 bomlási lépés (bomlási sorok) után képez stabil, nem radioaktív atommagot. A természetes eredetű radioaktivitás mindenütt jelen van, a talajban, levegőben, kőzetekben, vízben, építőanyagokban, élőlényekben (az emberben is pl.  $^{40}\text{K}$ ), az élelmiszerekben és más termékekben. Ezek eltérő sebességgel bomlanak.

Az emberi szervezetet érő radioaktív sugárzás hathat a szervezeten kívülről, és lenyelve, belélegezve, megíva a radioaktív anyagot, belülről is. A szervezetbe bekerült, inkorporált radionuklidok általában eltérő sebességgel kiürülnek (vizelet, izzadság, széklet, kilehelés stb.), de a különösen veszélyes, nagyobb felezési idejű radioaktív izotópok hosszabb ideig is a szervezetben maradhatnak (pl. a  $^{90}\text{Sr}$  a csontozatba beépülve rögzülhet). Az emberi szervezetet érő külső és belső sugárzás által közölt elnyelt energia ártalmasságának mértéke függ a sugárzás típusától, energiájától és a sugárzásnak kitett szerv sugártűrő képességétől. Ezen hatás összehasonlításra alkalmas dóziségysége az effektív dózis, mértékegysége a sievert (Sv), mely igen nagy dóziségység, ezért ennek ezred- (milli), vagy milliómodrészével (mikro) szokás számolni.

A radioaktív sugárzás nagyon kis mértéke is jól mérhető. Egy ember által évente elszenvedett természetes effektív dózis  $\sim 1\text{mSv}$ , melyből a külső kozmikus-kozmozgén, a külső ősi és a belső radioaktív sugárzás nagyjából egyformán részesülnek. Ettől az átlagértéktől az egyes emberek sugárterhelése 2-3-szor kisebb vagy nagyobb is lehet. Külön számítjuk ezek mellett az  $^{238}\text{U}$  bomlási sor közepén elhelyezkedő  $^{222}\text{Rn}$  (radon-222) és annak bomlástermékei által közölt effektív dózisértéket, mely a minket ért éves átlagos sugárdózis 55%-át is kiteheti. Ennek átlagos értéke  $\sim 1\text{mSv}$ , így a teljes természetes eredetű éves sugárterhelés értéke  $\sim 2\text{mSv}$ .

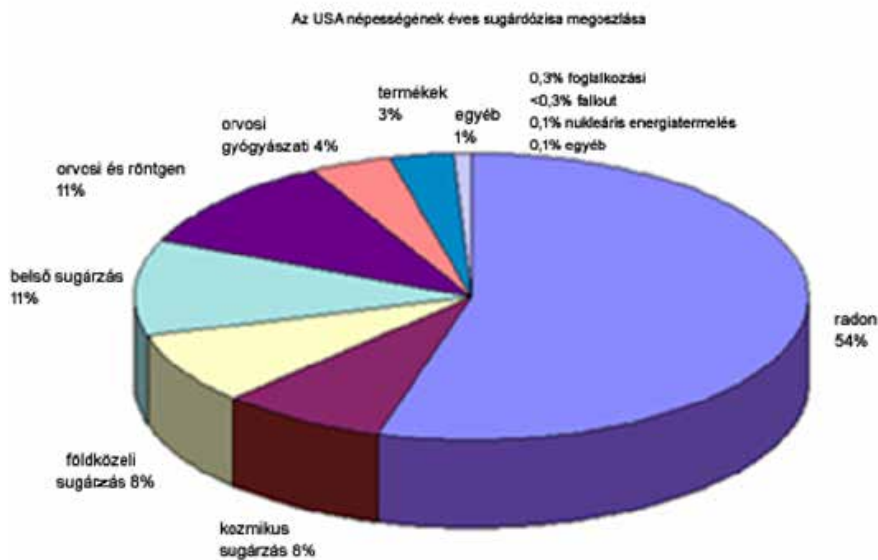
A 30. ábrán a természetes radioaktivitásból származó átlagos éves dózisértékeket és azok országokénti változását mutatjuk be.



30. ábra. A természetes radioaktivitásból származó átlagos éves dózisértékek és azok országokénti változása, az átlagos éves dózisértékek (mSv) függvényében (Forrás: a [30] alapján a szerzők által szerkesztve)

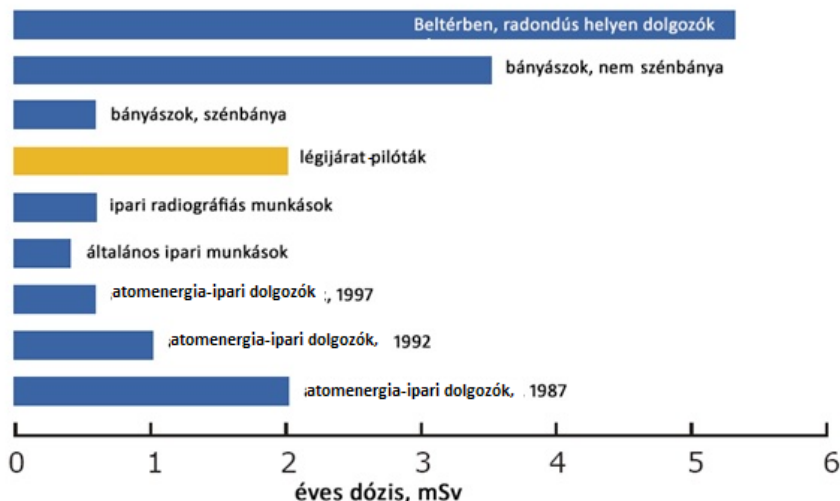
*Mesterséges (ember által létrehozott) radioaktivitás*

Az emberiség tagjait érő éves effektív sugárdózis ~81%-a származik a természetes és ~19%-a a mesterséges radioaktivitásból. A mesterséges radioaktivitás által közölt effektív dózis döntő része (~15%) orvosi eredetű, ~3% az egyes termékekben lévő radioaktivitás számlájára írható, és a maradék 1%-ban van az összes egyéb mesterséges radioaktivitás által okozott effektív dózis. Ezt mutatja a 31. ábra.



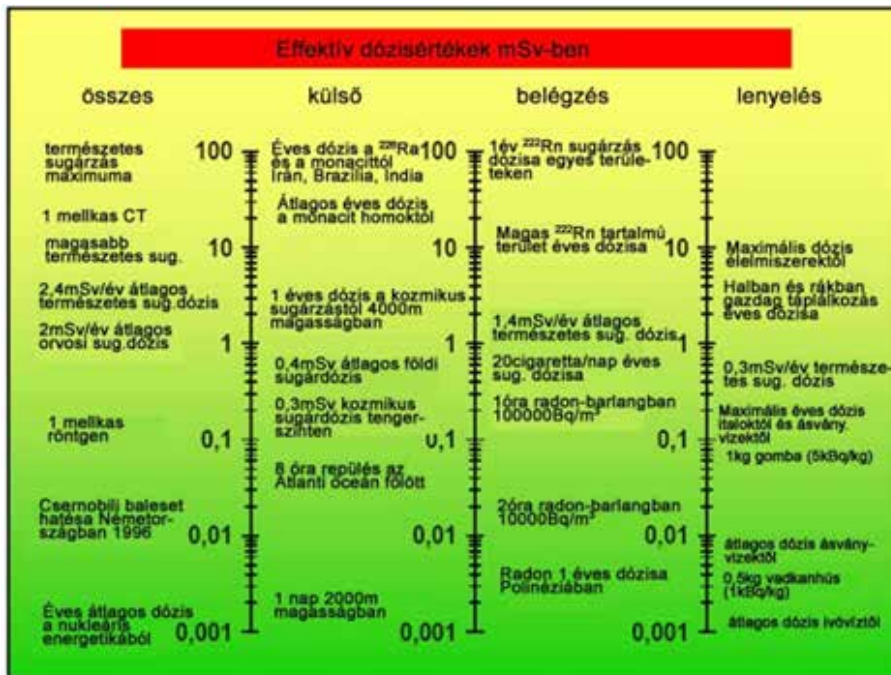
31. ábra. Természetes eredetű átlagos éves dózisok (Forrás: a [30] alapján a szerzők által szerkesztve)

Az egyes foglalkozásokhoz rendelhető éves effektív dózisértékeket mutatja be a 32. ábra.



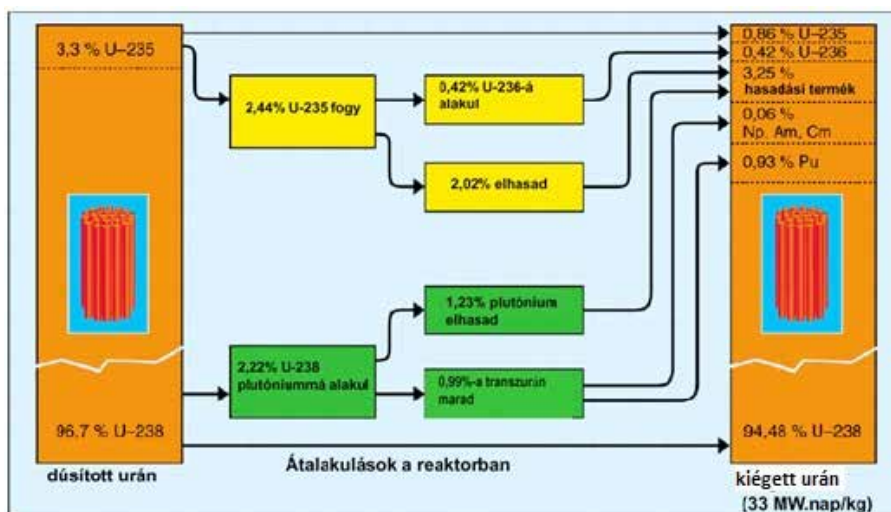
32. ábra. Az egyes foglalkozásokhoz rendelhető átlagos éves effektív dózisértékek (mSv) (Forrás: a [30] alapján a szerzők által szerkesztve)

Az effektív dózisértékek megoszlását mutatja a 33. ábra.



33. ábra. Effektív dózisértékek ábrázolása (Forrás: a [30] alapján a szerzők által szerkesztve)

Egy atomerőműben dolgozó ember átlagos éves effektív dózisa ~1 mSv, néhány ember esetében meghaladhatja az 5 mSv értéket, a korlát 20 mSv/év, és nem haladhatja meg évente az 50 mSv értéket. Az atomerőművekben jelenlévő radioaktivitás szempontjából kiemelkedő fontosságúak a radioaktivitás döntő részét tartalmazó kiegészítő fűtőelemek és a radioaktív hulladékok. A könnyűvízes atomerőművekben (LWR) keletkező radioaktív, kiegészítő fűtőelemek jellemző összetételét és a radioaktív hulladékokban jelenlévő fontosabb radioaktív izotópokat foglalja össze a 34–36. ábra.



34. ábra. Változások az LWR atomerőművek fűtőelemeiben (Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

### Fontosabb radionuklidok nukleáris hulladékokban

- **Gamma-sugárzók**

$^{60}\text{Co}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{106}\text{Ru}$ ,  $^{152,154,155}\text{Eu}$ ,  
 $^{58}\text{Co}$ ,  $^{54}\text{Mn}$ ,  $^{59}\text{Fe}$ ,  $^{110\text{m}}\text{Ag}$ ,  $^{94}\text{Nb}$ .

- **Béta-sugárzók**

$^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{63,59}\text{Ni}$ ,  $^{93}\text{Zr}$ ,  $^{93}\text{Mo}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  
 $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{129}\text{I}$ .

- **Alfa-sugárzók (transzuránok)**

$^{238-241}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{243,244}\text{Cm}$ ,  $^{237}\text{Np}$

### Leszerelésre kerülő atomerőművek kritikus radionuklidjai

- **Grafit**

- $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{63,59}\text{Ni}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152}\text{Eu}$

- **Beton**

- $^{41}\text{Ca}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{63,59}\text{Ni}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{152}\text{Eu}$

- **Acél/rozsdamentes acél**

- $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{63,59}\text{Ni}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{93}\text{Zr}$ ,  $^{93}\text{Mo}$ ,  $^{94}\text{Nb}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ , **transzuránok**

- **Alumínium**

- $^{60}\text{Co}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{36}\text{Cl}$

- **Ólom**

- $^{60}\text{Co}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{55}\text{Fe}$

- **Víz**

- $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{63}\text{Ni}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ , **transzuránok**

- **Ioncserélő gyanta**

- $^{55}\text{Fe}$ ,  $^{63,59}\text{Ni}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{99}\text{Tc}$ ,  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{93}\text{Zr}$ ,  $^{93}\text{Mo}$ ,  $^{94}\text{Nb}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{129}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  
 $^{135}\text{Cs}$ , **transzuránok**

A radioaktív hulladékok által kibocsátott radioaktív sugárzás emberiségre ható többlet effektív dózisa < 0,001 mSv/év/fő.

A mesterséges radioaktivitás jelenleg szerencsére csökkenő hányadát képviselő része az 1945–1980 között végrehajtott nukleáris kísérleti robbantások (ezen belül kiemelkedően a légi robbantások) magas légkörbe került majd kihulló radioaktív pora (fallout). A kísérleti robbantások által légkörbe került radioaktív  $^{137}\text{Cs}$  mennyisége százszorosan haladta meg a legsúlyosabb csernobili baleset során kikerült cézium mennyiségét. Bizonyos, igen kis mértékben emeli a mesterséges radioaktivitás által közölt effektív dózis értékét a szénerőművekből kikerülő radioaktivitás is.

*A radioaktív sugárzás biológiai hatásai*

Az ionizáló radioaktív sugárzás a sejtek DNS-állományát károsítja főként. Ha nagyszámú sejt pusztul el vagy károsodik reprodukáló képessége, a szerv érzékelhető sugárkárosodást szenved. Enyhébb esetben a sejtek önreparációs mechanizmusa kijavíthatja a sérülést, de ha létfontosságú szerv károsodik és a sérülés jelentős, halál is bekövetkezhet, akár napokon belül. Ezt nevezik „korai hatásnak”.

A másik lehetőség az, hogy a sejtek károsodnak a sugárzástól, de reprodukáló képességük megmarad. Az így keletkezett módosult sejteket a szervezet testidegennek érzékeli, és a védekező mechanizmusok révén kiveti. Ha erre a szervezet védekező mechanizmusa már nem képes, rákos szövetburjánzások léphetnek fel. Ha a módosulások az ivarsejtekben keletkeznek, a módosult gének az utódokban is megjelenhetnek. Ezt nevezik „kései hatásnak”.

A „korai hatást” csak rövid időn belül elszenvedett nagyobb dózisok okozzák. Például, ha 500 mSv-nél nagyobb egész testre ható dózist kap az ember néhány óra alatt, a vérkép megváltozik, a szervezet elgyengülhet, 5000 mSv dózis esetén nagy valószínűséggel néhány héten belül elhalálozik a fehérvérsejtek – csontvelőpusztulás miatti – csökkenése okán. 50 000 mSv dózis esetén a komoly béltraktus- és idegrendszeri károsodás következtében gyors halálozás valószínű.

### 3.2 AZ ATOMERŐMŰVI RADIOAKTÍV SUGÁRZÁSSAL KAPCSOLATOS KOCKÁZATOK MEGHATÁROZÁSA

A kései hatások következményei különféle rákbetegségek formájában jelenhetnek meg. A halálos kimenetelű rákbetegségek száma jól méri a teljes veszélyeztetettséget, bár a nem halálos kimenetelű rákbetegségek számbavétele ugyancsak fontos. A nagy dózisértékek egyértelműen megfeleltethetők a rákos betegségek kialakulásának és – bár sokkal kisebb valószínűséggel – a kisebb dózisértékeknek hasonló hatása valószínűsíthető.

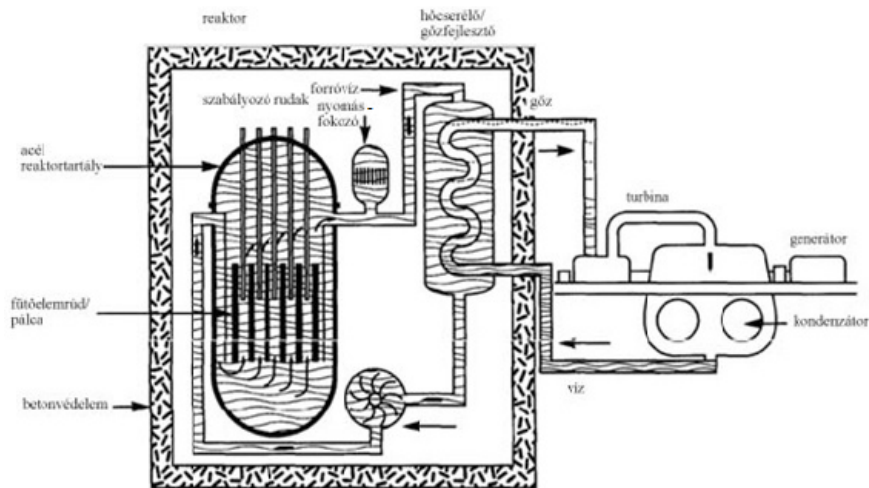
*A kis dózisértékekhez rendelhető kockázat*

Bár közvetlen bizonyíték nincs rá, a kis dózisok károsító hatása is joggal tételezhető fel, valószínűleg nem létezik olyan alacsony dózis, mely ne okozna valamekkora sérülést, és a dózis növelésével ennek kockázata növekszik. Bizonyíték azonban eddig csak nagy dózisértékek egészségkárosító hatására létezik (a rádiummal dolgozók, az uránbányászok esetében). Ugyancsak bizonytalan a természetes radioaktivitás ingadozásából adódó dózisok kockázati besorolása. Egyedül a kiégett fűtőelemek újrafeldolgozását végző (reprocesszáló) üzemek esetén figyeltek meg kismértékű emelkedést a rákbetegség és leukémia kialakulásának gyakoriságában. A sugárzás mutációs hatását eddig csak állatkísérletekkel sikerült kimutatni.

Ezen adatok alapján egy ember halálos rákbetegségének sugárzás által előidézett kockázata  $\sim 5/100000/mSv$ . Ezek szerint 1 mSv többlet effektív dózis esetén 100 000 emberből 5 ember hal meg rákbetegségben. Mivel életünk során  $\sim 200$  mSv effektív dózist szedünk össze természetes és mesterséges sugárzástól, 100 000 emberből 1000 ember halálozhat el ennek következtében fellépő rákbetegségben. A fejlett országok statisztikája szerint, ennél jóval magasabb a rákbetegségben meghaltak aránya, 25 000 ember hal meg rákbetegségben 100 000 emberre vetítve. Így 25 rákbetegből 1 ember betegségének oka vezethető vissza természetes vagy mesterséges radioaktív sugárzásra. Az atomenergetikában dolgozók az átlagemberhez képest további 100 mSv, azaz 300 mSv dózist szenvednek el életük során, így a sugárzás okozta rákbetegség által okozott halál kockázata 50%-kal magasabb, de még így is az 1500 fő sugárzás kiváltotta rákbetegség következtében fellépő halála az összes ilyen eset 1,5/25-e, azaz 6%-a!

### A radioaktivitás keletkezése és megoszlása az atomerőművekben

Egy nyomottvízes atomerőmű (PWR, VVER) az alkalmazott urántartalmú fűtőelem-pasztillákban végbemenő hasadási folyamat során hőt termel, majd a keletkezett hővel vízből gőzt fejlesztve turbogenerátorral villamos energiát fejleszt és esetleg a hő egy részét fűtésre, vagy technológiai hőként hasznosítja.



35. ábra. A nyomottvízes atomerőmű (PWR, VVER) blokkjának vázlatos ábrázolása  
(Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

A fűtőelem-pasztillákban végbemenő folyamatokban az  $^{235}\text{U}$  és részben a keletkezett  $^{239}\text{Pu}$  magok elhasadásakor keletkező hasadási termékmagok erősen radioaktívak és nagy aktivitású anyagnak tekinthetők. A neutronok egy része a hasítás mellett befogódik az uránizotópokba, és transzurán radioaktív izotópok (pl.  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{242}\text{Cm}$ ,  $^{244}\text{Cm}$  stb.) keletkeznek, melyek további neutronokat foghatnak be. Az említett radioaktív izotópok adják a kiegészített fűtőelemek magas aktivitását ( $\sim 2/3$ -át a hasadási termékek,  $\sim 1/3$ -át a transzuránok). Emellett a neutronok felaktiválják az erőmű egyes szerkezeti anyagait és a hőhordozóban jelenlévő célmagokat is, így aktivációs termékek keletkeznek (pl.  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{51}\text{Cr}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ ). A nagy aktivitású anyagok által kibocsátott sugárzást betonárnyékolással a külvilág felé jelentéktelen szintre csökkentik. Az erőmű dolgozói kismértékben többletdózist szenvednek el a normál üzemelés, a felügyelet, karbantartások, javítások során. A keletkezett szilárd folyékony és gáznemű radioaktív hulladékok gyűjtése, kezelése során az erőmű dolgozói ugyancsak többletdózist kaphatnak. A szilárd tömöríthető hulladékokat tömörítik, majd temetés előtt mátrixba zárják, a folyékony hulladékok gyűjtése után térfogatcsökkentő eljárásokkal elválasztják a radioaktív izotópokat az inaktív komponensektől, majd leggyakrabban hordókban, cementezve szilárdítva kerülnek temetésre. A radioaktív gáz- és gőzállapotú hulladékokat szorbensekkel, szűrőkkel kötik meg, a rövid élettartamúakat elbomlásig tárolják, a hosszú élettartamúakat szilárd hordozóval temetik el. Ez alól kivétel a  $^{85}\text{Kr}$  izotóp, melyet hígítva a környezetbe bocsátanak ki. Minden atomerőmű kis engedélyezett mennyiségű radioaktív gázt és folyadékot a környezetbe is kibocsát. Az atomerőmű üzemelése során a keletkezett radioaktivitás döntő része ( $>99,99\%$ ) a kiegészített fűtőelemekben halmozódik fel. A kiegészített fűtőelemek  $\sim 96,6\%$ -a értékes hasadóanyag (urán, transzuránok), így a valódi hulladékot csak a hasadási termékek adják. Ötéves víz alatti tárolás után jelenleg a kiegészített fűtőelemeket vagy maximum ötven évig átmenetileg tárolják, vagy azonnal az újrafeldolgozó üzembe kerülnek az értékes hasadóanyagok elválasztására. Az így keletkezett radioaktív hulladékot üvegmátrixba zárva végleges elhelyezésre, nagy mélységű radioaktív hulladék-tárolóba szállítják.



2004-ben életbe lépett a 15/2001. (VI. 8.) KöM rendelet által előírt új kibocsátási korlátozási rendszer, amely a Paksi Atomerőműre meghatározott dózismegszorításból (90 mSv) származtatott izotópspecifikus kibocsátási korlátokhoz hasonlítja mind a folyékony, mind a légnemű kibocsátásokat [30].

Egy adott izotópra és a kibocsátási módra vonatkozóan a kibocsátási határérték és a kibocsátott mennyiség hányadosa, melynek számítása:

$$\sum_{ij} \frac{R_{ij}}{El_{ij}} \leq 1$$

ahol:

$El_{ij}$  = az i radionuklid j kibocsátási módra vonatkozó kibocsátási határértéke (Bq/év),

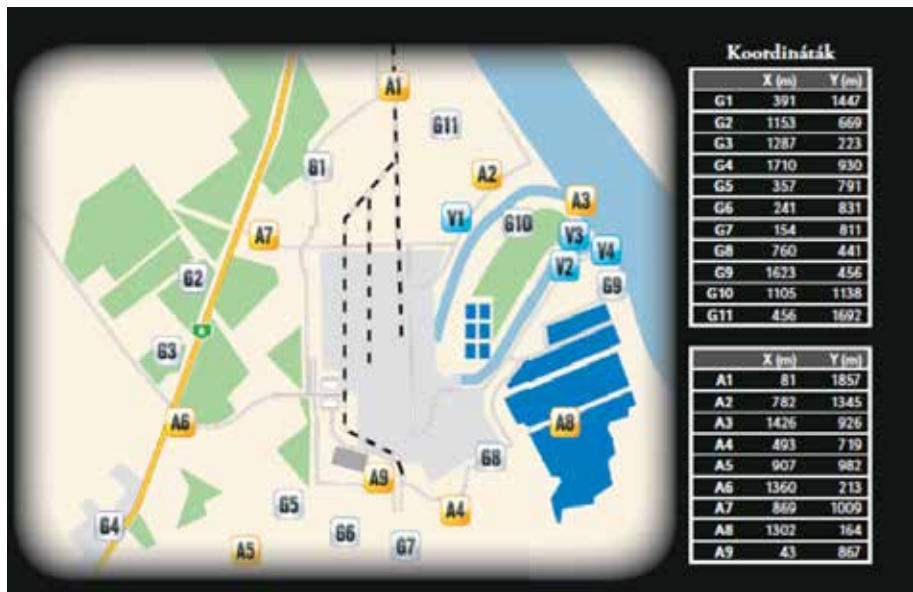
$R_{ij}$  = az i radionuklid j kibocsátási módra vonatkozó éves kibocsátása (Bq/év).

A 32. táblázat mutatja a Paksi Atomerőmű 2011. évi kibocsátásait és a korlátokat.

Izotópcsoportok	Összes kibocsátás[Bq]	Kibocsátási határérték kihasználása
<b>LÉGNEMŰ KIBOCSÁTÁSOK</b>		
Korróziós és hasadási termékek	$8,76 \times 10^8$	$1,03 \times 10^{-4}$
Radioaktív nemesgázok	$3,72 \times 10^{13}$	$4,34 \times 10^{-4}$
Radiojódok	$1,05 \times 10^8$	$1,26 \times 10^{-5}$
Trícium	$3,69 \times 10^{12}$	$2,13 \times 10^{-5}$
Radiokarbon	$3,49 \times 10^{11}$	$1,12 \times 10^{-4}$
<b>Összes:</b>		$6,83 \times 10^{-4}$
<b>FOLYÉKONY KIBOCSÁTÁSOK</b>		
Korróziós és hasadási termékek	$1,64 \times 10^9$	$5,23 \times 10^{-4}$
Trícium	$2,31 \times 10^{13}$	$7,95 \times 10^{-4}$
Alfa-sugárzók	$1,83 \times 10^5$	$2,54 \times 10^{-7}$
<b>Összes:</b>		$1,32 \times 10^{-3}$

32. táblázat. A Paksi Atomerőmű légnemű és folyékony radioaktív kibocsátásai 2011-ben [30]

Természetesen a légnemű és folyékony kibocsátásokat környezeti ellenőrző rendszerekkel követik nyomon. Például a Paksi Atomerőmű esetén alkalmazott környezeti mérőállomások elhelyezkedését a 36. ábra mutatja [30].



36. ábra. Az „A”, „G” és a „V” típusú távmérő állomások elhelyezkedése a Paksi Atomerőmű környezetében (Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

2011-ben is, az előző évekhez hasonlóan a Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal (MKEH) típusvizsgálatával és hitelesítéssel rendelkező dózismérő rendszert használtak az összes mérőponton a környezeti gamma-sugárzás dózisteljesítményének mérésére. Az A- és G-típusú állomások 1,5 km-es, a B24, L25 és C-típusú állomások 30 km-es körzetben helyezkednek el az erőmű környezetében. A C-típusú állomásokon és az L25 mérőponton Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> pelletet tartalmazó POR TL környezeti dózismérő, a G-típusú állomásokon BITT RS03/232 típusú mérőszonda van telepítve. Az A1–A9 és B24-es állomáson POR TLD és a folyamatos monitorozást szolgáló BITT RS03/232 típusú mérőszonda párhuzamosan szolgáltat adatot. Az A1–A9 és B24 állomáson a két detektor egymás mellé, azonos pozícióban van felfüggesztve. Mind a két rendszer a teresztriális és a kozmikus komponens egyaránt tartalmazó mérési eredményt környezeti dózisegyenértékben adja meg, s a jobb összehasonlíthatóság érdekében mindegyiküknél meghatározták a havi átlagos dózisteljesítményt. Az erőmű radioaktív kibocsátásaiból eredő kritikus lakossági csoport többlet sugárterhelését mutatja a 33. táblázat [30].

Besugárzási útvonál	Effektív dózisegyenérték					Hatósági korlát		Effektív dózisegyenérték										
	[μSv/év]					[μSv/év]		[μSv/év]										
	1996	1997	1998	1999	2000	2000	2000–	2001	2002	2003*	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Légköri kibocsátások	0,135	0,056	0,032	0,068	0,023	306	–	0,075	0,032	0,270	0,027	0,028	0,023	0,024	0,023	0,157	0,009	0,016
Folyékony kibocsátások	0,017	0,018	0,024	0,028	0,047	154	–	0,028	0,019	0,031	0,027	0,025	0,029	0,028	0,035	0,024	0,030	0,032
Összes	0,152	0,074	0,056	0,096	0,080	460	90	0,103	0,051	0,301	0,054	0,053	0,052	0,052	0,068	0,181	0,039	0,048

33. táblázat. A PA Zrt. radioaktív kibocsátásaiból eredő kritikus lakossági csoport többlet sugárterhelése [30]

Összefoglalva, egy atomerőműből származó radioaktív sugárzás származhat:

1. magából az erőműből normális üzemmód vagy karbantartás során,
2. az erőmű szokásos környezeti kibocsátásaiból, és
3. üzemzavarok és balesetek következményeként.

#### *Kockázatok az atomerőmű normális üzemmódja során*

Atomerőművek normál üzemelése során a személyzet és a társadalom egyes részei szenvednek el kis dózistöbbletet. A személyzet számára meghatározott dóziskorlátokat nemzetközi és nemzeti szabályok, előírások rögzítik. Hazánkban a 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet szerint a foglalkozási sugárterhelésnek kitett munkavállalót a munkavégzés során érő, az alkalmazott mesterséges és fokozott sugárterhelést eredményező természetes forrásokból származó, külső és belső sugárterhelés együttesen, egymást követő 5 naptári évre összegezve nem haladhatja meg a **100 mSv** effektív dóziskorlátot. Az effektív dózis egyetlen naptári évben sem haladhatja meg az **50 mSv** értéket. A rendelet által meghatározott dóziskorlátokat a 34. táblázat foglalja össze.

	<b>Foglalkozási sugárterhelés</b>	<b>Tanulók, gyakornokok (16–18 év között)</b>	<b>Lakosság (orvosi sugárterhelés nélkül)</b>
<b>egész test</b>	100 mSv/5 év (egy évben sem lehet > 50 mSv)	6 mSv/év	1 mSv/év
<b>szemlencse</b>	150 mSv/év	50 mSv/év	15 mSv/év
<b>bőr</b>	500 mSv/év	150 mSv/év	50 mSv/év

34. táblázat. Dóziskorlátok (Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

Ezek az értékek határozzák meg az elviselhető kockázat mértékét. Külföldi gyakorlat szerint törekedni kell a <20 mSv/év dóziskorlát betartására az atomerőművi dolgozók esetén. Az atomerőművi dolgozók elszennvedett dózisértékeit személyi dozimetriával kísérik nyomon. Míg ezek a dolgozók saját döntésük alapján vállalják a sugárzással járó többletkockázatokat, a lakosság nincs ilyen döntési helyzetben, ezért a számukra előírt dóziskorlátok jóval alacsonyabbak. Ezzel kapcsolatban a lakosság által elszennvedett dózisértékek nem monitorozhatók.

#### *Nukleáris üzemzavarok, balesetek kockázatai*

A következő részt döntően az [29] irodalom alapján tárgyaljuk. Ezen üzemzavari, baleseti kockázatok meghatározásánál becslésekre és a valószínűségi analízis módszereire kell támaszkodnunk. Hiba lenne feltételezni azonban, hogy ezek a becslések mindig precízek, mert a számítási eljárás egyes lépései erősen bizonytalanok, egyes figyelembe vett lehetőségek valószínűtlenek és egyes tényezők (pl. emberi viselkedés) becslése ugyancsak bizonytalan. Ennek ellenére az atomerőmű megbízhatósága meghatározható. Első lépésként az atomerőművek műszaki berendezéseinek meghibásodási lehetőségeit, valószínűségeit és a bekövetkezés valószínűségének csökkentési lehetőségeit kell meghatározni.

#### *Az atomerőmű meghibásodásának kockázata*

A radioaktív sugárzás kockázata régóta ismert, kismértékben a környezetbe kerülése megakadályozásának fontosságát korán felismerték. Az első atomerőművekben ezért nagyon ellenálló, robusztus elemeket gyártottak, és a legfontosabbnak ítélt szakaszoknál biztonsági elemeket építettek be.

Újabban a meghibásodások és ennek következményeként a radioaktív kibocsátások előfordulásának valószínűségét és a következményeket meghatározó eljárások jelentős fejlődése következett be. Ezeket a technikákat összefoglalóan Probabilistic Safety Analysis (PSA) néven ismerik, más iparágakban a Quantified Risk Assessment (QRA) is ismert.

Az atomerőművek reaktoraiban az alapvető veszély és kockázat az aktív zónában végbemenő hasadási és neutronbefogási folyamatokból és az ezzel összefüggő hőfejlődésből és sugárzásból adódik. Alapvető cél a reaktorban keletkező hő üzem közbeni és leállás utáni biztonságos elvezetése. A reaktornak automatikusan le kell tudnia állnia az üzemelési korlátok bármely okból, így operátori hibából eredő túllépése esetén. Biztosítani kell, hogy a fűtőelemekben és a hűtőközegben lévő gáz, oldott és szilárd radioaktív anyagok ne kerülhessenek ki más közegbe.

A tervezés PSA elemzésének első lépéseként az ún. iniciáló pontok gondos azonosítását végzik el. Ezek a lehetséges meghibásodási pontok, melyek közvetlenül vagy közvetve más folyamatok (emberi hibák is) sorozata révén radioaktív kibocsátást okozhatnak. Ezen elképzelhető folyamatokat és lehetséges következményeiket logikai események sorozatával, ún. „eseményfák” (ETA), „hibafák” (FTA) segítségével rögzítik. Egy atomerőmű tervezésénél több ezer ilyen eseményfát, hibafát vesznek figyelembe. Ez után szisztematikusan gondoskodnak arról, hogy bármely lehetséges esemény bekövetkezését megakadályozzák. Az atomerőművek fontosabb elemeinek rendelkezésre álló jelentős tapasztalata elősegíti a kritikus elemek biztonságának növelését. Ezen folyamat során a tervezők egy sorozat „mi lenne akkor, ha – what if?” kérdést is feltesznek, és a kérdésekre a radioaktív kibocsátások szempontjából megbízható, a kibocsátást kizáró eljárást alkalmazó választ találnak. Emellett fontos annak a kérdésnek is a megválaszolása, hogy „mennyire alacsony az, ami elegendően alacsony?” A PSA elvek szerint tervezett atomerőmű biztonsági szempontból kiegyensúlyozottan védett, az összes fontos kockázatot igyekeznek elfogadható szintre csökkenteni. Ezek után kaphat licencet az atomerőmű terve. Természetesen az elfogadható szintű maradék kockázatok között léteznek műszaki és humán eredetű kockázatok is. Az eljárás nagy előnye, hogy szisztematikus eljárás keretében vizsgálja a tervezés során az azonosítható kockázatokat. Külön vizsgálják egy hipotetikus személyt érhető legnagyobb kockázat szerepét. A PSA szerint tervezett atomerőműnél törekednek arra, hogy az így megépített erőműből kikerülő radioaktivitás által egy hipotetikus személyen okozott 100 mSv effektív dózistöbbletérték valószínűsége elfogadhatóan alacsony legyen. Ezen 100 mSv effektív dózishoz tartozó többletkockázat értéke 5/1000, azaz öt ezrelék. Természetesen a legnagyobb kockázatot jelentő közeli ponttól távolabb eső személyek dózis- és kockázattöbblete már jóval kisebb.

#### *Tervezhető üzemzavarok, balesetek*

Egyes üzemzavarok és balesetek az ún. tervezhető kategóriába sorolhatók, mely esetben az atomerőmű kialakítása lehetővé teszi az üzemzavar vagy baleset elfogadhatatlan következményeinek elhárítását. Ennél nagyobb kibocsátással járó baleset csak abban az esetben fordulhat elő, ha a biztonsági rendszerek sorozatos meghibásodása következik be, vagy ha egy igen kis valószínűségű katasztrofális hiba, például reaktortartály-sérülés lép fel. Az ilyen kibocsátásokat tervezhetőségen felüli kibocsátásnak nevezik.

#### *Nagy kibocsátások*

Atomrobbanás fellépte egy atomerőműben kizárható az urán alacsony dúsítási foka ( $\ll 92\%$   $^{235}\text{U}$ ) és a kritikus tömeg együttlétének hiánya miatt. Ugyanakkor, ahogy a Csernobilban történt baleset is megmutatta, komoly radioaktív kibocsátással járó atomerőművi baleset nem zárható ki, mely során a fűtőelemekben felhalmozódott gáz, gőz és alacsony forrponútú szilárd radioaktív izotópok, zónaolvadás és törések következtében kikerülhetnek a környezetbe, tűz, hidrogén- és szén-monoxid-robbaná-

sok kíséretében. A nagy, tervezhetőségen felüli radioaktív kibocsátásokat szokás két csoportra is osztani. Az első, nagyobb kibocsátással járó baleset valószínűségét  $1/10^7$  esemény/reaktorév előfordulási valószínűség alá kell csökkenteni. A második, ennél kisebb radioaktív kibocsátási szint esetén, mely a hipotetikus személy maximális kockázata esetén elszenvedett  $\geq 1000$  mSv effektív dózis értékkel jellemezhető, az előfordulás valószínűségét  $1/10^6$  esemény/reaktorév előfordulási valószínűség alá kell csökkenteni. Ez utóbbi esetben is előírják, hogy a lehetséges meghibásodási sorozatok tagjainak előfordulási valószínűsége nem haladhatja meg az  $1/10^7$  esemény/reaktorév előfordulási valószínűséget.

Ennek a menetét a következő példa szemlélteti. Tegyük fel, hogy a főkeringtető szivattyúk (FKSz) meghibásodásának (mely a reaktor túlhevülését eredményezheti) előfordulási valószínűsége  $1/100$  esemény/reaktorév. Ennek bekövetkezésekor az automatikus szenzorok jeleinek hatására a reaktornak azonnal le kell állnia. A reaktorleállító rendszer nagyon nagy megbízhatósággal rendelkezik, meghibásodásának gyakorisága  $1/10^5$  esemény/reaktorév. Így a két meghibásodás együttes bekövetkezésének valószínűsége  $1/(10^2 \times 10^5) = 1/10^7$  esemény/reaktorév. Ez okból további biztonsági intézkedést nem igényel, hacsak meg nem jelenik annak az eseménynek a valószínűsége, hogy egy adott meghibásodást eredményező esemény egyaránt érinti mindkét berendezést. A szekunder körű tápvízrendszer hibája esetén a reaktor helyesen leáll, és az esemény nem tűnik súlyosnak, de a póttápvízrendszer meghibásodása miatt nem távolítja el a primer körből a maradék, remanens hőt, ezek együttes bekövetkezési valószínűsége  $>1/10^7$  esemény/reaktorév. Ezért valószínűleg kezdeményezik a redundancia elvének megfelelően két, alternatív póttápvízrendszer létrehozását. Ha mindkét póttápvíz-hűtőrendszer villanymotorokkal üzemel, a diverzitás elvének megfelelően előírhatják a két alternatív rendszer eltérő meghajtással (pl. villanymotor és gőzturbina hajtású szivattyúk) való üzemelését. Az említett valószínűségek felfedezésére és csökkentésére alkalmazzák a hibafa és eseményfa elemzést. Természetesen valamennyi lehetséges esemény előfordulási valószínűségéhez nem rendelhető valós érték. Bár az atomerőművek megbízhatósága növekszik, számos esetben mérnöki megfontolás szükséges a kockázatok becsléséhez, és gyakran kell javítani a rendelkezésre álló adatokat a gyakorlat adatai alapján. Ennek ellenére marad bizonyos bizonytalanság az atomerőművek biztonsági rendszerében. A közölt valószínűségeket, gyakoriságokat célszerű nagyságrendjében kezelni és szemlélni.

Ezek a számítások és a PSA elemzés szisztematikus megközelítése megfelelő biztonságot nyújt abban a tekintetben, hogy ha az erőmű jól és megbízhatóan létesült, karbantartott és biztonságosan üzemel, annak esélye, hogy meghibásodás következtében a tervezési alap fölötti mennyiségben bocsát ki a környezetbe radioaktivitást, nagyon alacsony kell legyen. A számítás eredményeként kapott számok csak a nagyságrendet jelölik. Teljesen nem lehet kizárni, hogy nem hagytak semmi fontosat figyelmen kívül.

Természetesen az olyan bonyolult ipari technológiák esetén, mint az atomerőműben történő energiatermelés, az ellenőrzés és a kockázatok megfelelő kezelése egy bonyolult számítástechnikai és beavatkozó rendszert igényel. Felmerül ezért a számítógépes szoftverek megbízhatósága, hibázási lehetősége. Ezért az itt alkalmazott szoftverek tesztelése, időszakos felülvizsgálata fontos. Az ilyen hibák elkerülésére egyszerű, jól ellenőrizhető szoftverek alkalmazása a követelmény. Általában az atomerőművekben alkalmazott szoftverek hibázási valószínűségét  $<1/10^7$  értékben határozzák meg.

#### *Természetes eredetű események*

A korábban tárgyalt, eseményhez vagy balesethez vezető kezdeti események között meg kell említeni a természetes eredetű eseményeket, például a földrengést. A modern atomerőművek tervezésébe egy komolyabb földrengéssel szembeni ellenállóképesség is beletartozik. Természetesen a ritkán előforduló ( $<1/10^4$  év), extra méretű földrengéssel szemben az atomerőművek ellenállása korlátozott. Más természeti események előfordulási valószínűsége még ennél is kisebb, ilyen például nagyobb meteorit becsapódása vagy tengervíz betörése. Sajnos ez utóbbi esemény a Föld egyes tájain nagyobb

gyakoriságú, mint például Japánban a tengerparti Fukushima Daiichi atomerőművet károsító cunami esetében, ezért a természeti eredetű kezdeti események előfordulási valószínűségeit mindig az adott területre megfigyelt adatok alapján szabad meghatározni, és rendszeresen felül kell vizsgálni.

#### *Az emberi tényező hatása*

A teljes kockázat megbecsléséhez szükséges az emberi hibák kockázatának figyelembevétele is. Ezek a hibák már a tervezés és megvalósítás során bekerülhettek a rendszerbe. A tervezés során bekerülő hibák a korábban vázolt szisztematikus megközelítéssel csökkenthetők. Tipikus tervezési hiba volt például a csernobili RBMK-1000 reaktor tervezése, lévén, hogy ismert tény volt e reaktortípus alacsony teljesítményen jelentkező megszaladásra való hajlama.

A megvalósítás és a módosítások során bekerülhető hibák minimalizálhatók a modern minőség-ellenőrzés és megbízhatósági eljárások segítségével. A PSA elemzés során is részben ki lehet szűrni az ilyen hibákat, mert más működő rendszerek hibáinak tapasztalatai is felhasználhatók.

Az üzemelés és karbantartás során fellépő hibákat a kockázati görbékben már figyelembe veszik. Még a nagyfokú automatizált rendszerek is igénylik az emberi beavatkozást, mert a beavatkozó program számára fellépő új, ismeretlen eseménysor esetén emberi értékelés és döntés szükséges. Ez persze nem jelenthet megnövelt kockázatot jelentő indokolatlan emberi beavatkozást.

A lehetséges emberi hibák valószínűsége megbecsülhető más iparágak hasonló helyzeteiben megfigyelt hibagyakoriságokból, illetve azok az adott helyzetre vonatkoztatott extra-/interpolációjából.

Számos lehetséges esemény során nincs emberi tevékenység, a mérnöki biztonsági rendszer mélyégi védelmet biztosít és megfelelő választ ad a kezdeti eseményekre. Ugyanakkor számos esetben ez a rendszer nem képes adekvát módon reagálni, mielőtt a reaktor biztonságának veszélyeztetettsége megnőne, mert általában a folyamatok megelőzését, megállítását és nem a szabályozását szolgálják. Az emberi beavatkozás legfőbb területe ott szükséges, ahol a hatások azonnal bizonyos biztonsági rendszert érintenek, mert ekkor a mélyégi védelem sérül. Például a Three Mile Island-i atomerőmű-baleset során az operátorok helytelenül értelmezték és reagáltak az érzékelt jelekre, és hibásan kikapcsolták a legfontosabb biztonsági rendszer, a zóna-vészhűtő rendszer üzemelését. A csernobili baleset során több biztonsági rendszert kapcsoltak ki egy kísérlet szabad megvalósításához. Ezen események során az operátorok tragikusan figyelmen kívül hagyták a biztonságot, félreértették a bonyolult rendszer működésének lényegét.

A PSA rendszer a mechanikai rendszerekhez hasonlóan alkalmazható az emberi hibák értékelésére is. Vizsgálja a biztonsági rendszerek közti függő kapcsolatokat és az emberi hibák által érintett területeket. A hibák emberek által történő félreértelmezése az egyik legbonyolultabb terület. Ennek csökkentésére egy különböző területeket vizsgáló csoport, számítógépes diagnosztikai rendszer, jól kialakított tünet alapú eljárások és riasztások, beépített időkésleltetések és utasítási rendszerek szükségesek. A PSA analízis megválaszolja, hogy két helyzet közül melyik a biztonságosabb, de nem képes megadni ezen ismeret alapú hibák bekövetkezésének gyakoriságát. Egy jól megépített és üzemelő reaktor esetén a fenti elemzések segítségével az emberi hibák bekövetkezési valószínűsége a technológia műszaki hibái bekövetkezési valószínűségeinek szintjére csökkenthető.

#### *Az egyéni kockázat szintje*

A kis dózisu ionizáló sugárzások megnövelik a rák fellépésének gyakoriságát a besugárzás után 10-20 évvel.

#### *Normális üzemelés kockázata*

Az atomerőművek normális üzeme során évente átlagosan  $<2$  mSv/év a dolgozók egyenértékdózisa. Ebben az esetben személyenként a halálozás átlagos kockázata  $1/10^4$  évente. Néhány dolgozó éves átlagos dózisa elérheti a  $15$  mSv/év értéket, ekkor a halálozás valószínűsége  $\sim 1/10^3$  évente. Ennek alapján az elviselhető kockázat mértéke  $1/10^4$  évente. Az új harmadik generációs atomerőművek esetén az elviselhető kockázat mértékének  $1/10^5$  évenkénti értékre kell csökkennie. Az erőművek közelében élő lakosság tekintetében az átlagos kockázat  $1/10^6$  évente.

#### *Baleseti kockázat*

A korábbiak szerint atomerőművi kibocsátás miatt bekövetkezett rákbetegség által okozott halál kockázata nem lehet nagyobb, mint  $1/10^6$  évente. **Legrosszabb esetben sem érheti el a kockázat szintje az atomerőművi baleseti kibocsátások esetén az  $1/10^5$  évente határértéket!**

#### *A társadalmi kockázat szintje*

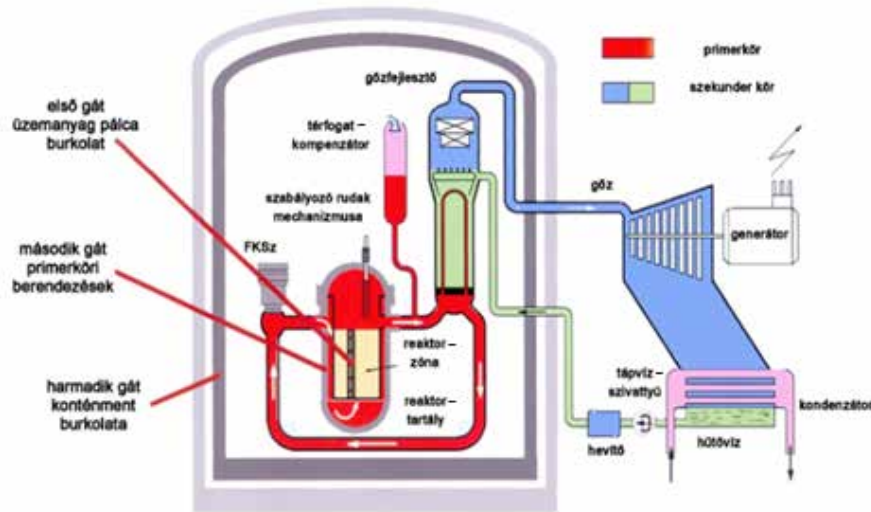
Az atomerőművi balesetek által előidézett társadalmi kockázat szintje legrosszabb esetben  $1/10^3$  –  $1/5 \times 10^3$  értékek közé eshet. Egy nagy, csernobili méretű baleset esetén a várható összes halálozás száma  $500$ – $1000$  ember közé tehető. Természetesen a környezet elszennyeződése és a várható kitelepítések sokkhatása ezt a számot tovább növelheti.

### **3.3 A JELENLEG ÜZEMELŐ II. GENERÁCIÓS ÉS A MOST ÉPÍTÉSRE KERÜLŐ III. ÉS III+. GENERÁCIÓS ATOMERŐMŰVEK BIZTONSÁGI BERENDEZÉSEI**

Az atomerőművek fő biztonsági alapelve:

- a tervezés,
- építés,
- indítás és
- üzemelés

során **sohasem bocsáthat ki a lakosságra káros, nagy mennyiségű radioaktív anyagot.** Ezt a mélységi védelem filozófiájával biztosítják, a radioaktivitás környezetbe való kikerülését nagyszámú egymást követő **gátakkal** akadályozzák meg. Az orosz „matrjoska babához” hasonló, egymásba ágyazott védelmi gátak akadályozzák a radioaktív anyagok környezetbe jutását.



37. ábra. A védelmi gátak rendszere (Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

Egy atomerőmű biztonságát érintő fontosabb veszélyek:

- Primer köri vízfolyás
- Zónaolvadás
- Hidrogén-, CO-robbanás, tűz
- Maradék hő-eltávolítás hiánya
- Radioaktív jód, nemesgáz, cézium kijutása
- Áramkimaradás
- Természeti katasztrófa
- Emberi beavatkozás

**Több biztonsági szintet alkalmaznak** annak megakadályozására, hogy egyik gát se kerüljön veszélybe olyan rendkívüli esemény, mint a berendezés meghibásodása, emberi hiba vagy természeti jelenség következményeként:

1. Maximális biztonságot terveznek a normális üzemre és maximális tűrési képességet rendszerhibák esetére. **Természeténél fogva (inherens)** konstrukciós elveket alkalmaznak a biztonságos üzemeléshez, elsőrendűen fontos:
  - **a minőség,**
  - **a túlméretezés,**
  - **az ellenőrizhetőség és**
  - **vizsgálhatóság biztosítása** üzembevitel előtt és üzemelés során. (Például negatív reaktivitás biztosítása, sugárzástűrő anyagok alkalmazása.)
2. Feltételezik, hogy a gondos tervezés, konstrukció és üzemeltetés ellenére események és téves műveletek előfordulhatnak. Ezért a biztonsági rendszert úgy alakítják ki, hogy a személyzet és a lakosságot óvják, és ilyen események bekövetkezése során a sérüléseket minimalizálják. Például zóna-vészhűtő rendszer (ECCS) alkalmazása primer köri hőhordozó-veszteség (LOCA) esetén, vagy feszültségkiesés esetére tartalék dízelgenerátorok alkalmazása.
3. További biztonsági rendszereket alkalmaznak, hipotetikus üzemzavarok és balesetek hatásainak kezelésére, feltételezve, hogy egyes biztonsági, védelmi rendszerek a baleset során meghibásodnak. Előre nem látható és nagyon kis valószínűséggel bekövetkező események hatását is figyelembe veszik.

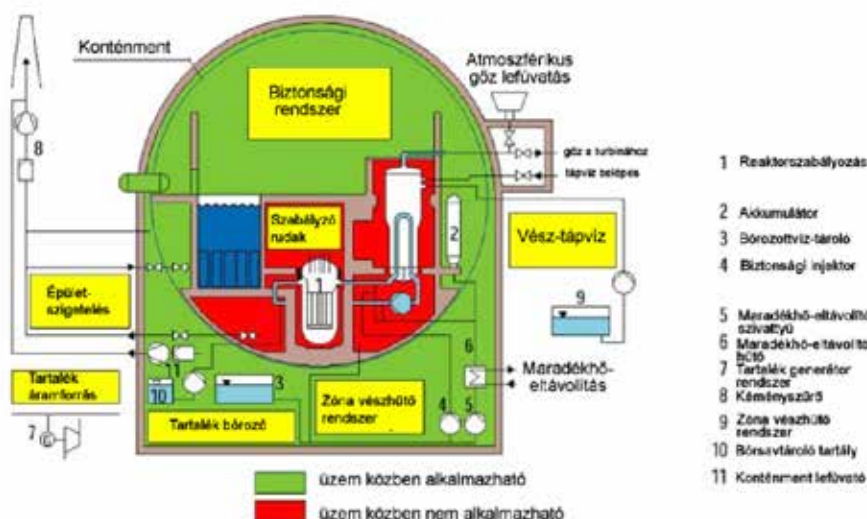


4. A TMI (Three Mile Island, USA, 1978) baleset után ezt a biztonsági elemzést kiegészítették az összes új passzív és inherens biztonság kialakításánál a meghibásodások biztonságának, a teljes körű ellenőrizhetőségnek, a reakció megfutas elleni biztonságának és a tévedések kizárási biztonságának a figyelembevételével. A meghibásodások biztonságánál biztosítani kell, hogy egy fontos komponens hibája esetén a rendszer biztonságos állapotba visszavihető legyen. A teljes körű ellenőrizhetőség biztosítja az ellenőrizhetőséget bármilyen veszélyes emberi beavatkozással szemben. A megfutasok biztonsága lehetővé teszi, hogy a rendszer megfelelő ideig biztonságban maradjon egy baleset során, miután biztonságos állapotba térítették vissza. Az elnézések biztonsága azt jelenti, hogy a reaktor elviseli egy késői vagy hibás emberi beavatkozást baleseti helyzetbe kerülés nélkül.

### A jelenleg üzemelő II. generációs atomerőművek néhány biztonsági berendezése

#### A zóna-vészhűtő rendszer (Emergency Core-Cooling System, ECCS)

Ha a teljes hűtőközeg elfolyik, sorsdöntő, hogy a zóna ne hevülhessen túl. Erről az ECCS gondoskodik. A két legfontosabb LWR típusra eltérő megoldást dolgoztak ki.



38. ábra. A PWR-VVER típusú reaktorok ECCS sémája

(Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit Methoden und Ergebnisse Probabilistischen Sicherheitsanalyse [PSA], 2001 forrás alapján a szerzők által készítve)

Általában 3 független (2 aktív és 1 passzív) alrendszert működtetnek:

1. A hűtőközeg kismértékű elfolyása esetén a nyomás kismértékben csökken (pl. 155 barról, 110 barig). Ekkor beindul a **nagynyomású injektorrendszer (HPIS)**, amely bőrosztvizet pumpál a reaktorba.
2. Nagyobb törések esetén jelentősebb az elfolyás, gőz fejlődik, és gyors nyomásesés lép fel. Ekkor az **akkumulátor injektorrendszer (AIS)** lép üzembe. Ez kettő vagy több független tartályból nitrogéngáznyomás segítségével hideg bőrosztvizet pumpál (pl. 14–45 bar nyomáson) a főkeringtető szivattyú utáni reaktorba belépő csővezetékbe. Ha a rendszernyomás a gáznyomás alá esik, az ellenőrző szelepek kinyílnak, és a gáz benyomja a hideg bőrosztvizet a zónába.
3. Nagyon nagy elfolyás, azaz igen jelentős nyomáscsökkenés esetén az **alacsony nyomású injektálórendszer (LPIS)** lép működésbe. Ez hosszú ideig képes bőrosztvizet juttatni a rendszerbe az akkumulátortartályok kiürülése után is.

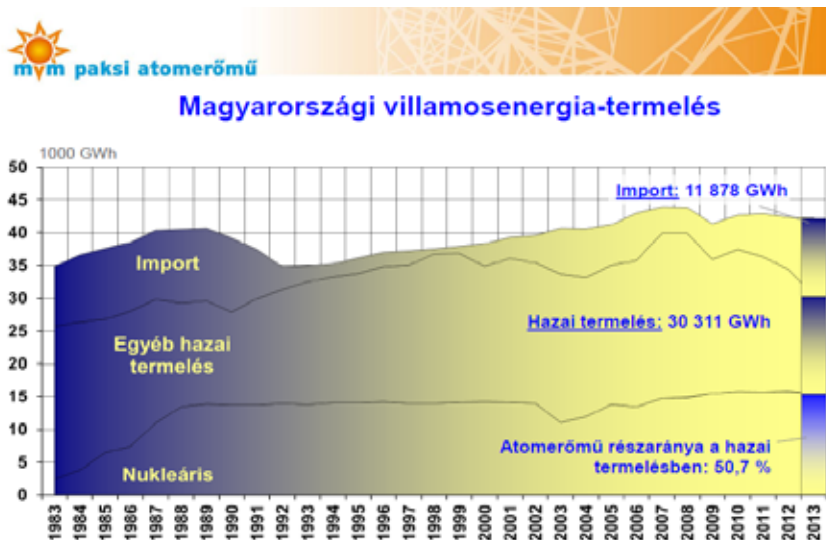
A jelenleg üzemelő 4 db VVER-440/213 típusú paksi blokk rövid jellemzése és biztonsági berendezései



39. ábra. A két vízkörös nyomottvizes atomerőmű (PWR)  
(Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

Primer kör	Szekunder kör
Reaktortartály és a felső blokk (349 köteg)	Telített gőzös gőzturbina
Főkeringtető vezeték és főelzáró tolózár	Generátor
Főkeringtető szivattyú	Kondenzátor
Gőzfejlesztő	Főkondenzátum-szivattyú
Térfogat-kiegyenlítő és nyomástartó	Kisnyomású előmelegítők
	Gáztalanító táptartály
	Nagynyomású előmelegítő
	Tápszivattyúk
	Nedvességválasztó és gőztúlhevítő

A Paksi Atomerőmű 4 blokkja által termelt villamos áram adja az ország villamosenergia-felhasználásának 40-50%-át, ezért a blokkok biztonságos üzemelése stratégiai kérdés.

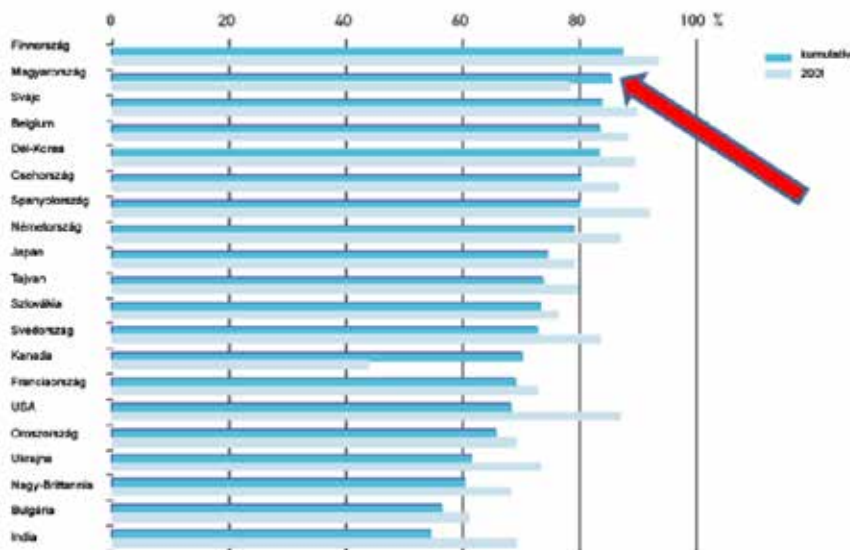


40. ábra. A 4 paksi blokk szerepe a hazai villamosenergia-termelésben  
(Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

**A Pakson üzemelő 4 db VVER-440/213 atomerőművi blokk biztonsága**

Az erőmű biztonságának növelését célzó tevékenység 1986-ban, tehát már az utolsó blokk üzembe helyezése előtt megkezdődött. Később a biztonságnövelő intézkedések körét fokozatosan bővítették és pontosították a blokkok üzemeltetése során felismert nem megfelelő megoldások, a külföldi erőművekből érkező üzemi tapasztalatok feldolgozása, valamint az erőműben lebonyolított nemzetközi felülvizsgálatok javaslatai alapján.

A 4 paksi blokk az eltelt időben kiváló, hibamentes teljesítményt nyújtott, amit az átlagos teljesítménytényező (load factor) értékei a 41. ábrán jól mutatnak. Ezek szerint hazánk atomerőművi blokkjai a világon a második legjobb értéket szolgáltatták.



41. ábra. Teljesítménytényező (load factor) = biztonság + gazdaságosság  
(Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

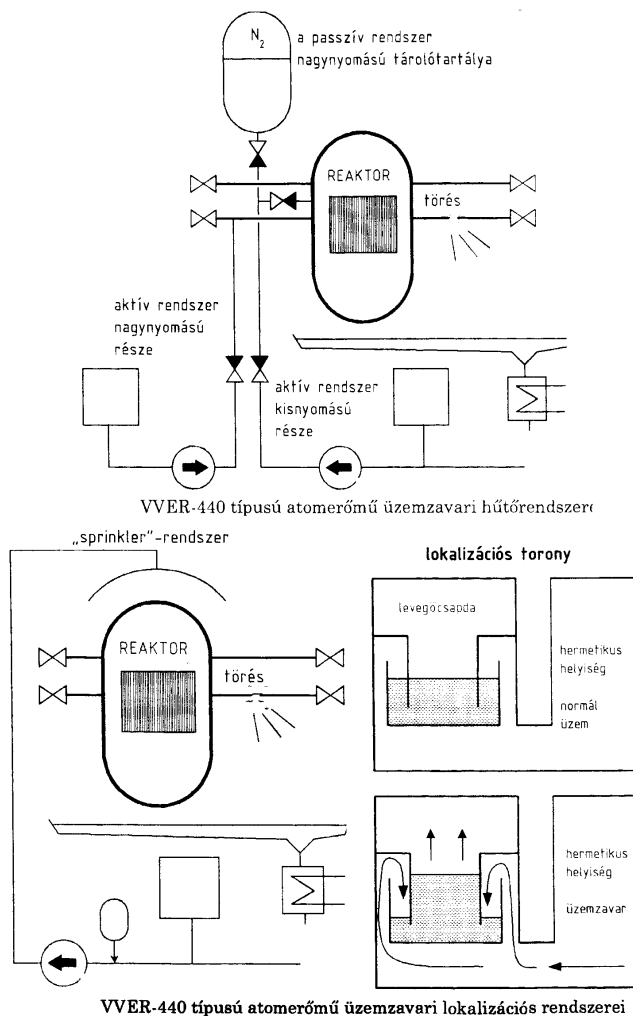
Az erőmű primer körü rendszerei túlnyomásra méretezett helyiségrendszerben, az úgynevezett hermetikus térben helyezkednek el. A hermetikus tér kibocsátás-visszatartási funkciójának fenntartását egy passzív és három aktív nyomáscsökkentő rendszerrel biztosítják. Ezek az alábbiak:

1. a passzív nyomáscsökkentő rendszer (lokalizációs torony),
2. a sprinkler rendszer,
3. a hermetikus tér izolálórendszere,
4. a hidrogénkezelő rendszer.

A lokalizációs rendszer a hermetikus tér nyomáscsökkentő rendszerének passzív eleme. A lokalizációs torony két fő részből áll, a buborékolató kondenzátorból és a légsapdából.

A sprinkler rendszer a hermetikus tér nyomáscsökkentő rendszerének aktív eleme. A sprinkler rendszer feladata a hermetikus térben az üzemzavar során kialakuló gőznyomás csökkentése, a hermetikus helyiségek atmoszférájában lévő jód lekötése, valamint az atmoszféra hűtése. A sprinkler rendszer három egymástól független részrendszerből áll.

A hidrogénkezelő rendszer feladata üzemzavar esetén a hermetikus térbe jutó hidrogén eltávolítása. A hidrogénkezelő rendszer passzív automatikus rekombinátorokból áll.



42. ábra. A VVER 440 típusú atomerőmű üzemzavari lokalizációs rendszerei  
(Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

A reaktor aktív zónájának üzemzavari hűtőrendszerei funkcionális rendeltetésüknek és működési elvüknek megfelelően három csoportot alkotnak:

- **nagynyomású aktív rendszer,**
- **kisnyomású aktív rendszer,**
- **passzív rendszer.**

*A paksi bővítés során megépítésre kerülő 2 db III+. generációs AES-2006 (VVER-1200) atomerőművi blokkok biztonsága*

A jelenleg építésre kerülő III+. generációs atomerőművekkel szemben az alábbi általános követelményeket támasztják:

1. Emberi hibákat is korrigáló **passzív biztonsági rendszerek jelenléte**
2. **4 éves megépítés,** berendezések sorozat
3. **60 éves élettartam**
4. Fejlett polgári technológiák, **moduláris szerkezetek**
5. Az **erőmű területének csökkentése**
6. A **turbina egység gazdaságosságának növelése**
7. Üzemelési lehetőség töltés utáni állapotban
8. Digitális I&C automatikus ellenőrzés
9. Maximális kiegészi szint 70 MW nap/kg U értékig
10. Töltetcsere – egyszer 2 évente
11. Karbantartási időkiesések max. 18 nap
12. Általános főjavítás és csere egyszer 8-10 évente
13. Szabványosított dizájn, egyszerű licencfolyamat, lecsökkent időigény az építésre
14. A teljes életciklus során a folyamatok megnövelt automatizálása, az erőmű berendezései és komponensei virtuális modelljeinek széles körű alkalmazása

A biztonság szempontjából még további követelmények:

- a mélységi védelem (Defense-In-Depth elv) betartása;
- a nemzeti dokumentumok, IAEA előírások és EUR direktívák betartása;
- a létező atomerőművek biztonsági elemzéseinek figyelembevétele;
- integrált biztonsági értékelési megközelítés (komplemens determinisztikus és valószínűségi elemzések);
- a támogató kutatások eredményeinek figyelembevétele.

A III. és III+. generációs atomerőművek jellemző zónaolvadási és nagy kibocsátási eseményeinek gyakoriságait a következő táblázat foglalja össze.

Reaktortípus	Zónaolvadás (CDF) valószínűsége évente	Nagy kibocsátás (LRF) valószínűsége évente
EPR (1)	$1,33 \times 10^{-6} - 1,8 \times 10^{-6}$	$1,0 \times 10^{-7}$
AES-2006 (1)	$5,4 \times 10^{-8} - 1,0 \times 10^{-7}$	–
AP-1000 (4)	$4,0 \times 10^{-7} - 5,0 \times 10^{-7}$	$1,95 \times 10^{-8} - 6,0 \times 10^{-8}$
ABWR (3)	$1,6 \times 10^{-7}$	$<1,0 \times 10^{-9}$
SWR-1000 (3)	$1,10 \times 10^{-7}$	–
ESBWR (3)	$6,16 \times 10^{-8}$	–
APWR (4)	$1,0 \times 10^{-7}$	–
APR-1400 (2)	$2,69 \times 10^{-6}$	$2,84 \times 10^{-7}$ (konténment)

35. táblázat. A III. és III+. generációs atomerőművek jellemző zónaolvadási és nagy kibocsátási eseményeinek gyakoriságai

- (1 – belső és külső kezdeti események, üzemi és leállási állapotok
- 2 – belső és külső kezdeti események, nem világos leállást tartalmaz-e
- 3 – belső kezdeti események és leállási állapotok
- 4 – nincs definiálva

Forrás: NPP Loviisa-3 Austrian Expert Statement – Reactor Types for LO 3)

Hazánk valószínűleg az orosz AES-2006 blokkok építését választja. Valószínűségi dizájn kritériumok AES-2006 erőmű esetén:

- A kumulatív zónaolvadás gyakorisága kisebb, mint  $10^{-5}$  db/erőműév;
- Olyan baleseti szcenáriók kizárása, melyek nagy kibocsátást eredményeznek a baleset kezdeti szakában;
- A maximális kumulatív kibocsátási gyakoriság kisebb, mint  $10^{-7}$  db/erőműév.
- A zónaolvadás átlagos gyakorisága  $5,94 \times 10^{-7}$  esemény/év;
- A kumulált, határértéken felüli baleseti kibocsátás gyakorisága  $1,8 \times 10^{-8}$  esemény/év

AES-2006	
4x100% vészhűtő rendszer	
duplafalú konténment	
magnövelt ellenállás földrengéssel szemben	
50 éves üzemidő	
Súlyos baleseti helyzet kezelő rendszerek (SAM) (H <sub>2</sub> rekombinátor, zónaolvadék csapda stb.)	
Passzív konténment hűtőrendszer (P-CHRS) gőzfejlesztők hűtőrendszere (PHRS-SG) nem tervezett üzemzavar esetére	
72 órás függetlenség külső áramforrásoktól	
A tartályok és aknák a konténmentben helyezkednek el	

43. ábra. Az AES-2006 blokk fontosabb biztonsági jellemzői  
(Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

Rövidítések:

BDBA – Beyond design basis accident, tervezési alapon túli üzemzavar

SAM – Severe Accident Management, súlyos baleseti kezelés

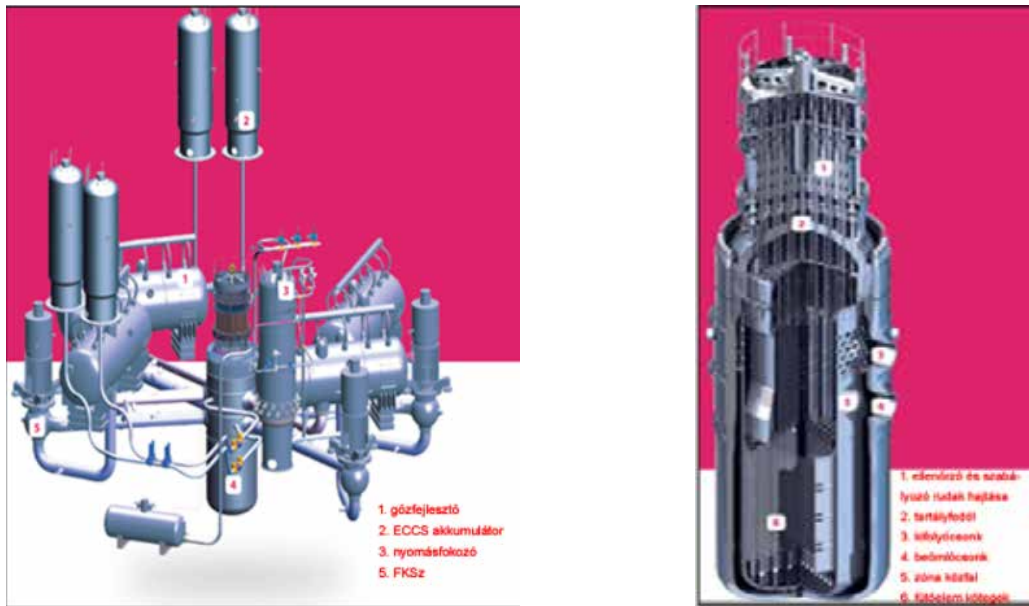
H<sub>2</sub>-PAR – H<sub>2</sub>-Passive Autocatalytic Recombiner, H<sub>2</sub>-passzív autokatalitikus rekombinátor

P-CHRS – Passive Containment Heat Removal System, passzív konténment hűtőrendszer

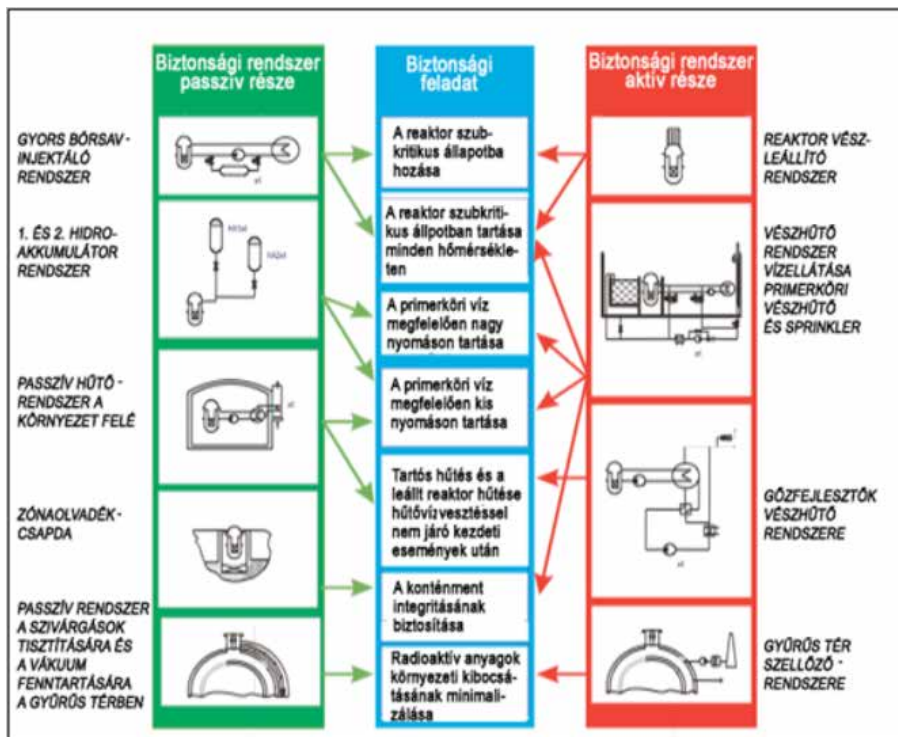
PHRS-SG – Passive Heat Removal System via Steam Generators, gőzfejlesztők passzív hűtőrendszere



44. ábra. A VVER-1200 (AES-2006) madártávlatból  
(Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

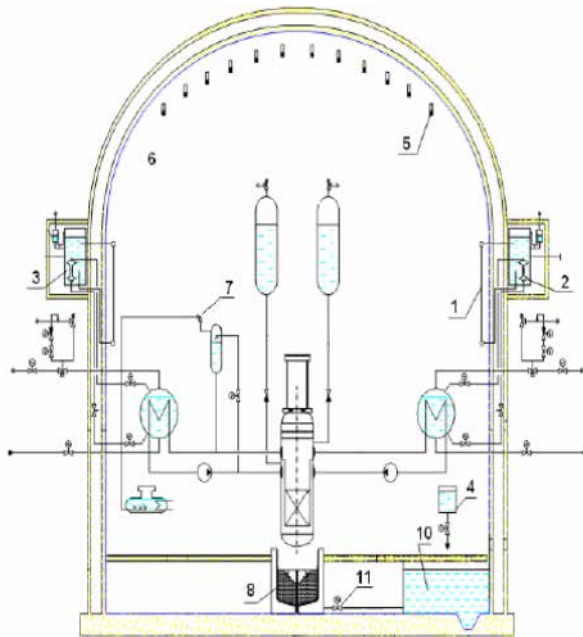


45. ábra. A VVER-1200 (AES-2006) primer kör és reaktortartály  
(Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)



46. ábra. A VVER-1200/491 atomerőmű (többlet-) biztonsága  
(Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)





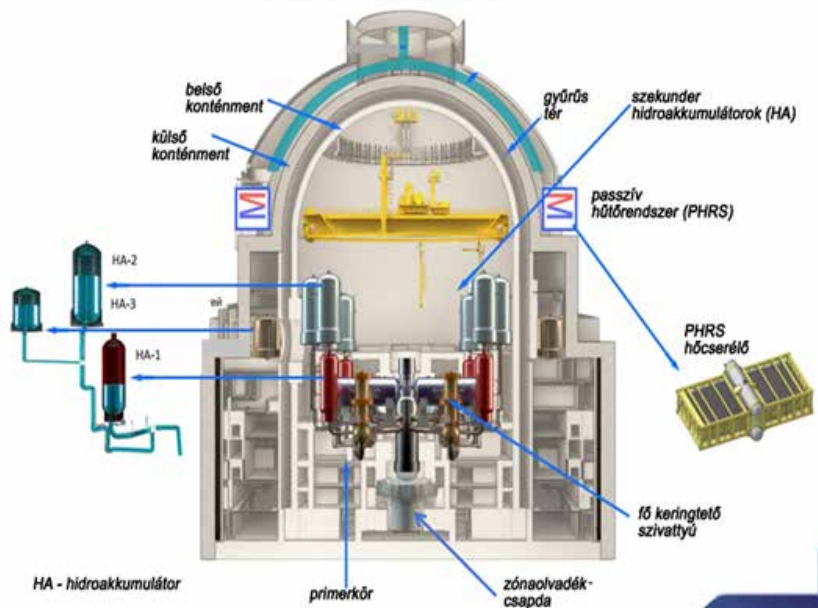
- 1 – a konténment passzív hűtőrendszere;
- 2 – a gőzfejlesztő passzív hűtőrendszere;
- 3 – PHRS vészűtővíz-tartály;
- 4 – vészűtő vegyszeres rendszere;
- 5 – hidrogénrekombinálorok a konténmentben;
- 6 – a hidrogénkoncentráció-mérő távadói a konténmentben;
- 7 – nyomásfokozó biztonsági szelepe;
- 8 – zónaolvadék-csapda;
- 9 – vészűtő vízellátó rendszer a zsompoktól és a fűtőelem-pihentető medencéből;
- 10 – a JNK rendszer bórozottvíz-tartályai;
- 11 – szelepek;

47. ábra. A tervezési alapon túli üzemzavar- (BDBA) kezelő rendszer sémája az AES-2006 reaktor esetén (Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

Rövidítések:

- DBA – Design basis accident, tervezési alapba tartozó üzemzavar
- PHRS – Passive Heat Removal System, passzív hőelvonó rendszer
- JNK – borated water storage system, bóros vészűtő víztároló rendszer

### A fő passzív biztonsági rendszerek (VVER-1200)



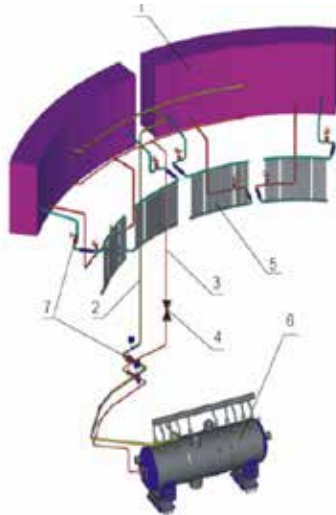
48. ábra. A fő passzív biztonsági rendszerek a VVER-1200-nál (Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

**PHRS/SG (gőzfejlesztő passzív vészhűtése)**

Tervezési alapon túli üzemzavar esetén a zónaolvadás elkerülésére (pl. teljes áramkimaradás, teljes tápvízvesztés, primer körű víz kismértékű vesztese), a komolyabb következmények megakadályozására alkalmazzák.

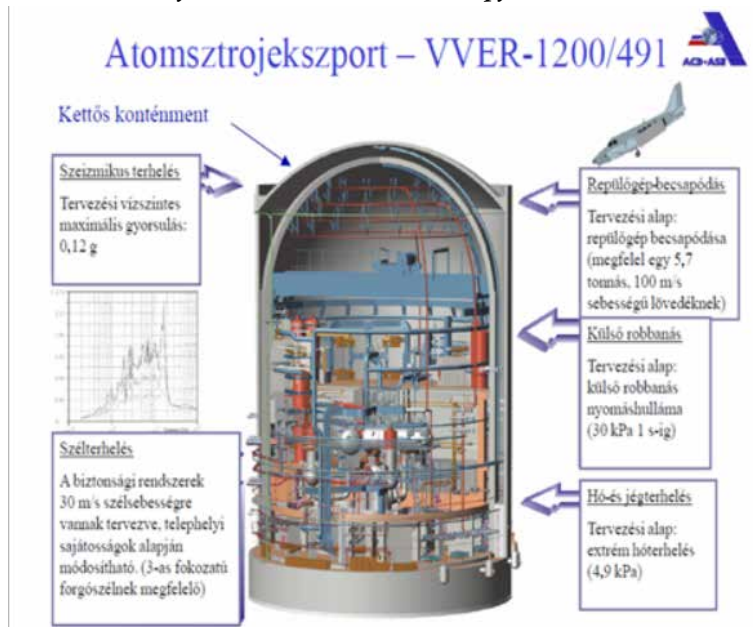
**CHRS (konténment vészhűtő rendszere)**

Tervezési alapon túli üzemzavar (áramkimaradás, sprinklerrendszer-hiba stb.) esetén a konténment hőtartalmának hosszú távú eltávolítására szolgál.



- 1 – vészhűtő tartályok;
- 2 – gőzcsovek;
- 3 – kondenzátumcsövek;
- 4 – a PHRS-SG szelepei;
- 5 – a PHRS-C hőcserélő kondenzátorai;
- 6 – gőzfejlesztő;
- 7 – kizáró szelepek

49. ábra. A passzív hőelvonó rendszer a gőzfejlesztőknél (PHRS/SG) és a konténment hőelvonó rendszerének (CHRS) sémája (Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)



50. ábra. A külső veszélyekkel szemben az AES-2006 jellemző biztonsági értékeit bemutató ábra (Forrás: a [30; 132] alapján a szerzők által szerkesztve)

A 3. fejezet megírásához a [29, 30, 31] irodalmak kerültek felhasználásra.

## 4. MIKROORGANIZMUSOK ÁLTAL OKOZOTT VESZÉLYEK

---

Az Egészségügyi Világszervezet megfogalmazása alapján az egészség „a teljes fizikális, mentális és szociális jólét állapota, nem pedig pusztán a betegségek hiánya”. Fertőzés folyamata során egy adott kórokozó behatol az emberi vagy állati szervezetbe, és ott megtelepedve nagy sebességgel szaporodni kezd. A fertőzést közvetítő/kialakító kórokozók baktériumok, vírusok, gombák és a paraziták különböző fejlődési alakjai lehetnek. A fertőzésnek nem minden esetben következménye a megbetegedés. A fertőzést követő megbetegedés akkor tud ki alakulni, ha a szervezet ellenálló képessége csökken, vagy a kórokozók megbetegítő képessége, virulenciája jelentős, illetve a behatoló csíraszám számottevő. [32, 33]

A továbbiakban bemutatásra kerül a fertőzés folyamata a baktérium esetében. A baktériumok fertőzőképessége függ:

- a baktérium behatoló képességétől (invazivitás),
- a fertőzőképességétől (infektivitás), és
- a méreganyag-termeléstől (toxigenitás).

**Behatoló képesség**, amikor a kórokozó a szervezetbe történő bejutását követően a számára kedvező szervbe, szövetbe kerül, és ott elszaporodik. Minél nagyobb egy kórokozónak a fertőzőképessége, úgy az előbb ismertetett folyamat annál gyorsabban zajlik.

A **fertőzőképesség** a szervezeten kívül jelentősen eltérhet a külső környezeti paraméterek különbségének megfelelően. A baktériumok életműködésük során méreganyagokat termelhetnek (exo- és endotoxinok), amelyek súlyosan károsítják a szervezetet.

<b>Légúti fertőzés:</b> a levegőben lévő folyadékcseppek vagy szilárd anyagok (hordozók) tartalmazzák a kórokozókat.
<b>Enterális fertőzések:</b> élelmiszerek, ivó- és fürdővíz, használati tárgyak, rovarok, rágcsálók közvetítik a kórokozókat. A forrásból (fertőzött élőlényből) széklettel, vizelettel jut a környezetbe.
<b>Haematogén fertőzések:</b> a forrás vérével a fogékony szervezetbe kerül a kórokozó. Ez előfordulhat egészségügyi munka során, illetve a vérszívó rovarok csípése alkalmával.
<b>Kültakaró sérülései miatt bekövetkező sérülések:</b> ha a bőr (nyálkahártya) folytonossága megszakad, azon keresztül kórokozók hatolhatnak a szervezetbe, fertőzéseket eredményezve. Néhány kórokozó ép bőrön keresztül is képes behatolni.
<b>Zoonózis:</b> állatról emberre, emberről állatra terjedő fertőző betegségek. Az állatok esetében a forrás lehet házi és/vagy vadon élő.

36. táblázat. A fertőzések főbb típusainak rövid megfogalmazása  
(Forrás: [32, 33] alapján a szerzők által készítve)

A **betegség tulajdonképpen** a szervezet működésének a zavara, amely a szervezet és a közvetlen környezet dinamikus egyensúlyának megszakadása.

A betegség kialakulhat:

- a környezet behatásaként, sérülést okozva (fizikai hatás),
- az élő **mikroorganizmusok** bejutásával a szervezetbe (biológiai effektus),
- a mérgezések, vegyi anyagok hatására (vegyi behatás).

A betegség megvalósulhat heveny, félheveny és idült formában. Teljes a gyógyulás, amikor a betegséget követően a szervezet homeosztázisát (belső egyensúlyát) sikerül visszaállítani, ha ez csak félig-meddig valósul meg, **részleges gyógyulásról** beszélünk.

Fertőző betegségről beszélünk, amikor egy alacsonyabb rendű kórokozó magasabb rendű szervezetbe jut, és ott kóros folyamatot indít el. A fertőző betegségek megjelenhetnek elszórtan, egy-egy emberben, de kisebb-nagyobb közösségekben, nagyobb területre kiterjedően, akár egy földrész lakosságát is megbetegítve. [32, 33]

A fertőző betegségek kiterjedésük szerint lehetnek

- sporadikus,
- endémiás,
- epidémiás,
- pandémiás nagyságúak.

Sporadikus a fertőző betegség előfordulási gyakorisága, amikor egy-egy ember betegszik meg egymástól távol eső területeken, így a megbetegedések között (látszólag) nincs összefüggés, kapcsolat. Ebben a helyzetben is van a járványügyi szakembereknek feladatuk, és felelősségteljes intézkedésekkel elkerülhető, hogy a sporadikus megbetegedések további fertőzések kiindulópontjai legyenek.

Endémiáról beszélünk, ha egy adott (jól körülhatárolható) területen rendszeresen előfordul az emberekben egy bizonyos megbetegedés (fertőző betegség). Abban az esetben, ha a fertőző betegség szisztematikus előfordulása nemcsak térben, de időben is rendszeressé formálódik, szezonális endémiáról beszélünk.

Epidémiának nevezzük a fertőző betegség egy jól definiálható területen, a megszokottnál nagyobb számú előfordulását, ami azt is jelenti, hogy gyorsan gyarapodik a megbetegedettek száma.

Pandémia, amikor a fertőző megbetegedés több országra, kontinensekre, mi több az egész világra kiterjedéyesedik. Az influenza elterjedése egy-egy adott időszakban pontosan így valósul meg.

A fertőzések terjedését befolyásolhatja a klimatikus tényező, és a szezonális tevékenység is. A klimatikus tényezőre példaként megemlíthető, hogy adott évszakban némely fertőző betegségek törvényszerűen nagyobb számban jelenhetnek meg (pl. enterális betegségek a nyári hónapokban). A klimatikus és szezonális viszonyokkal kapcsolatos az emberek cselekvési köre, amelyek determinálhatják a kórokozókkal való találkozási valószínűségüket, pl. a tetanusz megbetegedések száma a mezőgazdasági munkák idején a legmagasabb. Hazánkban, a téli hónapokban rendszerint a cseppfertőzéssel terjedő légúti megbetegedések kerülnek előtérbe.

Közvetlen (direkt) fertőzésnek nevezzük, ha közvetítő közeg (talaj, víz, levegő, étel stb.) nélkül jut a kórokozó a másik ember (vagy állat) szervezetébe, pl. kézfogás, nemi érintkezés, szülés, szoptatás stb. útján. Ez valósulhat meg pl. az állatok harapásakor, az állatok gondozása közben. [32, 33]

Közvetett (indirekt) a fertőzés, amikor a fertőző ágens terjedéséhez közvetítő közegre van szükség, ez pl. talaj, víz, levegő, étel (de használati tárgy) is lehet. Erre példa a cseppfertőzés, amelynek közvetítő közege a levegő.

## 4.1 A VÍZ MINT A FERTŐZÉS KÖZVETÍTŐ KÖZEGE

A víz a levegő után az élőlények életben maradásának legfontosabb eleme. A sejtekhez a táplálkozáshoz szükséges szerves és szervetlen vegyületek vizes fázisban kerülnek, és anyagcseretermékek szintén a vizes közeg segítségével távoznak el a sejtől. A vérplazmának a 90%-a víz. Az emberi szervezetben a víz felvétele és leadása egészséges (optimális) feltételek között egyensúlyban van. Az emberi szervezet naponta átlagosan 2 l térfogatnyi vizet igényel. Az ivóvíz egy része a konkrétan elfogyasztott vízzel, míg másik része a táplálékkal (kb. 850 ml) jut be a szervezetbe. A víz kizárólag abban az esetben alkalmas emberi fogyasztásra, ha a minősége megfelelő, egészségkárosító hatással (magyarul fertőzőképességgel) nem rendelkezik. [32, 33]

A vízszennyező anyagok lehetnek:

- természetes eredetűek (emberi beavatkozás nélkül), vagy
- mesterséges eredetűek (emberi tevékenységgel jutott a vízbe).

Az ivóvíz fertőzőkövetítő lehetséges szerepét már rég, az ókorban megtapasztalták. Azelőtt az ókori népek is jó néhány egészségügyi-biztonsági rendelkezés megtartására kényszerültek (pl. az ókori Egyiptomban forralt és szűrt vizet fogyasztottak).

A természetes vizekbe került kórokozók a következő történhet:

- a víz fizikai, kémiai, biológiai tulajdonságainak (pl. hőmérséklet, oxigéntartalom, pH, ionok, egyéb mikroorganizmusok jelenléte) köszönhetően elszaporodnak, vagy
- a víz öntisztulási folyamatának következtében elpusztulnak.

A fertőző anyagok szervezetbe jutása történhet:

- ivóvízzel,
- tisztálkodásra használt vízzel,
- uszodai vízzel.

A víz fertőzősége legfőképp enterális fertőzéseket okoz (pl. Salmonellosis). A problémák nagy részéért (90%) a közüzemi víz a felelős. A vezetékes víz elszennyeződését általában üzemeltetési hiba okozza: a csatornadugulás, csőtörés, szennyvízbetörés.

Az ivóvíz okozta járványok jellemzői:

- Robbanásszerűen kezdődnek.
- A járvány elején a megbetegedtek valamennyien ittak az ivóvízből.
- A betegek között nincs kor és nem szerint különbség.
- A járványos terület megegyezik azzal a területtel, amelyet a fertőzött víz lát el.
- Egyéb terjedési módok kizárhatók.
- A vízkivételi forrás mikrobiológiai jellemzői.
- A fertőzött ivóvíz elvonásával a fertőzés megszűnik.
- A járvány végén kontakt megbetegedések előfordulhatnak.

A víz fertőző hatása a benne található mikroorganizmusoknak tulajdonítható. A kórokozók bekerülhetnek állati ürülékkel, emberi széklettel és szennyvízzel az ivóvízbe. Ezt követően a fertőző mikroorganizmusok jelenlétét és elszaporodását a víz hőmérséklete, kémhatása (lúgos, ill. savas) és egyéb paraméterek is befolyásolják.

A vízszennyezés lehet:

- kommunális,
- ipari,
- mezőgazdasági eredetű.

A szennyvizek az ember hétköznapi, ipari és mezőgazdasági tevékenységei során fizikai, kémiai és biológiai hatások révén szennyezetté és/vagy fertőzővé válnak.

<b>SZENNYEZÉS KÖVETKEZTÉBEN TÖRTÉNHEZ MÉRGEZÉS ÉS FERTŐZÉS</b>
<b>MÉRGEZÉS VEGYI ANYAGOK ÁLTAL</b>
<b>FERTŐZÉS BIOLÓGIAI ANYAGOK (MIKROORGANIZMUSOK) MIATT</b>
<b>SZENNYEZÉS</b> Fizikai = fizikai tulajdonsága változik az adott közegnek pl. hőszennyezés, egy erőmű hűtővizének természetes befogadóba történő visszavezetését követően 2-3 °C-kal megemelkedik a víz hőmérséklete.
<b>SZENNYEZÉS/MÉRGEZÉS</b> Kémiai = kémiai paramétere változik, vegyszer kerül az adott közegbe pl. mezőgazdasági munkák következtében növényvédő szer vagy műtrágya (nitrogén és foszfortartalma) mosódik az élővízbe.
<b>SZENNYEZÉS/FERTŐZÉS</b> Biológiai = biológiai paramétere változik pl. ipari, mezőgazdasági vagy kommunális tevékenység miatt baktériumok, vírusok vagy egyéb mikroorganizmusok kerülnek a vízbe.

37. táblázat. A fertőzés és a mérgezés különbségének magyarázata  
(Forrás: [32, 33] alapján a szerzők által készítve)

Kommunális szennyvíz a háztartásokban jön létre (pl. a mosásra, mosogatásra használt víz, fürdő- és felmosóvíz, WC-öblítő víz).

- Ipari eredetű szennyvíz keletkezik az ipari folyamatok során, idetartozik az élelmiszeripar is.
- Mezőgazdasági ténykedés következtében megvalósuló elszennyeződésre is van példa, többek között az állattartás miatt a hígtrágya okoz sokszor problémát, ha nem kezelik megfelelően.

## 4.2 AZ ÉLELMISZEREK ÁLTAL TERJEDŐ FERTŐZÉSEK

Az előállítás, a feldolgozás, a tárolás és a fogyasztás előkészítése folyamatában fertőzhetnek különféle mikroorganizmusokkal. A fertőzés forrása lehet emberi, környezeti vagy állati eredetű. A hazai metodika szerint megkülönböztetünk ételmérgezést és ételfertőzést.

Ételmérgezésnek nevezzük a heveny (akut) egészségkárosodást, amely során az élelmiszerben lévő vegyszer vagy mikroorganizmus jelenléte eredményezi a károsodást.

Ételfertőzésnek nevezzük, amikor a fertőző ágens és az élelmiszer kapcsolata eredményezi a megbetegedést. [32, 33]

A szennyeződés oka	A szennyeződés módja
<b>Előállítás következtében</b>	
Beteg tehén	Bang-kór, tbc, mastitis esetén Streptococcus
Szennyes tőgy és kéz	enterális baktériumok
Szennyezett istálló	talajbaktériumok, spórások a szalmából, enterális baktériumok a trágyából
Piszkos fejőgép	vegyes flóra
Csekély hűtés, hosszú tárolás	csírák elszaporodása
<b>Szállítás alatt</b>	
Hiányos hűtés	a bejutott csírák elszaporodása
Hosszú, hűtés nélküli szállítás	a bejutott csírák elszaporodása
Koszos tank	vegyes flóra
<b>Feldolgozás folyamata alatt</b>	
Szennyezett csővezetés	vegyes flóra
Gondatlan elegyítés	a tiszta tejet szennyezi a fertőzött
Kontamináció a hőcserélőn	a pasztörözött tejhez keveredik a nyers tej
Piszkos töltőgép	vegyes flóra
<b>Árusítás közben</b>	
Hosszú, hűtés nélküli tárolás	csírák elszaporodása
<b>Csíraszám (összcsíraszám, mikrobaszám): térfogategységre vonatkoztatva vízben, illetve anyagban (mátrixban, vagy közvetítő közegben) levő mikroorganizmusok (mikrobák), csírasejtek száma.</b>	

38. táblázat. Néhány alapvető példa a tej biológiai elszennyeződésére és okaira  
(Forrás: [32, 33] alapján a szerzők által készítve)

Legelterjedtebb, amikor azok az élelmiszerek okoznak enterális megbetegedéseket, amelyek hőkezelés nélkül vagy felszínes hőkezelést követően jutnak a fogyasztókhoz.

A mikroorganizmusok többsége hőkezelés hatására elpusztul (pl. a szalmonella elpusztul 70 °C hőmérsékleten 10 perc alatt). Az élelmiszerek által leggyakrabban kiváltott betegségeket a hentesáruk (disznósajt), tojás, tej, és az ezek felhasználásával készült táplálékok okozzák.

A tej által indukált fertőzések sajátosságai:

- Hirtelen egyszerre sok megbetegedés.
- A betegek egy közös forrásból jutnak a tejhez.
- A járvány elindulásakor mindössze azok betegednek meg, akik tejet fogyasztanak.
- A betegek között a több tejet fogyasztók betegednek meg: nők és gyermekek.
- A járvány végére kontakt eseteket regisztrálnak.

### 4.3 A TALAJ ÁLTAL KÖZVETÍTETT FERTŐZÉSEK

A talaj, lebontóképességének köszönhetően, a benne lévő szerves hulladékot lebontja, de a felszínre kerülő fertőzőképes anyag (féreg, pete, baktérium, vírus stb.) egy ideig megmarad. A talajfelszín

közeli réteg nagyobb mennyiségben tartalmaz mikroorganizmusokat, mint a mélyebben elterülő rétegek. A talajban levő patogén mikrobák bekerülhetnek az emberbe vagy állatokba, belégzéssel, bőrön át (seben) vagy étellel. A talajba jutó leggyakoribb mezőgazdasági eredetű szennyezés trágyával történik. [32, 33]

A talaj felszínére (később a felszín közeli rétegbe) jutó hulladékok, szennyeződések, melyekben akár patogén mikroorganizmusok is élhetnek, hetekig, hónapokig is fertőzőképesek maradhatnak. Az elszennyeződött talajból a patogén mikroorganizmusok behatolhatnak az ivóvízkészletekbe vagy vízkivételi forrásokba, s így járványokat iniciálhatnak.

Az emberiség több ezer éve használja a talajt arra, hogy hulladékokat helyezzen el benne. A talaj mint környezeti elem állandó kapcsolatban van a másik két környezeti elemmel, vagyis a vízzel és a levegővel. Ezért fontos:

- a talajszennyezés megakadályozása,
- az ipari és mezőgazdasági tevékenység környezetkímélő (hulladékszegény) folytatása,
- a hulladékkezelés színvonalas kivitelezése.

Talajszennyezésnek (fertőzés) nevezzük, amikor a biológiai egyensúlyt megváltoztató mikroorganizmusok jutnak a talajba.

Tiszta az a talaj, amelyben az élő és élettelen anyagok nem befolyásolják az ember egészségét sem direkt, sem pedig indirekt módon.

A talajszennyező anyagok leggyakrabban a településekről származó szilárd és folyékony halmazállapotú hulladékok, az ipari és mezőgazdasági hulladékok, a szennyvíziszapok, a mezőgazdasági növényvédő szerek stb. [32, 33]

Fertőtlenítésnek (dezinfekciónak) nevezzük azt a folyamatot, amikor a fertőző forrásból a külső környezetbe kikerült kórokozók elpusztítása, illetve fertőzőképességük megszüntetése a cél.



## 5. VÍZSZENNYEZÉSEK

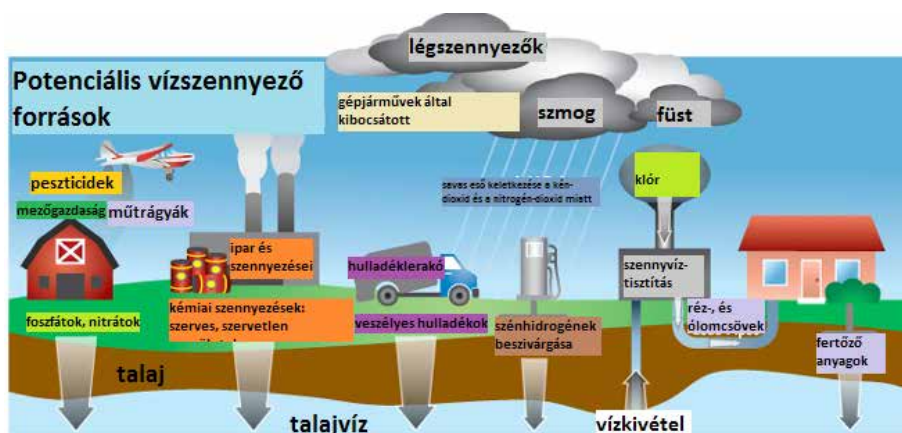
A környezeti elemek a talaj, a víz és a levegő, egymással állandó, felbonthatatlan kapcsolatban állnak már több milliárd éve. A természetes körforgások, a lehetőség arra, hogy egy adott terület megtisztuljon egy adott szennyező komponens feletti mennyiség esetén, nem játszódnak le megfelelő sebességgel. Bármely környezeti elem elszennyeződése hatással van a többi környezeti elemre. Az elmúlt évszázadok ipari eredetű szennyezéseinek egy jelentős részét a természet már lebontotta, feldolgozta és beépítette az élő körfolyamatok valamelyikébe. Természetesen a szennyező anyag fizikai, kémiai tulajdonságaitól függ a természetben való viselkedése. A nehezen lebomló anyagokat perzisztens vegyületeknek nevezzük. Az ide sorolható legjellegzetesebb anyagcsoportok: növényvédőszeres, gyógyszervegyületek, műanyagok, xenobiotikumok (természetidegen, az ember által szintetizált molekulák) és ipari melléktermékek. Vannak olyan perzisztens vegyületek, melyek beépülnek a táplálékláncon keresztül, és feldúsulnak a csúcsragadozók szervezetében.



51. ábra. Néhány tipikus kommunális hulladék lebomlási ideje  
(Forrás: [34] alapján szerzők által szerkesztve)

Az elmúlt évtizedek ipari tevékenységei, az illegális hulladéklerakások mind komoly környezet-szennyezési dilemmát okoztak a társadalom és a döntéshozók számára. Az elmúlt évtizedekben jelentős fejlődésen ment keresztül a környezetanalitika, ez pedig annak tudható be, hogy az emberi tevékenységek számtalan különböző szennyező komponens juttattak a környezeti elemekbe. Az

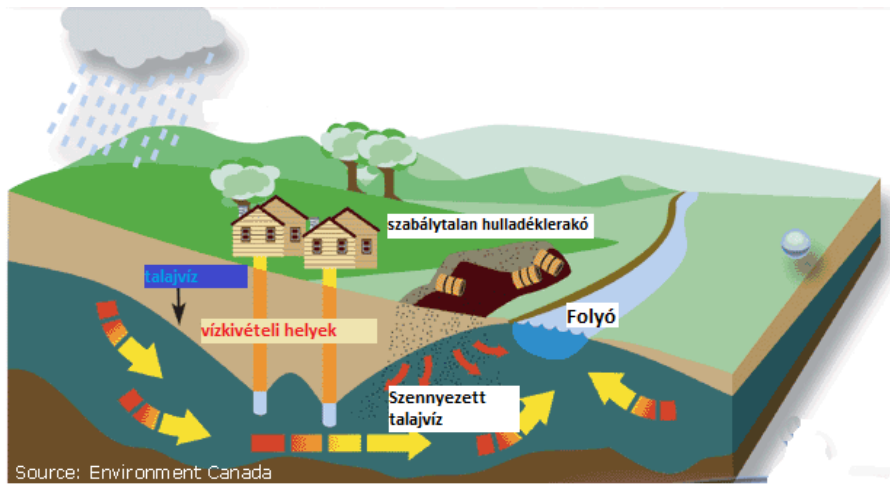
álló- és folyóvizek, illetve a csatornák az ipari tevékenységek kialakulása óta szállítják el és hígítják fel a szennyeződések. Számos esetben települt vegyi gyár, erőmű, élelmiszer-ipari üzem, szennyvíztisztító telep egy-egy folyó mellé, és évtizedeken át szabálytalanul eresztette a szennyezőket a vízbe. Az élővízbe juttatott, megtisztított szennyvíz sok esetben még tartalmaz lebontandó tápanyagokat, melyeket a vízben természetesen jelenlévő lebontó szervezetek végeznek el. A vizek terhelése nemcsak az ipari termelésből, hanem kommunális szennyvíztisztításból is származhat. A baktériumok, algák stb. feldolgozzák az élővízbe juttatott tisztított szennyvízzel bekerült tápanyagokat, ezáltal egyedszámuk a vízfolyással növekedni fog. Ennek következtében a felszíni víz további vízminőségi paraméterei változnak meg, így változik a vízminőség. Például a vízben oldott oxigén mennyiségének változása, a többletnitrogén és -foszfor az eutrofizáció jelenségét kezdeményezheti. Az 52. ábra szemlélteti a leggyakoribb vízszennyező forrásokat.



52. ábra. A potenciális vízszennyező források (Forrás: [35] alapján szerzők által szerkesztve)

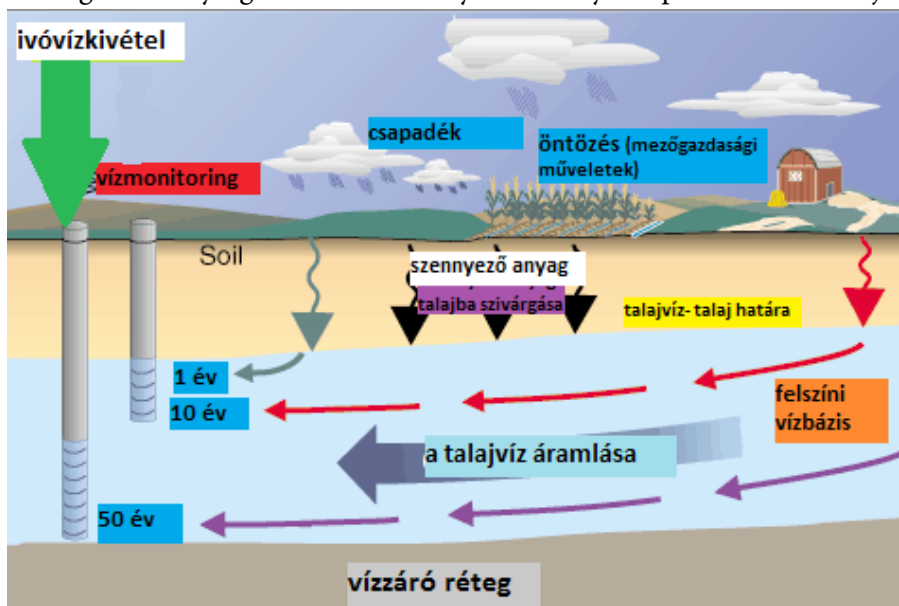
A legnehezebben helyreállítható károsodást a talajvíz elszennyeződése okozza. Nagyon költséges a terület eredeti állapotba rendezése. A felszín alatti vizek elszennyezéséért felelősség leginkább a pontforrásokat terheli, amelyek a hulladéklerakókból a talajba szivárgott szennyező anyagból erednek. Az 53. ábrán látható egy szabálytalan hulladéklerakó negatív hatása a környezetre. Amennyiben a víztartó réteg laza kavicsos, homokos szerkezetű, akkor a szennyezők bejutása a talajba akadálytalanul megvalósul.

További pontforrások a nem csatornázott területek, ahol a szennyvíz a lakóépület közelében a talajba leásott tartályba kerül, sajnos sokszor e tárolók alkalmatlanok e feladatra, sérülésük a biológiai szennyezőket juttatják a talajba, és így a talajvízbe.



53. ábra. Talajvízszennyezés szabálytalan hulladéklerakó miatt  
(Forrás: [36] alapján a szerzők által szerkesztve)

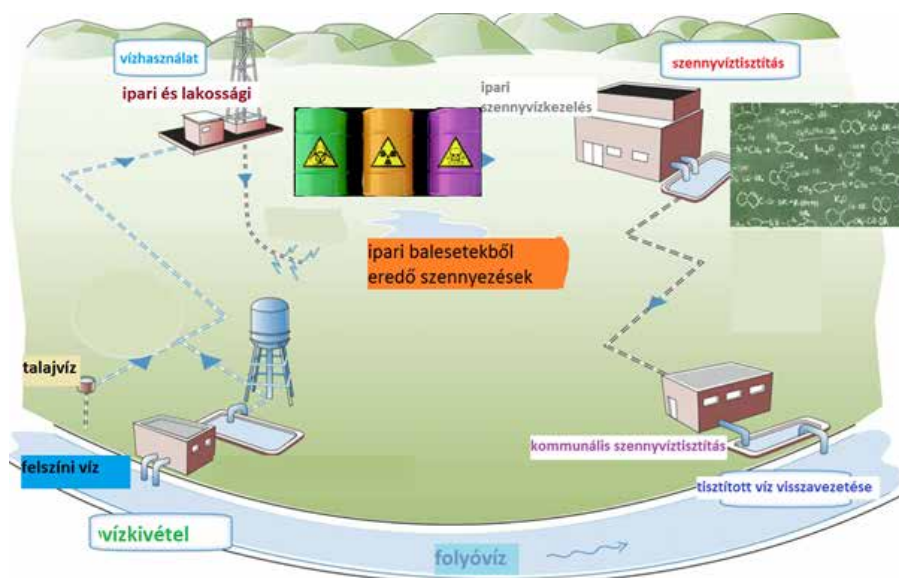
A mezőgazdasági tevékenységekből eredő környezetszennyezés problémáit mutatja be az 54. ábra.



54. ábra. Talajvíz-szennyezés mezőgazdasági tevékenység következtében, és az évek, évtizedek múlva megjelenő perzisztens komponensek szemléltetése (Forrás: [37] alapján a szerzők által szerkesztve)

A mezőgazdaságban felhasznált anyagok két nagyobb csoportra oszthatók, az egyikbe a műtrágyák és az egyéb anyagok tartoznak. Ezek nitrogén- és foszfortartalma, amennyiben a túlzott használat miatt az élővízbe bejutnak, úgy eutrofizációt eredményeznek. A másik nagy csoport a növényvédőszer, melyek túlzott vagy szabálytalan alkalmazása perzisztens vegyülettel terhelheti a talajt, és így hatással lehet az ivóvízkészletünk minőségére. Vannak szennyezések, melyek akár 50 év alatt kerülnek a vízkivételi kutak közelébe.

A víztisztítás tulajdonképpen egy iparág, vízkivétel, víztisztítás, szennyvízkezelés, élővízi befogadóba juttatás részekből tevődik össze. A szennyvíztisztítás, az élővízi befogadó, a vízkivétel, a vízkezelés és a fogyasztó egymással szoros kapcsolatban van, és a hálózat folyamatosan működik. Tehát bármely részén probléma keletkezik, az kihat a fogyasztóra, életszínvonalára, egészségi állapotára. Az 55. ábra ezt az érzékeny rendszert hivatott bemutatni.



55. ábra. A víztisztítás mint iparág: vízkivétel, víztisztítás, szennyvízkezelés, élővízi befogadóba juttatás és a fogyasztó rendszerének szemléltetése (Forrás: [38] alapján a szerzők által szerkesztve)

## 5.1 A KLÓROZÁS TÖRTÉNETE, A VÍZ MIKROBIOLÓGIAI TISZTÍTÁSA

A vizek mikrobiológiai szempontból kifogásolhatatlan állapota elengedhetetlen az emberi fogyasztáshoz. E folyamat vegyszerigényes, és veszélyeket hordoz a megvalósítása.

A következő táblázat a klórozási technológia kialakulásának történetét foglalja össze vázlatosan.

A szakemberek már több mint 100 évvel ezelőtt felismerték azt, hogy ha az ivóvízhez (a víztisztítás eredményeként kapott termékhez) klórt adnak, az képes elpusztítani a patogén (betegséget) okozó mikroorganizmusokat. A hozzáadott klór többféle formában is hatásos lehet, vagyis klórgáz, nátrium-hipoklorit (ismertebb/kereskedelmi nevén hipó) -oldat, kalcium-hipoklorit (klórmész) szilárd anyag is megfelelő. [39]

A klórozás előnyei:

1. erős csíráölő hatás (a vízben levő mikroorganizmusok számát rendkívüli mértékben képes lecsökkenteni);
2. a kellemetlen íz és szag elviselhetővé válik;

3. biológiai előnyök (a tározókban, a falakon és a csőhálózatban növekedő baktérium, gomba és algatelepek számát szabályozza);
4. kémiai előnyök (eltávolítja a hidrogén-szulfid-, az ammónia- és a nitrogéntartalmú vegyületeket, amelyek nemkívánatosak a szennyvíztisztítási folyamat során). [39]

<b>1877–1887</b>	Pasteur komoly eredményeket ért el a fertőzés és a mikroorganizmusok közötti összefüggés bizonyításában.
<b>1870–1880</b>	A tudósok végül bizonyítják, hogy a mikroorganizmusok megbetegedéseket okozhatnak.
<b>1890-es évek</b>	Elsőként Angliában alkalmazzák a klórgázt vízfertőtlenítésre.
<b>1908</b>	Jersey és Chicago város önkormányzatai ipari léptékben alkalmazzák a városok szennyvíztisztító telepein a klóros fertőtlenítést.
<b>1915</b>	Az első amerikai ivóvízszabvány bakteriológiára.
<b>1917</b>	Amerikában és Kanadában elsőként alkalmazzák a klórozásos ivóvíz-fertőtlenítést.
<b>1918</b>	Több mint 1000 amerikai városban működtetnek klórozásos fertőtlenítő technológiát.
<b>1925</b>	Szigorodnak az amerikai ivóvízszabványok bakteriológiára.
<b>1960-as évek eleje</b>	Több mint 19 000 önkormányzatnál működik Egyesült Államok-szerte szennyvíztisztító üzem.
<b>1970-es évek</b>	A klór-dioxid kezd előtérbe kerülni mint ivóvíz-fertőtlenítő vegyszer.
<b>1972</b>	Az amerikai „Tiszta Víz” törvény elkezd helyreállítani és fenntartani a felszíni vizek minőségét.
<b>1974</b>	Az amerikai „Biztonságos Ivóvíz” törvény létrejött; az amerikai Környezetvédelmi Ügynökség kihirdeti, hogy az államok mindegyikének kötelessége hatóságilag érvényesíteni a minőségi előírások betartását.
<b>1996</b>	Módosítják az ivóvízzel kapcsolatos törvényt, és kiegészítik a vízkivételi forrás védelmével, a vízkezelők képzésével, a vízhálózat javításával, és a nyilvánosság tájékoztatásával kapcsolatosan.

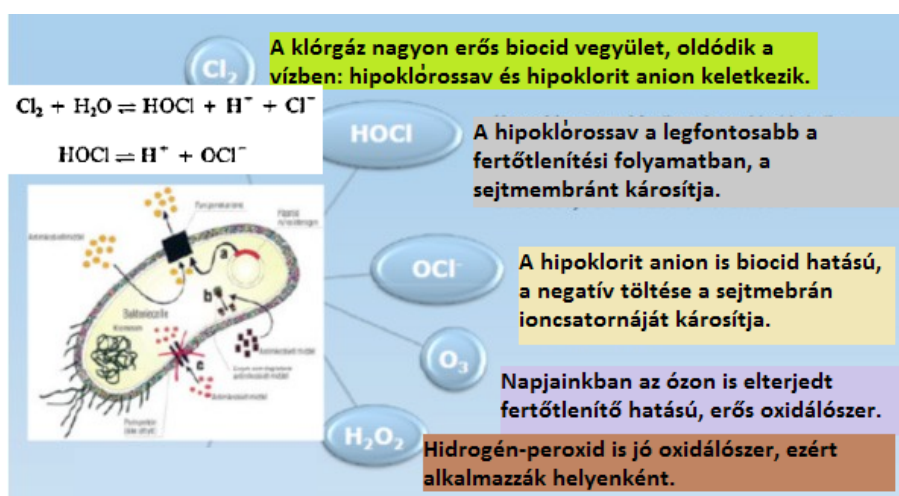
39. táblázat. A klórozás kialakulásának története (Forrás: [39] alapján a szerzők által készítve)

**A klór fertőtlenítő hatásának ismertetése**

A klórgáz vízbe juttatásakor hipoklórossav és hidrogén kation, valamint hipoklorit anion képződik, melyek kémiai tulajdonságaikban jelentősen eltérnek egymástól. A hipoklórossav reaktívabb, erősebb oxidáló és így fertőtlenítő tulajdonsággal rendelkezik.

A pH határozza meg a hipoklórossav és a hipoklorit anion arányát. Alacsony pH (savasabb rendszer) esetén a hipoklórossav dominál, míg a magas pH a hipoklorit anion nagyobb koncentrációját jelenti, klórozás esetén.

A hipoklórossav-molekulák áthatolnak a sejtmembránon, és a sejt belsejében levő részekkel (az energiaforrással és a tápanyaggal) közvetlenül reagálnak. A hipoklorit anion, nagyobb mérete miatt, nem tud áthatolni a sejtmembránon, így hosszabb idő szükséges ahhoz, hogy károsító hatást fejtessen ki a sejtmembránra.

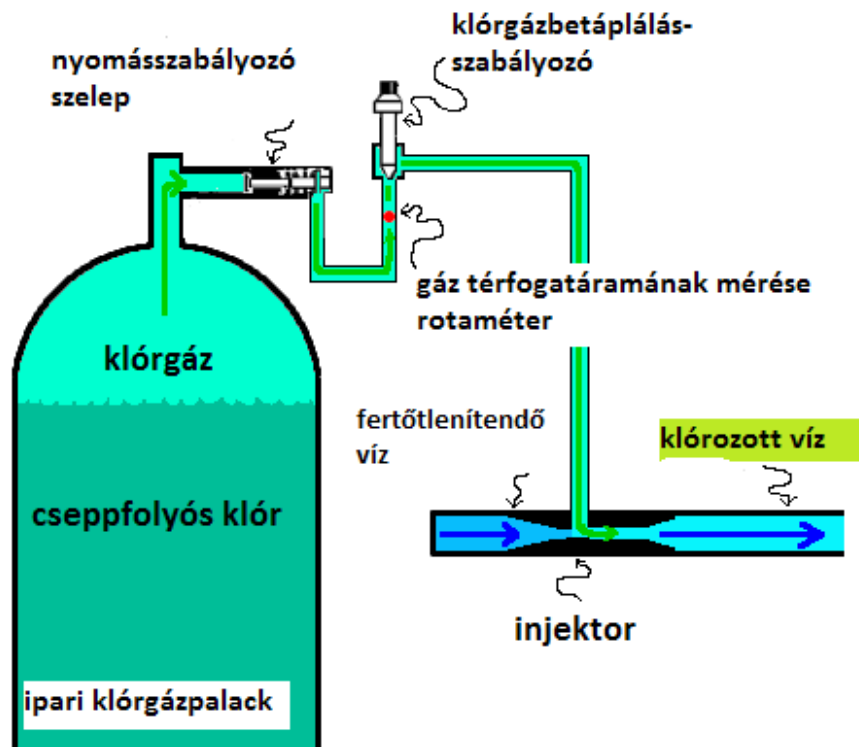
**A klór hatékonyságának magyarázata**

Forrás: [130, 131]

56. ábra. A klórozás folyamata és hatékonyságának magyarázata  
(Forrás: [40, 41, 42] alapján a szerzők által készítve)

Minimálisan 30 perc és tökéletes elkeveredés szükséges ahhoz, hogy a víz közegében az oldott klórgáz kifejtsen fertőtlenítő hatását a nemkívánatos mikroorganizmusokra (kontaktidő).

A klórgáz tárolása (és megelőzően szállítása) palackokban, nagy nyomás alatt (300 bar), cseppfolyós halmazállapotban történik. A felhasználás közvetlenül a palackokból, a folyékony halmazállapotból elpárolgó gáz (melyhez szükséges hő a környezetből fedeződik) kerül be közvetlenül az injektorba. Nagyobb klórgázigény esetén több klórgázpalack sorosan összekapcsolva engedi szelepen és rotaméteren keresztül a klórgázt a fertőtlenítő rendszerbe. Így jobban tervezhető a gázpalackok cseréje folyamatos üzem esetén. Ez a rendszer manuálisan és vezérelve is üzemeltethető, így biztonságos. A tárolóhelyiségben monitoringrendszer telepítésével a kockázat minimálisra szorítható.



57. ábra. A klórozás megvalósítása vákuumban (Forrás: [43] alapján a szerzők által szerkesztve)

A fertőtlenítéshez használt vegyszer neve	Fertőtlenítés folyamata előnyök hátrányok
klór	kémiai reakció a patogén mikroorganizmusokkal kis mennyiségű klór is hatékonyan pusztítja el a baktériumokat maradék vegyszer maradhat a rendszerben, rendkívüli szennyezésnél rendkívül káros trihalometánok keletkezhetnek
jód	kémiai reakció a patogén mikroorganizmusokkal költséghatékony ártalmatlan a terhes nőkre sürgősségi vízkezelésnél, nem állandóan üzemelő részlegeknél gyakrabban alkalmazzák
bróm	kémiai reakció a patogén mikroorganizmusokkal technológiai megvalósíthatóság viszonylagos bonyolultsága vegyszermaradványokat nehéz elhelyezni korlátozott a felhasználás csekély mértékben alkalmazzák, elsősorban uszodák vízkezelésénél
bázisok nátrium-hidroxid kalcium-hidroxid	kémiai reakció a patogén mikroorganizmusokkal technológiai megvalósíthatóság viszonylagos bonyolultsága esetenként keserű íz alakul ki az ivóvízben

ózon	kémiai reakció a patogén mikroorganizmusokkal erős fertőtlenítőszer erősebb vírusölő képessége van, mint a klórnak oxidálja a vasat, a mangánt, a szulfidokat, oxidálja a vasat, a mangánt, a szulfidokat, és a szerves vegyületeket eltávolítja a nemkívánatos színt, szagot és ízt költséges eljárás nincs vegyszermaradék, melléktermék (nincs szállítás, tárolás, a helyszínen állítják elő) magasfokú karbantartási és biztonsági követelmények új, fejlődő módszer
UV (ultraviola) fény	az UV fény biológiai elváltozást eredményez, amely a mikroorganizmusok elpusztulását vonja maga után nem keletkezik káros metabolit jelentős technológiai költség a zavarosság (szín) zavarhatja a fertőtlenítést kis kapacitású rendszereknél kedvezőbb speciális ipari alkalmazásoknál előnyös
ultrahang	hanghullámok pusztítják el a kórokozókat
hő	forrásban levő vízben 5 perc alatt megsemmisülnek a mikroorganizmusok nagy energiaigényű költséges egyszerű műszerparkkal megoldható

40. táblázat. Az ivóvíz fertőtlenítésére használt további vegyszerek (Forrás: [40, 41, 42] alapján a szerzők által készítve)

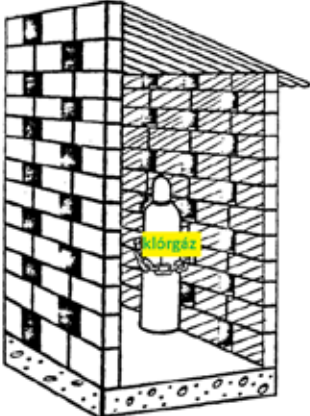
A klórozás előnyei:

- jól működő technológia;
- költséghatékony, a rendelkezésre álló lehetőségek közül a legversenyképesebb;
- megbízható és hatékony, a mikroorganizmusok széles spektruma ellen alkalmazható;
- a klórgáz adagolása jól szabályozható, a kezelendő víz minőségváltozásának függvényében;
- a káros szagokat megszünteti.

A klórozás hátrányai:

- a folyamat során visszamaradó klór csekély mennyiségben is toxikus a vízi élőlényekre;
- a klór tárolása, szállítása komoly veszélyeket hordoz magában;
- a klór a szerves anyagokkal különböző vegyületeket alkot, ezek a metabolitok egyes esetekben mérgezőek lehetnek az emberi szervezetre;
- a kloridion-tartalom növekszik a folyamat során;
- bizonyos mikroorganizmusok ellenállnak az alacsony klórgázbetáplálásnak;
- az élővízi befogadóba juttatott, tisztított víz klórtartalmának környezeti hatása hosszú távon ismeretlen.



<p><b>tulajdonságai</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- zöldessárga színű gáz</li> <li>- nyomáson, cseppfolyósítva szállítják, tárolják</li> <li>- irritáló szagú</li> <li>- vízzel gyengén reagál (hipoklóros sav, és hidrogén-klorid képződése közben)</li> <li>- nem gyúlékony, oxidáló hatású</li> <li>- nehezebb a levegőnél</li> </ul>	<p><b>veszélyei</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- súlyosan irritálja a bőrt, a szemet, orrot és a tüdőt</li> <li>- bőr- és szemkontaktus esetén súlyos égési sérülést okozhat, akár vakságot eredményezhet</li> <li>- reakciója vízzel kevésbé veszélyes vegyületeket hoz létre</li> <li>- a cseppfolyós klór hirtelen kijutva fagyási sérüléseket okozhat</li> <li>- a gumik, műanyagok néhány típusát megtámadja</li> </ul>
<p><b>tanácsok a kárelhárításhoz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- a klórgáz már alacsony koncentrációban is halálos, a mentéshez, felderítéshez a legmagasabb fokú védelem szükséges</li> <li>- a kárterület megközelítése a szél irányából</li> <li>- tűznek kitett klórtartály felrobbanhat</li> <li>- élővizekre veszélyes</li> </ul>	<p><b>A klórgáz tárolási lehetősége</b> pl. kutatóintézeteknél, laboratóriumoknál</p>  <p>The diagram shows a cross-section of a brick cabinet with a gas cylinder inside. A yellow label on the cylinder reads 'klórgáz' (chlorine gas).</p>

58. ábra. A klórgázzal kapcsolatos veszélyhelyzeti információk összefoglalása  
(Forrás: [40–44] alapján a szerzők által készítve)



**A fertőtlenítőszer hatékonyságának relatív sorrendje**

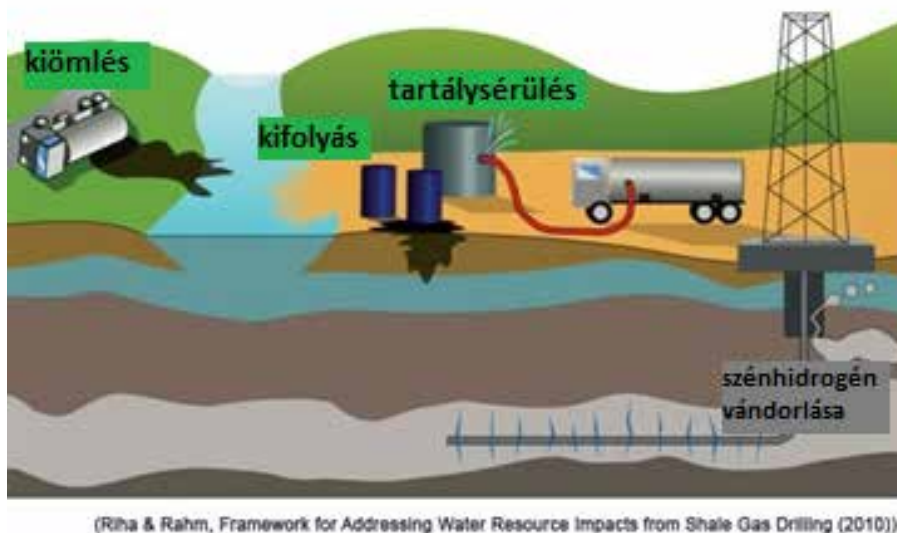
<p><b>HOCl</b></p>	<p><b>O<sub>3</sub></b></p>	<p><b>ClO<sub>2</sub></b></p>
<p>erősen</p>	<p>közepesen</p>	<p>gyengén</p>
<p>A pH-érték befolyásolja a fertőtlenítő hatást</p>		

59. ábra. A különböző fertőtlenítő vegyszerek relatív hatékonysága  
(Forrás: [45] alapján a szerzők által készítve)

## 5.2 VIZEK OLAJSZENNYEZÉSE

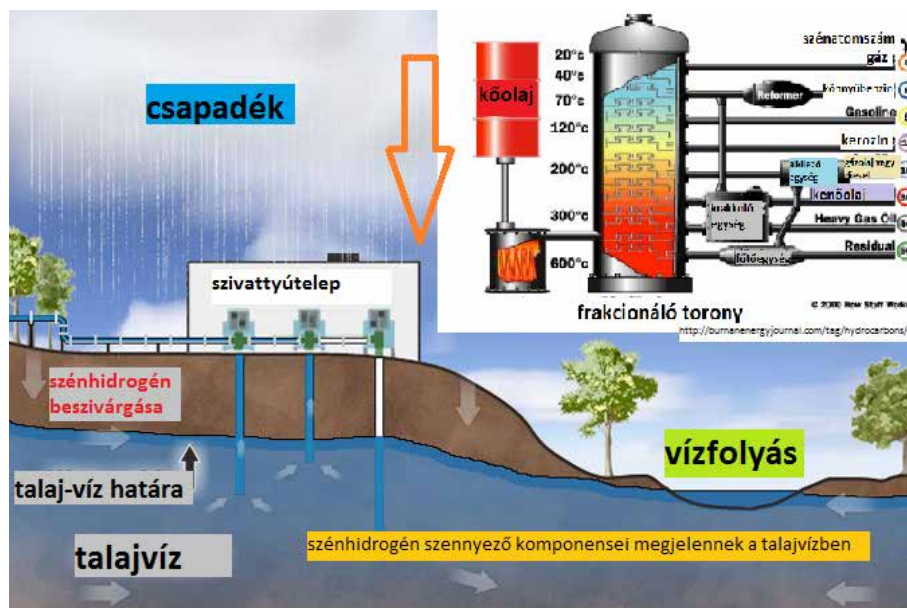
Folyékony halmazállapotú szénhidrogének az emberi figyelmetlenség következtében juthatnak a környezeti elemekbe (talaj, víz, levegő). A felszíni és felszín alatti vizekbe kerülő szennyező komponensek a közelben található ivóvízbázist veszélyeztethetik. Jelentős talajszennyezésre Magyarországon is számos példa volt. Komoly veszélyt hordoznak magukban a tankhajóbalesetek; nagyobb mennyiségű szénhidrogén-kibocsátásnál (folyók, tavak, tengerek, óceánok felszínén) régiót érintő ökológiai katasztrófákat idézhet elő. A talajszennyezések viszonylag gyorsan és hatékonyan felszámolhatók. Nagyobb mennyiségű szénhidrogén környezetbe jutásakor a víznek hatalmas felülete szennyeződik el, ún. filmrétegben borítja be a szennyeződés az élővilágot, ezáltal az oxigénfelvételt lecsökkenti vagy teljesen megakadályozza. Kis mennyiségű szénhidrogén jelentős térfogatú vizet képes elszennyezni, 1 liter olaj 1000 vagy 10 000 liter vizet károsít (számos kritérium befolyásolja, pl. a hőmérséklet, az élővíz összetétele, a helyi meteorológiai viszonyok stb.). [46]

Hajóbalesetek, uszályok sérülései, szennyvíztisztítási hiányosságok, csővezetékes szénhidrogén-szállítással kapcsolatos problémák gyakran okozói az élővizek olajos elszennyeződésének. A szénhidrogéniparból eredő tipikus környezetszennyezési módokat mutatja be a 60. ábra.



60. ábra. A kőolajipari balesetektől származó negatív hatások a környezeti elemekre  
(Forrás: [46] alapján a szerzők által készítve)

A folyékony szénhidrogének kitermelése összetett folyamat. A kitermelt mennyiségek időben változhatnak, de az igény a felhasználók részéről viszonylag állandó értéken állandósult és nélkülözhetetlen a hétköznapokban (a lakosság, az ipar és a mezőgazdaság részére). A folyamatosság miatt szükséges a folyékony szénhidrogének tárolása, ami különféle tartályokban, az előírt biztonsági követelményeknek megfelelően történik. Abban az esetben, amikor egy tartály, vagy a hozzá tartozó csővezeték-hálózat egy ponton megsérül, nagy mennyiségű szénhidrogén juthat ki, és szivároghat a talajba, majd a talajvízbe. Gyakorlatilag az előzőekben ismertetett eseménysor okozója lehet az ivóvízbázis (forrás) elszennyeződésének. E folyamatot mutatja be a 61. ábra. [47]



61. ábra. A folyékony szénhidrogének tárolásakor, tartálysérülés miatti környezetszennyezés folyamata  
(Forrás: [47] alapján a szerzők által szerkesztve)

Ha a folyékony halmazállapotú szénhidrogén az élővíz (folyó, tó) felszínére kerül, ott szétterül, egyfajta filmréteget alkot a víz felületén. Emiatt az oxigén beáramlása (oldódása) lecsökken, vagy akár teljesen meg is szűnhet, ezáltal pedig veszélybe kerülhetnek a vízi élőlények és a vízminőség.

A következő folyamatok játszódnak le, ha az élővízbe olaj ömlik [48]:

1. Terjedés, szétterülés

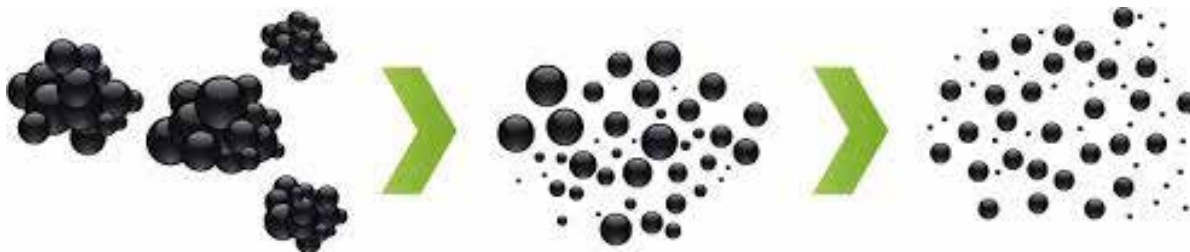
- Kiömlés után az olaj szétterül a vízfelszínen, aminek sebességét az olaj tulajdonságai (pl. viszkozitása) befolyásolják.
- Az olajfolt vastagsága változó, és a szél hatására a folt széttöredezik.
- A részfolyamatnak az alábbi környezeti tényezők a kritériumai: szélesebbesség, vízhőmérséklet, hullámozás.

2. Evaporáció – párolgás

- E részfolyamatnak a sebessége a folyékony szénhidrogént alkotó komponensek gőznyomásértékétől függ (ez határozza meg a párolgás sebességét). Pl. a petróleum, kerozin és dízelolajok pár nap alatt nagymértékben elpárolognak a vízfelszínről.
- Az erőteljes hullámozás, a szél sebessége és a hőmérséklet befolyásolja az evaporációt.

3. Diszperzió

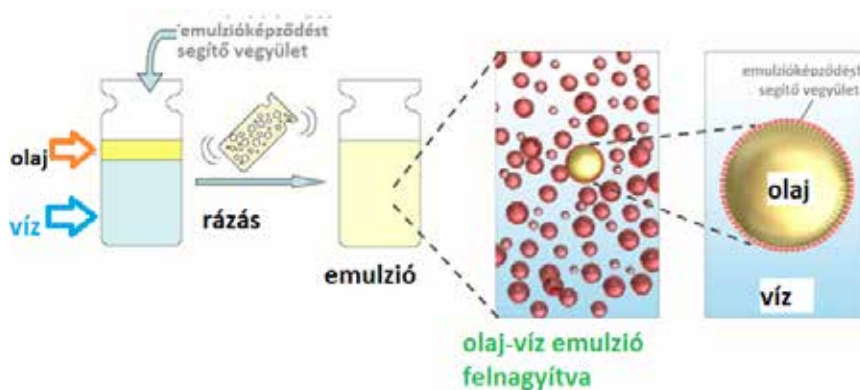
- A hullámok, a vízfelszínben lejátszó áramlás az olajréteget aprítja, diszpergálja kisebb részekre, cseppekre (lásd 62. ábra). A kisebb szemcseméretű cseppek emulziót alkotnak a vízzel, a nagyobb méretű részek a felszínre emelkednek. Az emulzió olyan heterogén (diszperz) rendszer, amelyben folyékony halmazállapotú anyag részecskéi vannak szétoszlatva a folyékony halmazállapotú közegben, feloldódás nélkül (a legfontosabb példa ezen állapotra a tej). Az emulziók nem stabilak, és bizonyos idő elteltével az eredeti folyadékfázisokra válhatnak szét.
- E részfolyamat sebességét leginkább az olaj fizikai, kémiai jellemzői és a víz aktuális állapota (pl. hőmérséklet, hullámozás, szélesebbesség) együttesen befolyásolja. Gyors a diszperzió az erős hullámozás és alacsony viszkozitású (ún. könnyű) olajok esetében.



62. ábra. A diszpergálás folyamata (Forrás: [49] alapján a szerzők által készítve)

#### 4. Emulzifikáció

- Az emulzió eltávolítása környezetszennyezésnél nagyon nehezen kivitelezhető elhárítási feladat. Az eredetileg kiömlött olaj térfogata kb. 2–5-szörösére nő.
- Léteznek nagyon stabil emulziók is, melyek hónapokig fennmaradhatnak. Az emulzióképzés laboratóriumi folyamata látható a 63. ábrán.



63. ábra. Az emulzióképződés elősegítése emulgeálószerrel (Forrás: [50] alapján a szerzők által szerkesztve)

#### 5. Oldódás

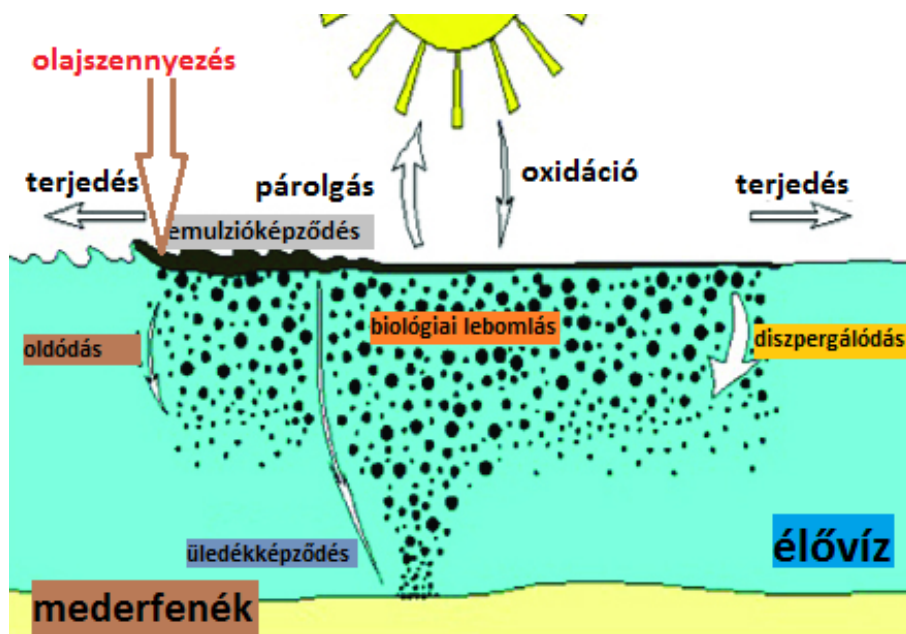
- Az olaj nagyon összetett, sokkomponensű elegy, tartalmaz vízoldható vegyületeket is. Az olaj összetétele, a hőmérséklet és az emulzióban létrejött olajcseppméret határozza meg a sebességét.
- Az apoláris vegyületek nagyon kis mértékben tudnak a vízben mint poláris oldószerben oldódni. Az aromás szénhidrogének (benzol, toluol, xilolok), melyek csekély mennyiségben is mérgezőek, átjuthatnak a vizes fázisba. Viszont nagy sebességgel párolognak, ami sokkal gyorsabb, mint az oldódás.

#### 6. Ülededés, lesüllyedés

- Vannak nehézelajok, melyek nagyobb sűrűségűek, mint a víz, így lesüllyednek a meder aljára.
- Ez akkor valósul meg, amikor lebegőanyag és üledékszemcsék kerülnek be a kiömlött olajrészbe.
- A vízpartra vetődött olaj összekeveredve a homokkal és/vagy üledékkel, visszamosódik a vízbe (hullámozás, áradás), majd ülepedik, lesüllyed a mederfenékre.

## 7. Biodegradáció

- A mindenhol jelenlevő mikroorganizmusok nagyon fontos szerepet töltenek be a lebontó folyamatokban. Természetesen a perzisztens komponensek nagyon sokáig megmaradhatnak változatlanul a környezetben.
- A biodegradációt befolyásoló legfontosabb tényezők: a tápanyagok jelenléte (nitrogén és foszfor), hőmérséklet, oldott oxigén, fényviszonyok és a kiömlött olaj fizikai, kémiai tulajdonságai.
- A részfolyamatnak jelentős az oxigénigénye, ezért csak az olaj-víz határfelületen játszódik le.
- Az olaj diszpergálódása (minél kisebb cseppek kialakulása) természetes vagy mesterséges diszpergálással megnöveli a határfelületet, így a biodegradáció sebességét.



64. ábra. Az olaj élővízbe jutását kísérő folyamatok összefoglalása  
(Forrás: [51] alapján a szerzők által készítve)

*Az élővizek öntisztulási részfolyamatainak rövid ismertetése:*

1. Hígulás: a vízmennyiség teljes térfogatában áramlik a szennyező anyag.
2. Biológiai degradáció (lebomlás): a szerves anyagok mikroorganizmusok hatására aerob/anaerob (oxigén jelenlétében/-mentesen) módon. A felszabaduló energianyereség a lebontó szervezetet támogatja.
3. Magnifikáció: az élő szervezet fejlettségétől függően történik a felhalmozódás a szervezetben, a táplálékláncban felhalmozódik a vegyület, akár több milliószoros is lehet egy vegyület felhalmozulása (biomagnifikáció).
4. Ülepedés: a vízbe került egyéb komponensek leülepednek a víz sebességének változásával, így kikerülnek a fenékiszap felületére, később a belsejébe.

A fejezet megírásához felhasznált további irodalmak: [52, 53, 54].

## 6. LEVEGŐSZENNYEZÉS

---

A levegőszennyezés fő problémaköre az ipari tevékenységek megjelenésével egyidős.

Levegőszennyezés kritériumai:

- egy adott terület felett elhelyezkedő légtérben a természetes alkotórészeketől eltérő egyéb vegyületek, szennyező anyagok vannak jelen;
- a légtérben az eredetileg a levegőt felépítő komponensek vannak jelen, viszont a megszokottól eltér az arányuk.

A légszennyező anyagok környezetbe kerüléséért a kibocsátó **források** a felelősek. Szennyező forrás lehet többek között: az égő cigaretta, a gépjármű kipufogógázai, egy baleset következtében kialakuló tűz az üzem területén, normál üzemben történő kibocsátás a kéményen keresztül, vulkáni tevékenységek, erdőtüzek (természetes eredetű szennyezés), hőerőművek, tüzeléstechnikai berendezések (szezonális források, és lakossági). [57]

Primer légszennyező források:

- háztartási,
- erőművekből és
- közlekedésből eredő.

Primer légszennyező komponensek:

- szén-monoxid,
- nitrogén-oxidok (járművek, széntüzelésű erőművek),
- kén-oxidok (erőművek, kőolaj-finomítók, fémszulfid pörkölők),
- illékony szerves vegyületek (VOC, járművek, földgázkezelő, szállítóegységek),
- porszennyezések (finom por: járművek, széntüzelésű erőművek, üledő por: cementművek, bányászat, égetőművek, fatüzelés, tarlóégetés).



65. ábra. Levegőtisztasági problémákat szemléltető képek  
(Forrás: [55, 56] alapján a szerzők által készítve)

Iparág	Szennyező forma			
	gáz	szilárd hulladék	víz	egyéb
Vas- és acélipar	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , HC, CO, H <sub>2</sub> S mérgező vegyszerek	salak, iszap az elfolyó kezeléséből	BOI, KOI, olaj, fémek, savak, fenol, cianidok	zaj, por
Textil- és bőripar	SO <sub>x</sub> , HC	krómiszap az elfolyó kezeléséből	BOI, szilárd szulfátok, króm, festékek	szag, zaj, por
Papíripar	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub>	iszapok az elfolyó kezeléséből	BOI, KOI, szilárd klórozott szerves anyagok	szag, zaj, por
Petrolkémiai és finomítói ipar	SO <sub>x</sub> , NO <sub>x</sub> , HC, CO, H <sub>2</sub> S toxikus vegyszerek	kimerült katalizátorok, kátrányok, iszapok	BOI, KOI, olajok, fenolok, króm	szag, zaj, por
Vegyianyagok	Szerves vegyszerek	iszapok az emi-sziókezelésből és a folyamathulladékokból	KOI, szerves vegyszerek, nehézfémek, szilárd hulladék és cianidok	szag és mérgező vegyszerek

41. táblázat. Kibocsátott szennyezések iparáganként összefoglalva  
(Forrás: [57] alapján a szerzők által készítve)

## 6.1 A SZENNYEZŐ ANYAGOK TERJEDÉSE A KÖRNYEZETI ELEMekben

### 6.1.1. EMISSZIÓ

Az állandó, összes emberi tevékenységből eredő, egy bizonyos szennyező forrásból meghatározott idő alatt bekövetkező szilárd, folyékony, gáz-halmazállapotú szennyező anyag kibocsátása az emi-szió. Egy hétköznapi példával bemutatva, 1-2 tömeg% nitrogéntartalmú szén elégetésekor nitrogén-dioxid jut a környezetbe, ez az elsődleges szennyező komponens.

A továbbiakban a levegő páratartalmával e vegyületből alakul ki egy másik komponens, melyet **másodlagos** szennyező anyagnak nevezünk. A keletkezett nitrogén-dioxid átalakul salétromossavá, majd salétromsavvá.

Tehát, a forrásból a szennyező vegyületek kilépése, kijutása az **emisszió folyamata**.

Az emissziókat (melyek térben és időben különböznek egymástól) eltérő paraméterek jellemzik, néhány fontosabb: a kibocsátott szennyező anyag minősége, mennyisége, a kibocsátás milyen magasságban történik, meteorológiai viszonyok, a levegőre a kibocsátáskor jellemző fizikai és kémiai tulajdonságok. Összefoglalva, az emisszió az adott idő alatt kibocsátott légszennyező anyag mennyiségével mérhető (néhány alkalmazott mértékegység: g/m<sup>3</sup>, µg/m<sup>3</sup>, g/óra, t/év). [57]

*Az emisszió forrása:*

- **Pontszerű:** egy adott helyen (egy jól körülhatárolható koordinátán, vagy közvetlen közelében) kerül a szennyező anyag a környezetbe (gyárkémény, tisztítatlan szennyvíz az élővízi elnyelőbe). A leggyakoribb, amikor a kibocsátás egy pontból történik, ez a **pontforrás**, erre példa üzemi kibocsátás kéményen keresztül, cigarettázó ember, álló helyzetben lévő gépjármű. Ebben az esetben a folyamatot jellemző függvények viszonylag könnyen megadhatók.
- **Nem pontszerű (kiterjedt, illetve diffúz):** a szennyező anyag nagyobb térbeli kiterjedésben jut a környezeti elembe (tömegközlekedés, áruszállítás).

Létezik **mozgó (mobil) forrás**, ez akkor jön létre, ha a pontforrás mozog. Példaképpen megemlíthető a mozgásban levő, szénhidrogénnel üzemelő közúti és tömegközlekedési eszköz (földön, vízben, levegőben).

**Vonalforrás**, amikor egy adott, behatárolt útvonalon közlekedő (szénhidrogénnel üzemelő) járművet tekintünk. Az ADR, RID, ADN veszélyes áruk szállításakor bekövetkező folyamatos (ideiglenes-folyamatos) kibocsátások ide tartoznak.

A **felületi (vagy területi) forrás** az, amikor a kibocsátás és a terjedés mértéke megközelítőleg egyező intervallumba sorolható. Példaként: tarlóégetés (mezőgazdasági tevékenységként), átmeneti (még folyamatban levő) hulladéklerakáskor távozó nemkívánatos vegyületek.

Az emisszió eredete szerint lehet:

- természetes: emberi befolyásolás nélküli, átmenetiek, lokálisak (erdőtűz, mely nem emberi eredetű, villámlás és száraz erdő);
- humán (antropogén): emberi tevékenységből közvetlenül vagy közvetett módon származik, a természetes körfolyamatokon felüli anyagmennyiségek expozíciója.

Időbeli eloszlás szerint:

- állandó (folyamatos),
- időszakos (átmeneti).

Szennyezés kiterjedése (térbeli terjedése):

- lokális (10–100 m),
- regionális (100 km),
- fluviális (az élővízre vonatkozik, folyó, tó, csatorna),
- kontinentális (országos).

### 6.1.2. TRANZMISSZIÓ

Az emisszió (kibocsátás) folyamatában kikerült szennyező anyag molekuláinak a levegőben (vízben, talajban, vagyis a környezeti elemekben) történő továbbterjedése a **transzmisszió**. A kockázatelemzés tárgyához kapcsolódó speciális terület a veszélyanalízis, melynek feladata a balesetből származó veszélyes komponensek transzmissziójának a meghatározása, modellezése. [57]



A transzmisszió mint összetett folyamat főbb részlépései:

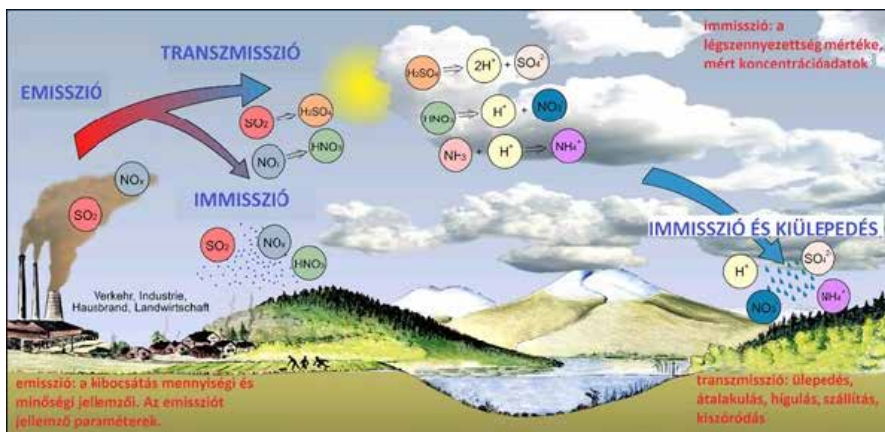
1. keveredés (vagy hígulás),
2. elszállítódás,
3. szóródás,
4. ülepedés,
5. kémiai átalakulás.

A szennyező vegyületeknek a környezeti elemekben (légkör, víz, talaj) fennálló és folyamatos terjedése, keveredése, amely a közeg áramlása (szél-levegő, áramlás-víz, elkeveredés-talaj) által fenntartott folyamattal, a diffúzióval valósul meg. A folyamat eredményeként a veszélyes komponensek koncentrációja csökken (hígulás), és az emissziós forrástól különböző távolságokba jutnak. A folyamat menete alatt a vegyületek fizikai és kémiai reakciókban vesznek részt. A légkör (ön)tisztulása és a másodlagos komponensek kialakulása folyamatosan és párhuzamosan is zajlik.

### 6.1.3. IMMISSZIÓ

Az immisszió: egy adott terület, térrész szennyezettségi állapotát fejezi ki. Az előtte lejátszódó folyamatok függvénye, vagyis az emisszió és a transzmisszió is jelentősen befolyásolja. Egy meghatározott komponensnek (szennyező vegyületnek), a leginkább  $\text{mg}/\text{m}^3$  vagy  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  koncentrációegységben megadott értéke 1,5 m magasságban meghatározva.

Tehát a légszennyezettség mértéke, vagyis a levegő minősége az **immisszió**. Más szavakkal az immisszió egy adott időben egy adott vegyület koncentrációja. Ezt az adatot az ember életterében szokás meghatározni, ahol a mindennapokban tartózkodik. Ilyen mérési adatok kerülnek nyilvánosságra például a Budapest legforgalmasabb területein elhelyezett kijelzőkön. Összefoglalva az immisszió egy bizonyos időtartamra és területre jellemző. [57, 59]



66. ábra. A levegőszennyezés folyamata és befolyásoló tényezői  
(Forrás: [57] alapján a szerzők által készítve)

#### 6.1.4. TARTÓZKODÁSI IDŐ ÉS ÖNTISZTULÁS

A környezeti elemekben állandóan zajló fizikai, kémia és biológiai folyamatoknak köszönhetően, az idő előrehaladtával a környezetidegen anyagok koncentrációja csökken, kikerülnek az adott környezeti mátrixból (itt közeget jelent), ez az öntisztulás folyamata.

Minden vegyületre más és más ún. **tartózkodási idő** a jellemző, ami szintén csak egy elméleti érték, mert néhány paraméter növelheti vagy csökkentheti. E jelenséget esetenként még a szennyvíztisztításnál is kihasználják, így a környezetre nem veszélyes szerves vagy szervetlen anyagok bejuthatnak (bevezetés) az élővízi befogadóba, ha a lebontó szervezetek, vagy az egyéb élőlények fel tudják használni az életfolyamataikhoz (így elfogyasztják, beépítik a testükbe). [57, 59]

A levegő öntisztulási lépései:

1. Hígulás: szél, turbulencia, diffúzió
2. Átalakulás: szennyező anyagból a környezet számára hasznos vagy közömbös vegyület képződik
3. Az eltávozás jelensége:
  - abszorpció: elnyelődés (folyadékban a gáz);
  - adszorpció: megkötődés (folyékony vagy gáz-halmazállapotú szennyeződés szilárd rész felületéhez kötődik másodrendű kötések segítségével);
  - precipitáció: kicsapódás, a hőmérséklet- vagy töltéskülönbség következtében;
  - szedimentáció: ülepedés (a talajba kerül és beépül a környezetbe);
  - kiszóródás (gravitáció miatt a légtérből a talajba vagy a vízbe kerül a vegyület);
  - kimosódás: az eső vagy a hó kitisztítja a légkört a szennyező komponensektől (pl. radioaktív izotópok);
  - inpakció – precipitáció (elektromos energia vagy hó segítségével).

#### 6.1.5. A GYAKRABBAN ELŐFORDULÓ PERZISZTENS VEGYÜLETEK RÖVID ISMERTETÉSE

A perzisztens vegyületek hosszú ideig ellenállnak a lebontási (és így az öntisztulási) folyamatoknak. A napfény, az oxidációs vagy a redukciós környezet előbb-utóbb talál támadható részt a molekulán, s ekkor megkezdődik a vegyület lebomlása. [57, 59]

##### Fenolok

A fenolok aromás szénhidrogének hidroxilszármazékai, nagyszámú vegyület gyűjtőneve.

A fenol gyakran az ipari szennyvizek jelzővegyülete (marker molekula). Az iparban jelentős a felhasználása: gyógyszervegyületek, növényvédő szerek, műanyagok szerves szintézisek kiindulási alapanyagai. A következő emberi tevékenységeknél fordulhat elő: a petrokémiai üzemek, szén-, fa- és kőolajlejáróló üzemek, a gyógyszergyártás szennyvizeiben, a papírgyártáskor stb. [57, 59]

Vízben, magas koncentrációnál (mg/l) a legtöbb szervezetre toxikus. A szennyvíztisztításnál koncentrációjának fontos szerepe van, ugyanis hátrányosan befolyásolja, mivel a baktériumokra is mérgező, következtében a biológiai szennyvíztisztítás sérül. A biológiai lebontást lecsökkentő hatás a fenoltartalom 10 mg/l értéke felett jelentkezik. Alacsony koncentrációban a fenolok biológiailag bonthatók, ilyenkor a folyóvizekben természetes lebomlásuk zajlik. A víz fertőtlenítésekor, klórozást alkalmazva különböző klórfenol vegyületek keletkezhetnek (rendkívüli szennyezéskor), amelyek szintén mérgezőek (aktív szén eltávolítás). [57, 59]

### Poliklórozott vegyületek (PCB)

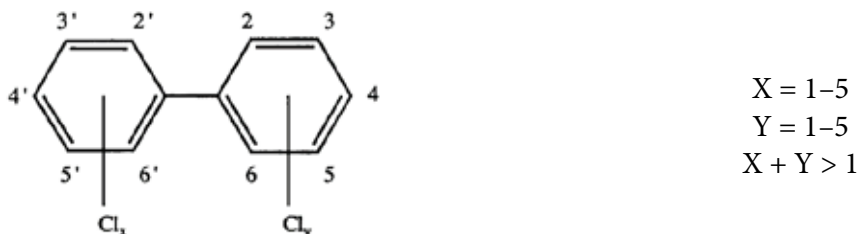
Veszélyes tulajdonságokkal rendelkező vegyületek, rendkívül stabilak, zsírban jól oldódnak (a bonyolult szerves molekulák apoláris részei miatt), kijutásukkor feldúsulhatnak a táplálékláncban, a zsírszövetben képesek raktározódni, átjutnak a placentán, a szervezetből hosszú idő alatt ürülnek (pl. a tejjel). Az emberi szervezetbe főként szennyezett élelmiszerekkel juthatnak.

Felhasználásuk szerint három csoportra oszthatók:

1. növényvédő szerek (DDT, HCH, HCB, PCB),
2. ipari anyagok (PCB-k) és
3. vegyi folyamatok melléktermékeként keletkező anyagok csoportja (poliklórozott dibenzo-p-dioxinok, PCDD és poliklórozott dibenzofuránok, PCDF).

Az emberi tevékenységnek köszönhetően, gyakorlatilag minden környezeti elembe (levegő, víz, talaj) megtalálhatók. Meglepő módon manapság is kimutathatók ezek a vegyületek vagy egyes metabolitjaik (bomlásaikból keletkezett egyéb átalakult molekulák).

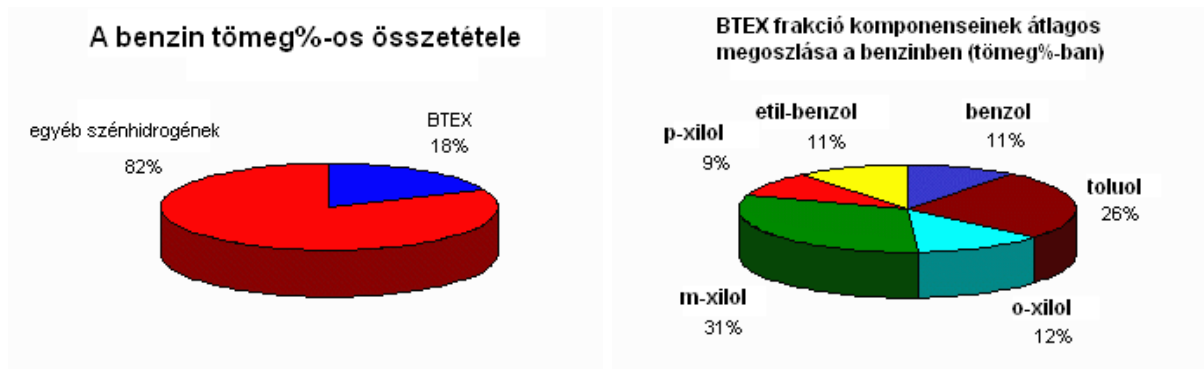
A PCB-k mesterségesen előállított anyagok, ún. **xenobiotikumok**, vagyis környezetidegen anyagok. A környezetben lejátszódó, jelentős számú vegyi és biokémiai folyamatban nem keletkeznek, így zavart okozhatnak a biológiai rendszerekben. A PCB vegyületek ipari és hőátadó folyadékként kondenzátorokban, transzformátorokban, emelőszervezetekben, továbbá festékek lágyítószerként, kenőolajként és kenőzsírként alkalmazták évtizedeken keresztül. Negyven évvel ezelőtt korlátozták, harminc éve felhasználásukat is betiltották. Azonban ma is számottevő mennyiségeket lehet kimutatni a környezeti mintákból. A központi idegrendszer fejlődésére és az immunrendszerre kifejtett veszélyes hatással rendelkeznek. [57, 59]



67. ábra. A PCB molekulák szerkezetének magyarázata, és a klóratomok kapcsolódására vonatkozó szabályok (Forrás: szerzők által készítve)

### Illékony monoaromás szénhidrogének (BTEX)

A megnevezés a benzol, toluol, etil-benzol és a xilolok neveinek kezdőbetűiből tevődik össze. Az üzemanyag-szennyezés okozhatja az expozíciójukat. A **68. ábra** a BTEX komponensek benzinben való előfordulását ábrázolja, a **42. táblázat** pedig a jellemzőit.



68. ábra. A benzin összetétele, és a BTEX összetétele a benzinben  
(Forrás: [60] alapján a szerzők által készítve)

	benzol	toluol	meta-xilol	orto-xilol	para-xilol	etil-benzol
szervezeti képlet						
összegképlet	$C_6H_6$	$C_7H_8$	$C_8H_{10}$	$C_8H_{10}$	$C_8H_{10}$	$C_8H_{10}$
molekulatömeg [g/mol]	78	92	106	106	106	106
maximális megengedett mennyisége ivóvízben [ppb]	5	1000	összesen a három xilol izomer: 10 000			700

42. táblázat. A BTEX komponenseinek rövid ismertetése (Forrás: a szerzők által készítve)

**Policiklusos aromás szénhidrogének (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons = policiklusos aromás szénhidrogének PAH)**

Két vagy több kondenzált aromás gyűrűs vegyületek, szén- és hidrogénatomok építik fel. Olvadás- és forráspontjuk magas, tenziójuk kis érték, nagyon lipofil tulajdonságúak, kémiailag inertek (perzisztensek). A PAH szó gyűjtőnév, megközelítőleg 200 vegyület tartozik ebbe a csoportba. Toxikus, rákkeltő vegyületek gyűjtőneve. A levegőben előforduló, igen kis szemcseméretű ( $\mu\text{m}$ ), szilárd részecskék, tökéletlen égéskor keletkező korom felületére vagy aeroszolhoz kötődhetnek adszorbciónal, és transzmisszióval vándorolnak, kiülepednek, esetleg átalakulhatnak (metabolitok). A PAH vegyületek a környezetben gyakran, de nagyon kis mennyiségekben előforduló anyagok. Az élővilágban is keletkezhet, a biomassza, a szerves anyagok (tökéletlen) égéskor (például erdőtüzeknél), de jelentős része antropogén eredetű. További lehetséges forrásai: petrolkémiai technológiai tevékenységeknél, erőművek üzemelésekor (fosszilis), hulladékok elégetésekor, közlekedésben, dohányzásakor, tarlóégetésnél. [57, 59]

Az analitikai elemzések során a karcinogén tulajdonság mellett a mutagén hatás is kimutatható volt. Néhány évvel ezelőtt az ún. nitro-PAH vegyületek váltak a vizsgáldás céljává, mivel könnyen keletkeznek a levegőben, ha van jelen nitrogén-dioxid ( $\text{NO}_2$ ). A nitro-PAH vegyületek mutagén hatása többszöröse, mint a kiindulási PAH molekuláé.

Markervegyülete (indikátorvegyület, mely analitikai elemzéseknél a mérési, kimutatási célvegyület) a benzo-a-pirén (rövidítve BaP). Fontos tudni, hogy természetes jelenléte is ismert, leginkább a fosszilis energiahordozókban (tőzeg, lignit, szén, kőolaj) fordul elő. Közvetlen előállításuk kis mennyiségben történik, de ritkán előfordul lágyító adalékanyagként és átmeneti terméként (intermedi-er). [57, 59]

### **Peszticidok**

A mezőgazdaságban felhasznált vegyületek, növényvédő szerek csoportja. További típusokra oszthatók aszerint, hogy mely kártevőt támadja, a három legismertebb csoportja:

1. rovarirtók (inszekticidok),
2. gombaölő szerek (fungicidok),
3. gyomirtók (herbicidok).

A peszticidok iparszerű alkalmazása a terméshozamok növelésére került bevetésre. Sajnálatos módon a peszticidok közül számos vegyületről bebizonyosodott, hogy használata kockázatos, szennyezi a környezeti elemeket (így az élelmiszereken keresztül eljuthat az emberekhez is), és mérgező az élő szervezetekre. További probléma, hogy a peszticidok perzisztensek, és metabolizmusuk folyamatában is sokszor mérgező vegyületek képződhetnek.

### **Illékony szerves komponensek (Volatile Organic Compounds = VOC)**

A WHO (Egészségügyi Világszervezet) szerint az illékony szerves vegyületek olyan szerves anyagok, melyek forráspontja  $50-100\text{ }^\circ\text{C}$  és  $240-260\text{ }^\circ\text{C}$  között van, s így telítési gőznyomásuk  $25\text{ }^\circ\text{C}$  hőmérsékleten legalább 1020 hPa érték. Ilyen komponensek többek között a benzol, a xilolok, etil-benzol.

A VOC-k antropogén emissziója: közlekedés, ipari folyamatok (például a kőolaj-finomítás, festégyártás, építőipar) során. A legjelentősebb forrás a fosszilis tüzelőanyagok és a biomassza égetése, a fosszilis energiahordozók kitermelése, szállítása. A gyógyszergyártás, a festék- és vegyipar számos esetben használ fel szerves oldószereket, többek között toluolt ( $\text{C}_7\text{H}_8$ ), etil-benzolt ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ ), diklór-etánt ( $\text{C}_2\text{H}_4\text{Cl}_2$ ). A VOC vegyületek nagy része elősegíti a felszín közeli ózon képződését (szmog).

### **Szilárd halmazállapotú szennyeződések (por, részecskék)**

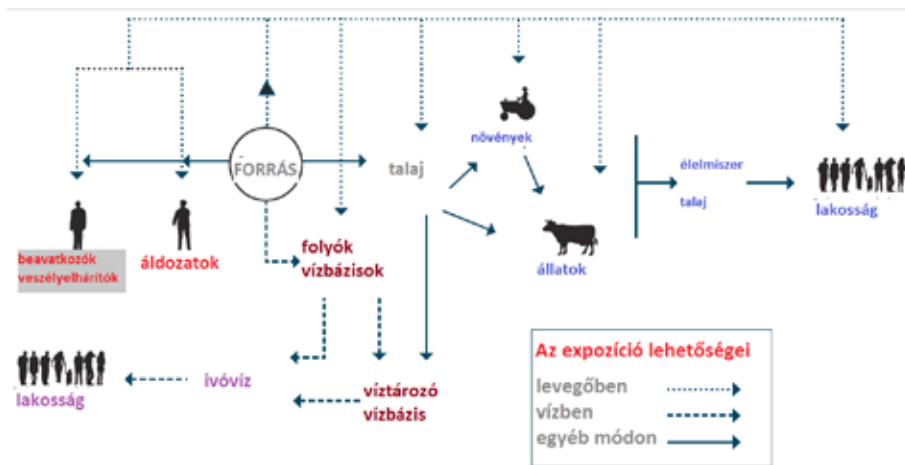
A légkör szilárd szennyeződéseinek durva frakciója az ülepedő por. A jelentős ideig a levegőben lebegő kicsiny részecskék neve szálló por a levegőtisztaság-védelemben. A légzőszervi bekerülés mélységét a porrészecske átmérője határozza meg. PM (az angol particulate matter rövidítése) a levegőben jelenlevő, lebegő állapotú szilárd és/vagy folyékony halmazállapotú részecskék gyűjtőneve. [57, 59]

A PM<sub>10</sub> a 10 mikrométernél kisebb átmérőjű részecskék gyűjtőneve. Ez a mérethatár fontos, mivel az ettől nagyobb átmérőjű szemcsék egészségrontó hatása jelentős mértékben kisebb, az ember légzőrendszerének védelmi mechanizmusa nem engedi a tüdő mélyebb részeibe behatolni. A részecskék összetétele is számít, rendkívül eltérő lehet, tartalmazhatnak: szilíciumot, szenet, BTEX-t, PAH-t, aromás és alifás szerves vegyületeket, halogéntartalmú szerves komponenseket, nehézfémeket, és akár élő részecskét is, mint a spóra, pollen. Antropogén forrásai a fosszilis energiahordozók és

a hulladék égetése, a közlekedés, jó néhány nehézipari eljárás (bányászat, kohászat). A legkárosabb hétköznapi porrészecske-forrás az aktív és a passzív dohányzás. A PM10 elfogadott mértékegysége  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . [57, 59]

*A környezetszennyezések*

Az előzőekben, a levegőszennyezés példáján keresztül ismertetett környezetszennyezés folyamatos, jelentős részéért tehát az ipari, mezőgazdasági és hétköznapi tevékenységek okolhatók. Az élővilág rendkívül komplexen működő rendszerébe jutó környezetidegen anyagok a környezeti elemeket elszennyezik, a flórát, a faunát és az embert károsítják. Ennek a folyamatnak az összefoglalása látható az ábrán, feltüntetve a lakosságot és a veszélyelhárító egységeket.



69. ábra. A környezetbe jutott veszélyes anyagok sorsa és hatása  
(Forrás: [61] alapján a szerzők által szerkesztve)

## 7. ÜZEMZAVAROK, BALESETEK MEGELŐZÉSE A FOLYAMATOK BIZTONSÁGI KEZELÉSÉVEL

---

### 7.1 AZ IPARI FOLYAMATOK BIZTONSÁGI KEZELÉSÉNEK ELEMEI [62]

Az ipari folyamatok biztonsági kezelésének elemei a következők:

#### 1. Felelősség: Célok

A műveletek folytonossága  
A rendszerek folytonossága (készletek és finanszírozás)  
A vállalat elvárásai (víziók és generál tervek)  
Minőség a folyamatokban  
Kivételek ellenőrzése  
Alternatív módszerek  
A menedzsment elérhetősége

#### 2. Folyamatok ismerete és dokumentálása

Folyamat meghatározása és a tervezés, megvalósítás kritériumai  
A folyamat és a berendezések tervezése, megvalósítása  
A vállalati memória (a menedzsment információja)  
Védelmi rendszerek  
Vegyis és szakmai egészségügyi veszélyek

#### 3. A projekt pénzügyi áttekintése, tervezése, kialakítása

Eljárások (új és létező üzemre, kapacitásbővítésre)  
Ajánlatok elfogadási eljárásai  
Beruházások kockázati kezelése  
Veszélyek áttekintése (legrosszabb eset is)  
Tartalomterv  
Projektmenedzsment-eljárások

#### 4. Folyamatok kockázatkezelése

Veszélyek azonosítása  
A létező műveletek kockázatkezelése  
Maradék kockázat kezelése (üzemen belüli veszélyekre való válasz és kárenyhítés)  
Folyamatok menedzsmentje veszélyhelyzetek esetén  
Az ügyfelek és szállítók bátorítása hasonló kockázatkezelő rendszer bevezetésére  
Elfogadható kockázatú üzletek alkalmazása

### **5. A változások kezelése**

Technológiai változások

Szervezési változások, melyek befolyásolhatják a folyamat biztonságát

Ellentmondások kezelése

Átmeneti változások kezelése

Permanens változások kezelése

### **6. Folyamatok és berendezések integritása**

Megbízhatósági mérnöki munka

Szerkezeti anyagok

Gyártási és inspekciós eljárások

Installációs eljárások

Megelőző karbantartás

Folyamatok, hardverek, valamint rendszerfelügyelet és tesztelő  
(indulás előtti biztonsági felülvizsgálat)

Karbantartási folyamatok

Riasztási rendszer és készülékek kezelése

Lebontási folyamatok

### **7. Humán faktorok**

Emberi hibák kezelése

Operátor folyamat és berendezés interfészek

Adminisztrációs ellenőrzések, versus hardverek

### **8. Gyakorlatozás és végrehajtás**

Szakértelem és tudás definiálása

Tervezés, kivitelezés az üzemelési és a karbantartási folyamatok számára

Folyamatban levő végrehajtások és ismeretet frissítő gyakorlatok

Instruktor programok

Adatrögzítés kezelése

### **9. Események kivizsgálása**

Súlyos következményű események

Események követése és döntések hozatala

Események rögzítése

Harmadik, külső résztvevő bevonása, ha szükséges

### **10. Szabványok, törvények, rendeletek**

Belső szabványok, ismertetőik és gyakorlatok

(elmúlt események, flexibilis végrehajtású szabványok, kiegészítések, felújítások)

Külső szabványok, ismertetőik és gyakorlatok

Döntések és kizárási folyamatok

### **11 . A folyamatbiztonsági tudás növelése**

Belső és külső kutatások

Javított előrejelző, becslőrendszerek

Folyamatbiztonsági referenciakönyvtár



A szakemberek között élénk vita folyik arról, hogy a különböző iparágakban előforduló tragikus balesetek között melyek voltak a jelentősebbek, és a vegyipari balesetek során mely vegyület vagy termék a legveszélyesebb. Az utóbbi időben, a világban és az USA-ban bekövetkezett vegyipari baleseteket foglalja össze a 43. táblázat. [62]

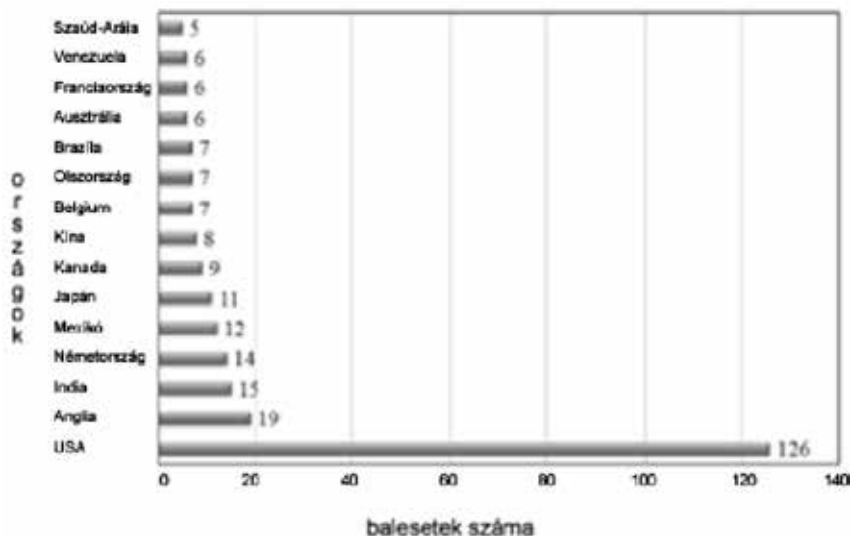
1974	FLIXBOROUGH, Anglia – Egy átmeneti csővezeték hibája miatt gőzkibocsátás történt, és 28 halálos áldozatot követelt a ciklohexán-robbanás.
1984	SEVESO, Olaszország – Több ezer embert érintő dioxinkibocsátás történt egy reakció megszaladása miatt.
1984	CUBATAO, Brazília – Kb. 500 ember halt meg 700 tonna benzin felhasadt csővezetékéből történő kifolyása és begyulladása következtében.
1986	MEXIKÓVÁROS, Mexikó – LPG gázüzemben történt robbanás és tűz következtében 542 ember halt meg és 4000-en sebesültek meg.
1993	BHOPAL, India – Nagy elfolyás következtében több mint 2000 ember halt meg és több száz-ezer embert érintett a baleset.

43. táblázat. Az utóbbi időben a világban bekövetkezett vegyipari balesetek összefoglalása  
(Forrás: [62] alapján a szerzők által készítve)

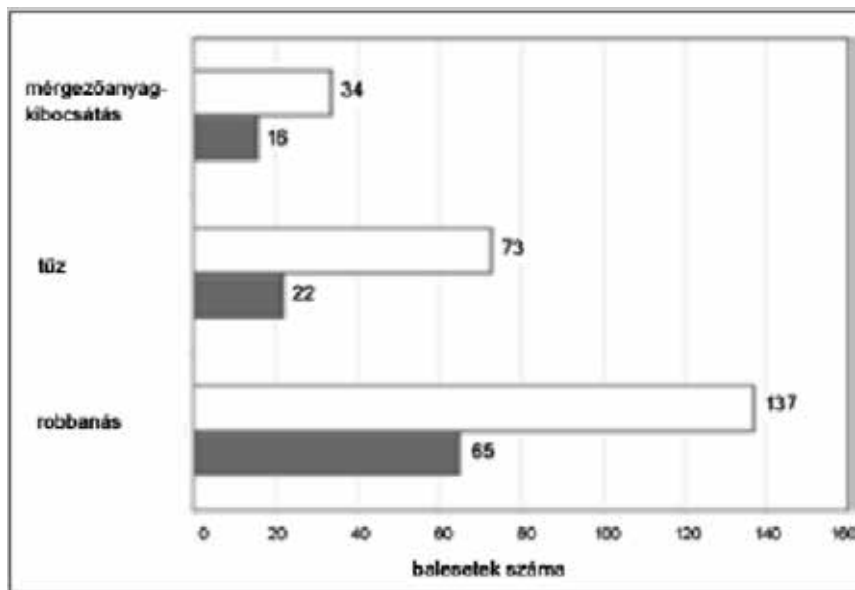
1985	INSTITUTE, WV, egy aldikar-oxim és metilén-klorid gőzfelhő kibocsátásakor 135 ember sérült meg.
1987	TEXAS CITY, TX, sósavgázfelhő-kibocsátás egy finomítóból a lakókörnyezet felé, 1000 ember szorult orvosi ellátásra.
1988	HENDERSON, NV, ammónium-perklorát-robbanás következtében 2 ember meghalt és 350 megsebesült.
1989	PASADENA, TX, etilén-izobutilén felhő felrobbant egy üzemben, 23 ember meghalt és 132 megsérült.
1990	CHANNELVIEW, TX, szennyvíztartályban robbanás történt, 17 ember meghalt és jelentős terület leégett.
1990	CINCINNATI, OH, gyantaüzemben történt robbanás, 1 ember meghalt, 71 megsebesült.
1991	CHARLESTON, SC, foszforüzemben történt robbanás, 6 ember meghalt és 33 megsebesült.
1991	PORT LAVACA, TX, etilén-oxid egységben történt robbanás, 1 ember meghalt és 19 megsebesült.
1991	STERLINGTON, LA, műtrágyaüzemben történt robbanás és tűz következtében 8 ember meghalt és 128 megsebesült.
1991	CORPUS CHRISTI, TX, kiömlött sósavgáz 2 ember halálát okozta.

44. táblázat. Az utóbbi időben az USA-ban bekövetkezett vegyipari balesetek összefoglalása  
(Forrás: [62] alapján a szerzők által készítve)

Az 1917 és 2011 közötti időszakban bekövetkezett vegyipari balesetek számát és megoszlását mutatja a 70–71. ábra az első 15 ország számait bemutatva. [63]



70. ábra. Vegyipari balesetek száma 1917–2011 között országoként (Forrás: [63] alapján a szerzők által készítve)



71. ábra. Vegyipari balesetek primer okainak száma 1917–2011 között (átlátszó – fejlett, sötét – fejlődő országok, forrás: [63] alapján a szerzők által készítve)

Az ipari üzemekben bekövetkező balesetek döntő része tehát néhány vegyszerhez rendelhető. Az USA-ban kockázatkezelő program [64] keretében megállapították, hogy **négy vegyszer, a vízmentes ammónia, a klórgáz, a propán és a robbanékony elegyek alkotják a vizsgált balesetek 70%-át.** Ezek közül a vízmentes ammónia szerepe döntő (~30%), mert nagyon elterjedt (műtrágyák, hűtés, mezőgazdasági alkalmazások). A vizsgálat során 14 828 üzem, 20 210 eljárásában működő 70 mérgező és 57 robbanékony anyag vagy elegy baleseti statisztikáját vizsgálták. A baleseti gyakoriságokat a 45. táblázat foglalja össze.

Vegyszer neve	Balesetek száma évente és folyamatonként	Rangsor	Balesetek száma évente és tárolt 10 <sup>6</sup> barrelenként 1 hordó (barrel) = 159 liter = 0,159 m <sup>3</sup>	Rangsor
ammóniagáz	0,016	16	0,014	14
klórgáz	0,022	13	0,16	7
hidrogén-fluorid	0,064	3	0,27	4
robbanó elegyek	0,007	24	0,00075	24
klór-dioxid	0,155	1	1,97	2
propán	0,006	25	0,0012	20
kén-dioxid	0,013	20	0,011	15
ammónia vizes oldata	0,017	15	0,018	13
hidrogén-klorid	0,060	4	0,25	5
hidrogén	0,031	10	0,24	6
metán	0,027	11	0,0064	17
bután	0,011	21	0,00089	23
etilén-oxid	0,027	12	0,045	11
dihidrogén-szulfid	0,067	2	0,50	3
formaldehid	0,009	23	0,024	12
izobután	0,010	22	0,011	21
pentán	0,013	18	0,0052	18
titán-tetraklorid	0,056	5	0,090	9
foszgén	0,044	6	2,49	1
salétromsav	0,038	8	0,047	10
etán	0,014	17	0,00071	25
óleum	0,022	14	0,011	16
etilén	0,014	19	0,00089	22
vinil-klorid	0,042	7	0,0051	19
trikloroszilán	0,034	9	0,10	8

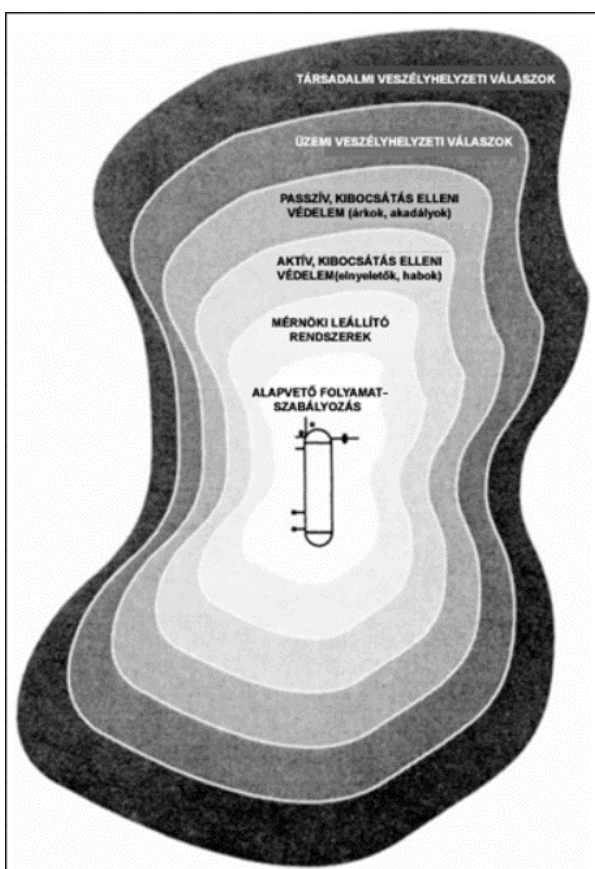
45. táblázat. Normalizált baleseti gyakoriságok az USA-beli Risk Management Programban vizsgált ipari vegyszerekre, 1994–1999 (Forrás: [64] alapján a szerzők által készítve)

A táblázatból látható, hogy a klór-dioxidot, a kén-hidrogént, a sósavat és a hidrogén-fluoridot alkalmazó folyamat fajlagosan veszélyesebb, mint az ammóniával vagy a klórgázzal dolgozó.

Az ipari üzemekben fellépő veszélyek kezelésének négy fázisát és egy vegyi üzem védelmi rétegeit mutatja a 72–73. ábra. [1]



72. ábra. A veszélyhelyzet kezelésének négy fázisa (Forrás: [64] alapján a szerzők által szerkesztve)



73. ábra. Egy modern vegyi üzem védelmi rétegei (Adapted from Drake and Thufston)

## 7.2 MEGELŐZÉS ÉS KÁRENYHÍTÉS

### 7.2.1. A MEGELŐZÉS ALAPELVEI [62]

#### Folyamatok veszélyeinek felismerése

Egy veszélyes kibocsátás megelőzésének a veszély felismerésével kell kezdődnie, mely egy olyan kémiai vagy fizikai állapot, mely potenciálisan sérülést, kárt okozhat az emberekben, tulajdonokban, vagy a környezetben. Lépései:

#### *A kémiai és fizikai tulajdonságok azonosítása*

A fizikai és kémiai tulajdonságok között fontos a biztonság szempontjából a toxicitás, a gőznyomás, a lobbanáspont, az öngyulladás hőmérséklet, robbanási koncentrációtartomány a levegőben, a szag, a korrozivitás, az oldhatóság stb.

#### *A reaktivitási és inkompatibilitási veszélyek azonosítása*

Ez a veszélyforrás kevésbé ismert, egymás reaktivitását befolyásoló, vagy egymással inkompatibilis (pl. önállóan reakcióba lépő) vegyszerek esetén jelent potenciális veszélyt. Önállóan reakcióba lépő vegyszerek például bizonyos monomerek, melyek inhibíció hiányában polimerizálódnak, a termikusan bomlékony vegyületek, mint a peroxidok és az ütésre érzékeny anyagok. Ezen veszélyek megállapításában segítenek az irodalomban fellelhető interaktivitást kimutató mátrix adattáblák. A szennyező anyagok néha katalizálhatják a bomlási folyamatokat, például a réznyomok gyorsítják a hidrogén-peroxid-oldatok bomlását.

#### **Inherens módon biztonságosabb üzemek**

A kockázatkezelés első lépése a veszély csökkentése, vagy ha lehetséges, kiküszöbölése.

#### *Anyagok helyettesítése más anyaggal, és/vagy mennyiségének csökkentése*

A veszély egyszerűen csökkenthető más, kevésbé veszélyes anyaggal történő helyettesítéssel, alternatív, kevésbé veszélyes reakcióút alkalmazásával, mely kevesebb veszélyes anyagot alkalmaz. Például a víz klórozásánál a klórgáz helyett nátrium-hipoklorit (hipó) oldat használata, vagy fűtőközegként forró olaj helyett gőz alkalmazása. A veszélyes anyag mennyisége csökkenthető oldatok hígításával, folyadék helyett gázfázisú reakciók alkalmazásával.

#### *A folyamatban részt vevő (reagáló) anyagok mennyiségének csökkentése*

Az inherens biztonság néha növelhető a gyártási folyamatban létrejövő köztes termék (intermediér) mennyiségének csökkentésével. Döbbenetes példája ennek a bhopali (India) vegyi katasztrófa, ahol a növényvédőszer-gyártás veszélyes köztes termékét, a metil-izocianát (MIC) vegyszert tárolták nagy mennyiségben további felhasználás céljából. Ez aztán katasztrófát és kibocsátást okozott. Más hasonló üzemekben a gyártást a teljes folyamatra folyamatosan végigviszik, így a veszélyes intermediér nem halmozódik fel, és nem okoz komoly veszélyt.

#### *A tárolt anyagmennyiségek csökkentése*

A veszélyes nyersanyagok tárolt mennyiségének csökkentésével a veszély csökkenthető, például a tartályok és tárolók méretének csökkentése csökkenti az elfolyási veszélyt. További példa az elfolyások veszélyeztetett zónájának csökkentésére, amikor a klórgázt kisebb palackokban tárolják nagyobb tartálykocsik helyett, ugyanakkor a nagy kibocsátások csökkenése mellett a kisebb mennyiség miatt a gyakoribb csere következtében megnő a kisebb kibocsátások valószínűsége.

#### **A folyamatok kialakításának (dizájn) változtatása**

A folyamatok kialakításának biztonságnövelő változtatása a leghatékonyabb egy új rendszer beüzemelésénél, mert itt a változásokkal szemben a rendszer a legrugalmasabb és a költségek a legkisebbek. Ugyanakkor már üzemelő folyamatok változtatásai is eredményezhetnek kisebb kibocsátási valószínűséget, és kibocsátás esetén enyhébb következményeket.

### *Folyamatos versus szakaszos reaktorok*

A folyamatos üzemű kémiai folyamatok szoros ellenőrzés alatt, állandósult állapotban (stady state), szűk paraméter (hőmérséklet, nyomás, áramlási sebesség) -tartományban működnek. A folyamatos üzemű folyamatok általában kevesebb műveleti lépésből állnak, és a reakciókhoz a szakaszos üzemhez képest adott időintervallumban kevesebb anyagmennyiségeket reagáltatnak. Ezen okok miatt a folyamatos üzemek gyakran inherens módon biztonságosabbak, mint a szakaszosak, különösen a nagy kapacitású üzemek esetében. Ugyanakkor a folyamatos üzemek indításkor és leálláskor nem állandósult állapotban működnek, ezért ezekben az állapotokban nagyobb a baleseti veszély, mint az állandósult állapotú üzemelés esetén. A folyamatos üzemű technológiák nagy termelési kapacitásuk révén nagy költségekkel jellemezhetők, ezért a szakaszos üzemű technológiák alkalmazása elterjedtebb a vegyipari termelési folyamatokban, mert a folyamatok feltételei széles körben változtathatók kis mennyiségű termék gyártása mellett. A szakaszos (batch) gyártási technológiák biztonsága is számos technikával növelhető. Például biztonságosabban üzemelhetnek, ha a korlátozó reagenst folyamatosan adagoljuk a rendszerhez, így elkerülhető a reagálatlan anyagok felhalmozódása. A szakaszos reaktorok masszívabb kiépítésű, korrózióálló anyagból készülhetnek, és jobban ellenállnak a magas hőmérsékletek stresszhatásának. Biztonság szempontjából a szakaszos reaktorok még további előnyökkel is rendelkeznek.

### *Nyomás alatti vagy vákuum műveletek*

Egy folyamatban a nyomás értéke néha a szükséges hőmérséklet és a reakciósebesség függvénye. Gyakran a biztonsági szempontok is befolyásolják az alkalmazott nyomást. Egyes, toxikus gázokat alkalmazó eljárásokat vákuumban üzemeltetik, így lyukadás esetén a reaktorba történik az áramlás a környezet helyett. Ezt alkalmazzák számos folyamatos klórozott szénhidrogén előállításánál és a víz klórozásánál is. Gyakran alkalmazzák nagyobb molekulásúlyú szénhidrogének desztillációs elválasztásánál is, mert vákuumban a komponensek alacsonyabb hőfokon elválaszthatók, míg atmoszférikus nyomáson, magasabb hőmérsékleten desztillálva már bomlanak, és a bomlástermékek komoly problémákat okozhatnak. Robbanásra hajlamos anyagok esetén pedig általában nyomás alatt dolgoznak, mert egy esetleges levegőbetörés potenciálisan robbanásveszélyes helyzetet hozhat létre.

### *Gáz- vagy folyadék halmazállapot*

Egyes folyamatokban döntés kérdése, hogy gáz- vagy folyadék állapotban alkalmazunk-e egy anyagot. Ahol megoldható, törekedni kell a berendezésekben jelenlévő anyagmennyiségek csökkentésére, mert baleset esetén kisebb a környezetbe kibocsátható anyagmennyiség. Ezt alkalmazzák cseppfolyós állapotban szállított gázok esetén a folyadék elpárolgatásával a reakció előtt.

### *Az ellenőrző rendszer stratégiája*

Bár nem része az inherens biztonsági eljárásoknak, egy jól kialakított ellenőrző rendszer jól szolgálja a balesetek megelőzését.

### *Hűtés*

Speciális veszélyekkel jár a mélyhűtött folyadékok tárolása és szállítása. Az ilyen folyadékok szivárgása során gyorsan elpárolognak, robbanékony vagy mérgező gázt és/vagy aeroszolatot tartalmazó felhőket képezhetnek. Itt a megfelelő túlhűtés adhat biztonságot, példa erre az ammónia vagy a földgáz tárolása, szállítása.

### 7.2.2. A KÁRENYHÍTÉS ALAPELVEI

A kárenyhítés különbözik a megelőzéstől, mert alapfeladata a káros esemény során kibocsátott veszélyes anyag hatásának csökkentése.

#### **A telephely megválasztása, pufferhatás**

Ennek a passzív eljárásnak az alapja az, hogy a lehetséges kibocsátási pont és az érzékeny terület távolságát maximalizálják. Ez tűz és robbanás esetén hatékonyabb, mint a mérgező anyagok kibocsátásakor, mert utóbbi esetben komoly akut mérgező hatás léphet föl nagyobb távolság és alacsony mérgezőanyag-koncentrációk esetén is. Tűzveszély esetén 300–1500 m puffertávolság már hatékony, mérgező felhő esetén néhány kilométer távolság lehet szükséges. A terjedés útjában elhelyezkedő akadályok csökkentik a mérgező hatásokat, így a fák, épületek, dombok elnyelhetik, felhígíthatják a mérgező anyagokat. A kockázati pufferzóna kárenyhítő hatása függ a hatásnak kitett területtől. Így például a hatás útjába kerülő kórházak, alagutak sérülékenyebb területnek számítanak, mint egy szomszédos ipari terület, mert utóbbi esetben jobban felkészülhetnek a veszélyre.

#### **Az egyes berendezések elhelyezkedése az üzemen belül**

Számos javaslat létezik az egyes egységek üzemi területen történő elhelyezésére, az esetleges kibocsátások hatásának csökkentése céljából, főleg tűz- és robbanásveszély esetén. A vegyi és petrokémiai üzemekben a nyersanyag- és terméktároló berendezéseket a gyártási berendezésektől elkülönülten helyezik el, mert bár a tartályok baleseti kibocsátása ritka esemény, de hatásterületük igen jelentős, míg a termelő, kezelő berendezések hasonló eseményei gyakoribbak, de hatásterületük kisebb. Speciálisan különítik el a kazánházakat, fáklyázó és elektromos kapcsolóberendezéseket, mert ezekben éghető, illetve robbanóanyag-kibocsátások jelentkezhetnek.

#### **A kémiai anyagok baleseti kibocsátásainak kárenyhítő módszerei**

A veszélyes anyagok baleseti kibocsátásainak fő okai mechanikai és emberi hibák kombinációi. A folyamatok létrehozásában felhasznált módszerek célja a kibocsátások hatásainak csökkentése. Ezek alapja:

1. az általános ipari gyakorlatban konszenzussal kialakult biztonsági eljárások,
2. az adott vegyipari folyamathoz rendelhető biztonsági eljárások és
3. a várhatóan fellépő veszélyek elemzése.

A korábbi balesetek elemzése alapján nyert tapasztalatok és következtetések segítenek az esemény elkerülésében vagy a következmények csökkentésében.

#### *Kibocsátások okai*

A legtöbb kibocsátási ok négy általános kategóriába sorolható:

1. „open end” kibocsátási útvonalak a levegőbe,
2. a berendezések integritásának hiányosságai vagy sérülései,
3. kibocsátás külső behatásra, és
4. a tervezettől eltérő műveleti állapotok.

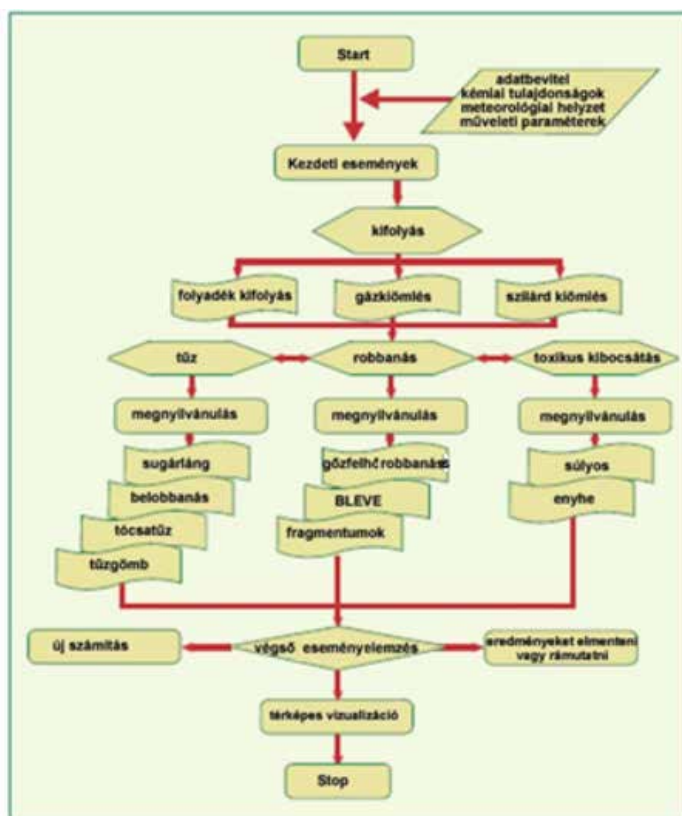
Néhány példa:

Edényzet túltöltése

Egy nyitva felejtett leeresztő szelep

- Csővezeték sérülése
- Edényzet szelepének sérülése
- Edényzetben túlnyomás kialakulása szabályozási vagy hőelvonási probléma következtében.

Mindezen kibocsátások általában mechanikai és emberi hibák kombinációi következtében jönnek létre. A 74. ábra a kifolyások következményeinek vizsgálati sorrendjét foglalja össze.



74. ábra. Kifolyások következményvizsgálata (Forrás: [62, 63, 64] alapján a szerzők által szerkesztve)

*A kibocsátások hatásának enyhítése a tervezés-kivitelezés során*

Az üzem integrálásának biztosítására fontos hatással lehet a megfelelő építési és szerelési anyagok biztosítása a tervezés és kivitelezés során, a megfelelő tesztvizsgálatok elvégzése az építés és beüzemelés során, a változtatások gondos nyomon követése és néha dupla biztonsági védőtartályok alkalmazása. Fontos a biztonsági szelepek szerepe a káros túlnyomás kialakulásának megelőzésében.

*Utólagos kibocsátások kárenyhítése*

Egy veszélyes anyag baleset során bekövetkező ellenőrizetlen kibocsátása során a hatásterület csökkentése és a következmények enyhítése a cél. Egy ilyen rendszer lehet passzív (nem igényel műveleti beavatkozást) és aktív (bizonyos emberi és mechanikai beavatkozást igényel). A kibocsátás lehet gőz vagy gáz, folyadék (enyhe vagy jelentős párolgási jellemzőkkel), aeroszolok (például finom folyadékcseppek, köd) vagy por.

A befogadó környezet anyagaival (levegő, víz) reagáló kibocsátott vegyszerek speciális csoportot képeznek. A vízzel reagáló vegyszerek gyakran eredményeznek gázfejlődést (pl. hidrogén), a levegő oxigénjével reagáló vegyszerek (pl. pirofóros anyagok) gyakran okoznak gyulladást, tüzet.



Egy speciális eset, amikor robbanásveszélyes alkalmazásnál a szétrepülő tárgyak elleni védelemként a szóródás elleni akadályokat alkalmaznak egy szénhidrogén-oxigén elegyet tartalmazó rendszernél. Ezek az utólagos kibocsátások elleni védelmet szolgáló kárenyhítő elemek a védelem utolsó rétegében helyezkednek el.

*Másodlagos biztonsági tartályok (konténmentek) tárolás, kezelés, illetve tűz esetére*

A másodlagos tárolókat, így a padkákat, árkokat régóta alkalmazzák a földfelszín fölötti éghető és robbanékony folyadékot tároló tartályoknál. Az ilyen tárolóterület általában sima és lejtős annak biztosítására, hogy a tartályból kifolyó folyadék elfolyjon a tartály közeléből. Illékony, mérgező folyadék esetén a folyadékot felfogó kármentő felületet úgy alakítják ki, hogy az érintett felület minimális legyen, és így csökkentsék az elpárolgást. Esetenként úgy alakítják ki, hogy az alkalmazott tűzoltó víz ne folyjék el a műveleti területről. Néha a tartályt körülvevő másodlagos biztonsági kármentő tartályt alkalmaznak illékony mérgező folyadékok esetén. Az ilyen kármentőket állandóan monitorozzák, és az esetlegesen kibocsátott levegőt elnyelőtőbe vagy égetőbe vezetik a mérgező tartalom visszatartása céljából.



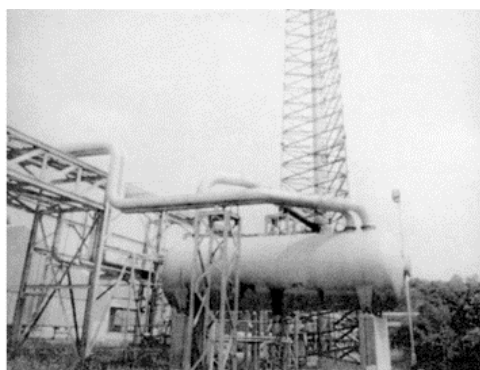
75. ábra. Biztonsági kármentővel ellátott tartály (Forrás: [62–64] alapján)

*Távműködtetésű biztonsági leállító, elfolyásgátló, vagy lassító, áttöltő*

Távműködtetésű biztonsági leállító rendszereket gyakran alkalmaznak szállítórendszerekben csőtörések következményeinek enyhítésére. Például tartályok nyomással végzett ürítésénél (pl. klórgáz ürítése tankautóból) a bemerülő csőben elhelyezett távműködtetésű szelepet alkalmaznak. Egyszerű áramláskorlátozókat, így kiömlőnyílásokat, túlfolyás ellen védő szelepeket alkalmaznak csővezetékes szállításoknál a sérülés miatt fellépő elfolyások korlátozására. Néha egy alternatív üres tartály szolgál a sérülés során elfolyó veszélyes folyadék áttöltésére és az elfolyás minimalizálására. Például hidrogén-fluorid-tartályok esetén gyakran alkalmazzák ezt a biztonsági megoldást.

*Abszorbensek, hab vagy más letakaró rétegek*

A kiömlött folyadéktócsák elpárolgása jelentősen csökkenthető megfelelő abszorbens, hab, vagy más alkalmas takaró, szigetelő réteg alkalmazásával. Ezeket a kiömlött anyaggal való kölcsönhatások kizárásával kell megválasztani. Alkalmazásuk akkor különösen előnyös, ha a tűzoltásra vagy megelőzésre használt víz elfolyásával kell számolni (mérgező anyagok). Az irodalomban táblázatokban foglalják össze a kompatibilis habokat és más letakaró anyagokat. A legtöbb ilyen kárenyhítő eljárás aktív típusú, azaz alkalmazásuk indító jelzéshez kötött.



76. ábra. Abszorbens hab alkalmazása (Forrás: [62–64] alapján a szerzők által szerkesztve)

*Felfogó tartályok, elnyeletők, fáklyák, kémények*

A tartályokban kialakuló túlnyomás csökkentésére alkalmazott lefúvató szelepeken távozó veszélyes anyagok is gyakran igényelnek kezelést. Tipikusan passzív működésű felfogótartályok vagy szeparátoredények szolgálnak a folyadékok felfogására, míg a kiömlő gőzök és gázok felfogására aktív működésű elnyeletők és fáklyák szolgálnak. Néha felfogó tartályokat is alkalmaznak gázok, gőzök passzív üzemi kondenzálására, elnyeletésére. A kémények a maradék gáz-, gőzkibocsátás hígítására alkalmasak. Bármely ilyen rendszer az adott rendszerhez illeszkedő gondos tervezést és kivitelezést igényel, figyelembe véve a kiömlő mennyiségeket, áramlási sebességeket, az üzemi paramétereket, a kritikus fizikai, kémiai tulajdonságokat, az emisszióval szemben védendő terület jellemzőit. Az ilyen kiömlés utáni kárenyhítő műveletek lehetnek aktív és passzív működésűek.



77. ábra. Gyakorlati példák a kiömlés utáni kárenyhítő műveletek aktív és passzív megoldására  
(Forrás: [62–64] alapján a szerzők által szerkesztve)

### Felfogó és elfolyó kialakítása

#### Vízpermet és gőzfüggöny alkalmazása

Vízpermetet alkalmaznak néha vízben jelentősen oldódó mérgező anyagok, így ammónia, sósav-gáz elnyelésére. A gőzfüggönyt a levegőnél nehezebb, hő vagy kinetikai hatásra robbanó anyagok hígítására alkalmazzák. Ezek a rendszerek aktív működésűek, és bonyolult kivitelezésűek.



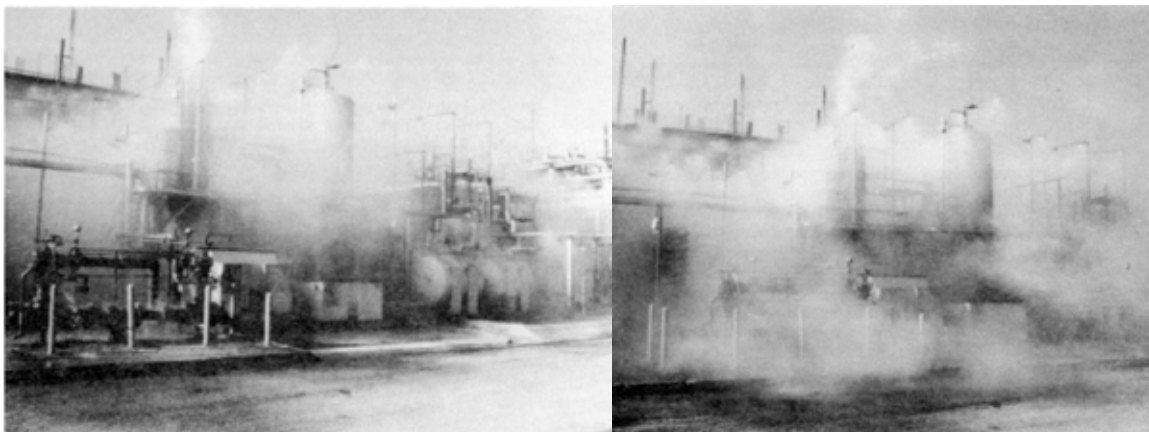
78. ábra. Sprinkler rendszer elektromos berendezésnél  
(Forrás: [62–64] alapján a szerzők által készítve)

#### Detektorok

Robbanó- és egyes mérgező anyagok jelenlétét kimutató és mérő detektorokat elterjedten alkalmaznak. Aktiválhatják a kibocsátás utáni vészjelző és kárenyhítő rendszereket. A detektorok és a hozzájuk csatlakozó mintavevő rendszerek aktív működésűek, és a korai riasztással elősegítik a kárenyhítési és veszélyhelyzeti intézkedések hatékonyságát. Ugyanakkor a pontos működésükhöz gondos karbantartást, kalibrációt igényelnek, és bizonyos helyi környezeti paraméterek befolyásolhatják megbízhatóságukat (szél, hó stb.).

## 7.3 TÜZEK ÉS ROBBANÁSOK KÁRENYHÍTÉSI MÓDSZEREI

A tüzekkel és robbanásokkal szembeni védelem régóta fontos szerepet játszik az üzemi folyamatok kialakításában, a vegyiparban, az áldozatok számának, a kárnak a mérséklése céljából. Sajnos a fejlődéssel növekedett az ilyen balesetek komolysága. Egyrészt nagyobb kapacitású üzemeket építettek, másrészt nőtt a távszabályozások aránya és a berendezések zsúfoltsága. Az események nagynyomású és magas hőmérsékletű rendszerekből történő folyadék és gőz-, gázkibocsátásoknál voltak a legkomolyabbak.



79. ábra. Polietilénüzem, gázkiömlés ellen sprinkler rendszer indul (bal oldal) és kialakult (jobb oldal)  
(Forrás: [62–64] alapján a szerzők által szerkesztve)

#### *Tüzek és robbanások okai*

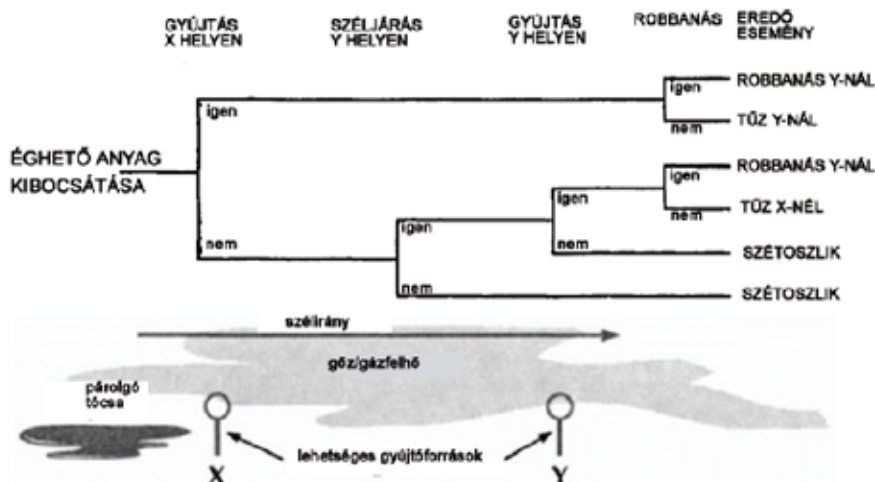
Tüzek és robbanások alapvető okai az éghető anyag, a gyújtóforrás és az oxidálószer (levegő oxigénje) szimultán jelenléte jól ismert háromszög szerint. A vegyiparban és a kőolajiparban gyúlékony anyagokkal dolgoznak, előfordulnak gyújtóforrások, és a környezeti levegő is jelen van, így rendkívül fontos a tüzek és robbanások megelőzése. Lehetőség szerint a tűzhez, robbanáshoz szükséges komponensek közül legalább egyet, de lehetőség szerint kettőt célszerű kiküszöbölni.

Speciális tüzeset a BLEVE, a forrásban lévő folyadékból expandáló elpárolgott gőz robbanása. Bármely éghető, túlhevített folyadék tárolójának lyukadása idézhet elő ilyen robbanást. A kijutó folyadékból elpárolgó gőz a gyújtóforrás hatására robbanásakor kialakuló, kiterjedt tűzgömböt képezhet. A robbanás felléphet az edényzetben vagy a nyílt levegőn is. Edényzetben végbemenő robbanás esetén a szétrepülő repeszdarabok és egy nyomáshullám okozhat komoly sérüléseket. A nyílt téri robbanás hatása jóval kisebb, de a folyadékot, gőzt és levegőt tartalmazó felhőben további veszélyes folyamatok játszódhatnak le.



80. ábra. Példa a BLEVE-jelenségre (Forrás: [62–64] alapján a szerzők által szerkesztve)

Egy éghető anyag egyszerű kibocsátásának komplex következményeit foglalja össze a 81. ábra.



81. ábra. Egy éghető anyag egyszerű kibocsátásának következményei  
(Forrás: [62–64] alapján a szerzők által szerkesztve)

A gyújtóforrás helyzete és a helyi időjárási helyzet szerepe fontos. Végeredményként tűz, robbanás vagy felhígulás következhet be.

## 7.4 TŰZ ÉS ROBBANÁS KÁRENYHÍTÉSÉNEK TERVEZÉSE ÉS KIVITELEZÉSE

Elsődlegesen mindent meg kell tenni annak érdekében, hogy robbanékony elegyek ne legyenek jelen az üzemi területen. Egyformán fontos a gyújtóforrások kiküszöbölése, mint például a területen lévő elektromos rendszer, vagy a területen végzett forró műveletek ellenőrzése, a sztatikus elektromos feltöltődés ellenőrzése megfelelő kapcsolatok és földelések alkalmazásával, a folyamatban szereplő térfogatáramok ellenőrzése, a szelepeken szikragátlók és a megfelelő villámvédelem alkalmazása. Az oxigén kizárását olyan folyamatokból vagy tárolótartályokból, melyekben zárt téri lobbanáspontjuk feletti hőmérsékletű anyagok vannak, könnyen megoldhatják inert gázokkal (pl. nitrogén) végzett térkitöltéssel vagy öblítéssel. Ellenőrzött mennyiségű, alacsony oxigén-nitrogén elegy szintén alkalmazható, ahol az oxigén jelenléte szükséges a stabilitáshoz (pl. egyes monomerek esetében), mert a legtöbb szénhidrogén az égéséhez 8–12% oxigéntartalmat igényel. Ezekben az esetekben oxigén gázanalizátorokat alkalmaznak.

Az éghető anyag eltávolítása a legtöbb folyamatban alapvetően lehetetlen, jó, ha a robbanásra hajlamos anyagot levegő jelenlétében lobbanáspontja és öngyulladás hőmérséklete alatti hőmérsékleten kezeljük. Néha hasznos, ha megfelelő mennyiségű levegő bevitelével a veszélyes gázelegyet az alsó robbanási koncentrációhatár alá hígítjuk.

Az éghető üzemanyag kibocsátását a korábban tárgyalt, vegyianyag-kibocsátást mérséklő módszerekkel csökkenthetjük. Föld alatti vagy földdel borított tartályok esetén az erősen illékony, robbanékony anyagok tárolása speciális védelmet igényel az elfolyások okozta környezeti károk megelőzésére. Alkalmazhatunk tűzálló szigetelést, speciális szellőzést, inertizálást, úszótetőt, gyenge hegesztési varratú tetőket, vagy tartálylábakat a belső robbanás lehetősége esetén.

Más speciális elővigyázatossági rendszabály, hogy robbanó elegyek esetén minimalizálják a zárt tereket, melyeknél a nehéz gáz baleseti kibocsátása vagy gyulladása léphet fel. Törekednek a lehető legegyszerűbb kialakításokra.

Egy másik fontos biztonsági terület a lehetséges porrobbanások megakadályozása. Ha az inertizálás nem megoldható, és a gyújtóforrások ellenőrzése nem biztosított, robbanáselfojtó szerkezeteket alkalmaznak.

Egyes speciális robbanásveszélyes esetekben, például peroxidok tárolásánál bunkereket alkalmaznak, vagy hármalfalú akadályokat helyeznek el a robbanáskor szétrepülő anyagok felfogására.

## 8. IPARI BALESETEK ESETTANULMÁNYAI ÉS TANULSÁGAI

Ebben a fejezetben ismert és kevésbé ismert vegyi és biológiai balesetek kerültek összefoglalásra a baleset okaival és következményeivel, újszerű megközelítésben, iparbiztonsági aspektusok szerint.

Káresemény dátuma	Káresemény helyszíne	Káresemény rövid ismertetése	Káresemény következményei
1976	Seveso, Olaszország	ipari üzemegységből <b>dioxin</b> került az üzem környezetének légtérébe	nincs azonnali emberi haláleset 3300 állat elpusztult 80 000 állatot levágtak
1984	Bhopal, India	<b>metil-izocianát</b> szivárgott egy tartályból lakott területre	3800 azonnali haláleset 15 000 – 20 000 fő az esemény utáni időszakban hunyt el 500 000 fő volt kitéve a mérgező anyagnak a további sérülések jelentős száma nem meghatározható
1984	Mexikóváros, Mexikó	robbanás történt egy petrokémiai üzemegységben (gáz-cseppfolyósító terminál)	500 halott 6400 sérült
1995	Tokió, Japán	egy terroristacsoport <b>szarin</b> gázzal (toxikus idegméreg, szerves fluorfoszfát) civil személyekre támadt a metróban	12 halott 54 súlyos sérült több ezer ember érintve volt (számos könnyű sérült)
2000	Enschede, Hollandia	robbanás egy tűzijáték- és robbanóanyag-gyártó üzemben	20 halott 562 sérült több száz lakóház megsemmisült 2000 főt evakuáltak
2001	Toulouse, Franciaország	megközelítőleg 400 tonna <b>ammónium-nitrát</b> robbant fel egy műtrágyagyártó üzemben	30 halott 2500 sérült legalább 500 otthon vált lakhatatlanná
2002	Galícia, Spanyolország	hajóbalesetet szenvedett a <i>Prestige</i> nevű tartályhajó, mely 77 000 tonna üzemanyagot szállított	a becsült helyreállítási költség 2,8 milliárd dollár

Káresemény dátuma	Káresemény helyszíne	Káresemény rövid ismertetése	Káresemény következményei
2002	Jabalpur, India	<b>peszticiddel</b> szennyezett fémédényeket konyhai eszközként használtak, ami tömeges mérgezéshez vezetett	3 halott legalább 10 fő kórházi kezelése
2003	Baton Rouge, USA	<b>klórgázaszivárgás</b> történt egy üzemből	7 sérült anyagi kár
2004	Neysabur, Irán	összeférhetetlen (egymással reagálni képes) vegyi anyagokat együtt szállítottak vasúton, és nem kívánt kémiai robbanás következett be, mely további reakciókat eredményezett	328 halálos áldozat (ideértve az elsődleges beavatkozókat és a báméskodókat) 460 sérült
2005	Songhua folyó, Kína	petrolkémiai üzemegység robbanása következtében 100 tonna szennyező anyag ( <b>benzol, anilin és nitro-benzol</b> ) került a folyóba	5 halott több millió ember ivóvízellátása napokig szünetelt
2005	Bohol, Fülöp-szigetek	véletlen mérgezés <b>inszekticiddel</b> (rovarirtó szer),	29 halott legalább 104 sérült kórházi kezelése
2005	Hemel Hempstead, Anglia	három egymást követő robbanás történt egy olajtároló egységben (Buncefield depot)	43 sérült 2000 főt evakuáltak
2006	Abidjan, Elefántcsontpart	toxikus veszélyes hulladékot illegálisan helyeztek el Abidjan város területén	10 halott több ezer fő mérgezést szenvedett
2006	Panama	<b>dietilén-glikol</b> került egy gyógyszerkészítménybe (köhögés elleni szirupba)	legalább 10 halott
2007	Angola, Afrika	<b>nátrium-bromid</b> került az étkezéshez használt konyhasóba	460 fő mérgezést szenvedett, többségük gyermek
2008	Szenegál, Afrika	nem hivatalosan üzemelő akkumulátor-feldolgozó miatt jelentős ólomszennyezés történt	rengetegen szenvedtek ólommérgezést, köztük jelentős számban gyerekek

46. táblázat Vegyi és biológiai balesetek összefoglalása az elmúlt évtizedekből, kiegészítve a következményekkel (az előző oldal folytatása; forrás: [61] alapján a szerzők által készítve)



## 8.1 VEGYI BALESET BHOPÁLBAN, INDIÁBAN

Az eset 1984. december 2-án éjszaka következett be. A meteorológiai adatok: gyenge, folyamatosan változó irányú szél. Az Union Carbide indiai gyáregysége a legnagyobb munkáltató volt az adott területen. A gyár leszerelés alatt volt, tervezték, hogy másik ország területére költöztetik. Az 1980-as évek elején éhínség sújtotta a térséget, a peszticideket fokozottabban tervezték felhasználni, annak érdekében, hogy a mezőgazdasági termelést ezzel emelni tudják. Ennek a tervnek volt fő szereplője az Union Carbide. A mezőgazdasági termelésben fő szerepet játszó gazdák eladósodottsága miatt kevesebb volt a lehetőségük a beruházásra, a növényvédő szerek viszonylag drága előállítására miatt az üzem kapacitásának mintegy ¼-e volt kihasználva. [61, 65]

1984. december 2-án 23:00 órakor a **900 000** lakosú Bhopal területén fekvő Union Carbide üzemi alkalmazottjai rendellenességet észleltek. Pontosabban szivárgásra, és a „610” jelű tartályban levő nyomásemelkedésre figyeltek fel. A metil-izocianát (IDLH 3 ppm; MAK 0,02 ppm) nagyon reaktív vegyszer, egy Sevin kereskedelmi nevű inszekticid intermediere. A metil-izocianátnak nincs ellenszere. Intermediere: a kémiai feldolgozás céljából előállított és felhasznált, vagy másik anyaggá való átalakítás miatti kémiai feldolgozás során felhasznált anyag. Az intermedierek olyan anyagok a REACH meghatározása szerint, melyek életciklusa úgy ér véget, hogy más kémiai anyagokká alakítjuk őket, köztes vagy átmeneti terméknek is nevezik.

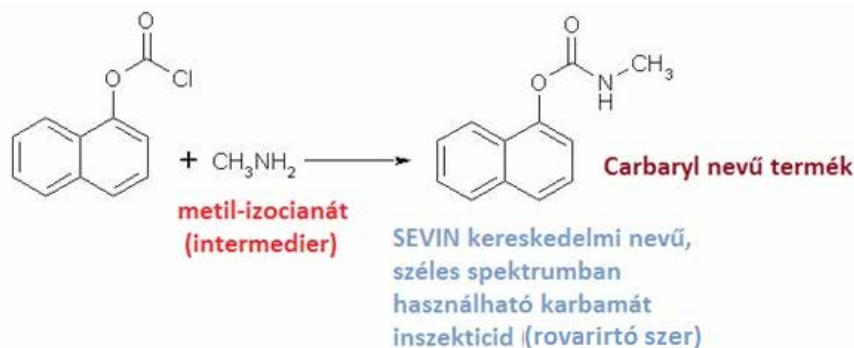
A tartályok és a csőrendszer rendszeres tisztítására vizet használtak, az adott időben egy tonna víz és 40 tonna metil-izocianát volt a rendszerben, a két anyag keveredése rendkívül heves, exoterm kémiai reakcióval végződött. A „610” jelű tartály gyors és hatékony lehűtésére nem volt lehetőség, mivel előzőleg, a hűtőrendszerben keringő közeget eltávolították az egység más részének hűtésére. Mivel a problémás tartály hűtése nem valósulhatott meg, a nyomás és hőmérséklet tovább emelkedett, a tartály szivárgása folyamatossá vált. A két biztonsági rendszert: a gázmosót, és a maradékgáz-égetőt, mely a tartályokból kilépő gáz-halmazállapotú hulladékokat volt hivatott veszélyteleníteni, néhány héttel azelőtt függetlenítették a rendszertől. [61, 65]

December 3-án hajnali 1:00 óra körül hangos morajlás visszhangzott az üzemegység körül, ez a hang a biztonsági szelep működését jelezte, ekkor áramlott ki közvetlenül a tartály tartalma az üzem közeli környezetbe. Tehát kora reggel Bhopal város levegőjébe megközelítőleg 40 tonna metil-izocianát került, a kibocsátott gázfelhőt a változó irányú szél hatalmas területre terítette szét. Megközelítőleg 3800 ember halt meg azonnal az üzem közelében. Ezt követően a helyi kórházakat hamarosan elárasztotta a több ezer sérült. Az eseményt súlyosbította az információ hiánya, a kórházi személyzet számára tisztázatlan volt, hogy milyen anyag okozta a tömeges mérgezést, és így a megfelelő kezelés elmaradt. A szakemberek szerint az üzem közelében napokig jelenlevő metil-izocianát legalább 15 000 lakos korai halálát eredményezte az esemény utáni két évtizedig bezárólag. Az indiai kormány jelentései alapján több mint félmillió ember volt kitéve a rendkívül mérgező gáz hatásának. A legnagyobb pusztítás az Union Carbide üzemegység közvetlen közelében történt, ahol nyomornegyed alakult ki az elmúlt időszakban. Ez az eset sajnálatos példa a jogi, technológiai, szervezési és emberi hibák együttes előfordulására. A baleset nem szándékos kibocsátás miatt következett be, a víz és az intermediere (metil-izocianát) rendkívül erőteljes kémiai reakciója súlyosbította a helyzetet. Az üzemegységhez előzőleg rendszeresített biztonsági rendszerek nem működtek, és semmilyen veszélyhelyzeti beavatkozás nem történt meg a kritikus pillanatokban. Az ilyen esemény megvalósulásának valószínűsége nagyobb lehet gazdasági nyomás alatt, fejlődésben levő térségeken létesült ipari területeken. [61, 65]

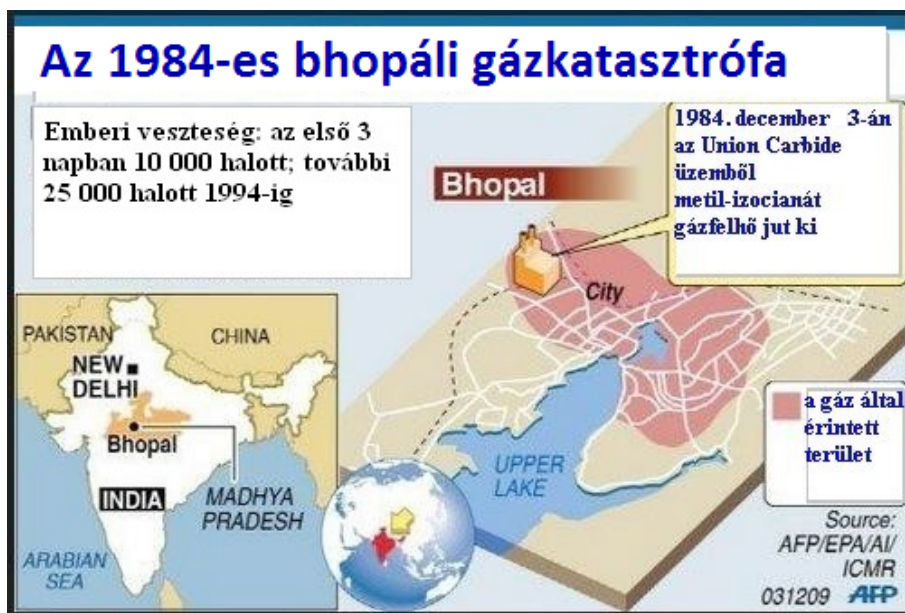
Több mint 20 évvel a katasztrófa után, az élet még mindig nem tért vissza az eredeti állapotba Bhopalban, Közép-Indiában. Sok áldozat szenved a metil-izocianát mérgezés utáni tünetektől. Legalább 5000 túlélő jár naponta kezelésre a különböző egészségügyi központokba. Az áldozatok egy részét még mindig nem kártalanították, bár az Union Carbide (amit a Dow Chemical 2001-ben megvásárolt) 470 millió dollár kártérítést már kifizetett a lakossági polgári pereket követően. Az üzemet felügyelet nélkül hagyták, 2004-ben még sok különböző tárolt vegyszer volt a helyszínen. [61, 65]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések:

- Egy jelentős vegyi balesetet követően a teljes helyreállítást nyomon kell követni, több különböző aspektusból.
- Hosszú távú környezeti monitoring szükséges, hogy egy adott veszélyes üzem expozíciója kontroll alatt legyen.



82. ábra. A metil-izocianát felhasználása a SEVIN előállításához (Forrás: a szerzők által készítve)



A metil-izocianát gáz szétterjedése az Union Carbide környékén

Metil-izocianát azonnali hatásai a test különböző részeire (0–6 hónap)		Metil-izocianát hosszú távú hatásai a test különböző részeire (évek)	
Szem	vörösség, könnyezés, fekélyek, fényérzékenység	Szem	állandó könnyezés, szaruhártya-homályosodás, krónikus kötőhártya-gyulladás
Légzés	szorongás, tüdőödéma, tüdőgyulladás, légmell	Légzés	obstruktív és restriktív légúti betegség, csökkent légzés-funkció
Gyomor	tartós hasmenés, étvágytalanság, tartós hasi fájdalom	Genetika	fokozott kromoszóma-rendellenességek
Genetika	fokozott kromoszóma-rendellenességek	Idegrendszer	csökkent munka-, és tanulási képesség
Pszichológia	neurózisok, szorongásos állapotok	Reprodukció	fokozott vetélés és csecsemő-halandóság
Idegrendszer	csökkent audio és vizuális memória, csökkent éberség, megnövekedett figyelem és válaszügy, csökkent pszichomotoros koordináció		

83. ábra. A bhopali káresettel kapcsolatos további információk (Forrás: [61, 65, 66] alapján a szerzők által készítve)

## 8.2 ROBBANÁSOK ÉS TŰZ EGY PETROLKÉMIAI ÜZEMBEN, MEXIKÓVÁROSBAN

1984. november 19-én a reggeli órákban hatalmas tűz keletkezett, majd katasztrófális robbanások következtek be a PEMEX petrolkémiai üzemében, Mexikóvárosban. Az esemény következményeként 500 ember halt meg, 6400 fő megsérült, és a terminál megsemmisült. [61]

Az üzem területén létesített tartályok a 400 km-nyire levő finomító által előállított termékkel voltak megtöltve. Két nagy gömbtartály és 48 henger alakú tárolóegység töltöttsége 90%-os volt, négy kisebb térfogatú gömbtartály 50%-osan volt megtöltve. Az egyik gömbtartályt és henger alakú tárolót összekötő 8 inches csővezeték (1 inch = 2,54 cm) megrepedt. A vezérlőhelyiségben szolgálatot teljesítő operátorok észlelték a nyomásesést, amely a hálózatban bekövetkezett, de nem tudták lokalizálni. [61]

A folyékony halmazállapotú szénhidrogéngázok elegye (továbbiakban LPG) kb. 5-10 percig áramlott ki szabadon, a törésen keresztül (a becslések alapján 200 m × 150 m × 2 m nagyságú) gázfelhő alakult ki, melyet egy fáklya begyújtott. Ez pedig erőteljes mechanikai sokkot és további tüzeket eredményezett. A munkások jó néhány különböző intézkedéssel próbálták meg a helyzetet kezelni. Az esemény egy késői szakaszában egyikük kioldotta a vészleállító gombot. [61]

Az LPG kiáramlásának kb. 15. percében BLEVE (forrásban levő folyadékból kialakuló gáz-halmazállapotú anyag robbanása) esemény történt. A következő másfél órás időszakban további BLEVE esetek, majd néhány LPG tartály heves felrobbanása következett be. Az üzem közelében levő lakóterületekről menekülő lakosság által okozott közlekedési káosz akadályozta a helyszínre érkező elsődleges beavatkozókat, és a mentőegységeket. [61]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61]:

- Vegyi veszélyhelyzet esetén pusztító lehet a robbanás és a tűz.
- A teljes petrolkémiai üzem megsemmisült, mivel alapvető biztonsági hibák voltak jellemzőek a gyárra, többek között az üzembrészek elrendezése, és a veszélyhelyzeti elszigeteltségük nem volt megfelelő.
- A terminál tűzoltó- és vízpermetrendszere sem nem lépett vészhelyzeti működésbe az esemény kezdeténél.
- Egy megfelelően telepített gázmonitoring- és veszélyhelyzeti (biztonsági irányítási) rendszer segítségével az esemény elkerülhető lett volna. Sajnálatos módon az üzem területén nem volt telepítve gázellenőrző hálózat (monitoring), ezért a veszélyhelyzet kialakulásának azonosítása túl későn következett be.
- A veszélyhelyzetekre ezen üzemre megalkotott cselekvési terv nem volt hatékony az események kezelésére.

	<p>Folyékony propánt tartalmazó tartály közelében tűz keletkezik, mely hatást gyakorol a tartályban uralkodó fizikai-kémiai paraméterekre.</p>
	<p>Ahogy a hőmérséklet növekszik a tank belsejében, úgy a nyomás is megemelkedik. A folyadék egy idő után forni kezd.</p>
	<p>Ahogy emelkedik a nyomás, a biztonsági szelep kinyit, és gázhalmazállapotban felszabadul a propán, ami nehezebb, mint a levegő, majd szétterül a levegőben, illetve keveredik.</p>
	<p>Az előzőleg kiszabadult gáz-halmazállapotú szénhidrogén levegővel alkotott elegye a nyílt láng közelébe kerül és begyullad.</p>
	<p>A biztonsági szelepen kiáramló gáz begyullad, mely további hőszokkot eredményez a tartályon, a maradék folyadék is elpárolog.</p>
	<p>A tartályt érő hőterhelés és nyomásemelkedés következtében a tartály megreped, és a felszabaduló gáz meggyullad. Ez a BLEVE jelensége (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).</p>

47. táblázat. A BLEVE jelenség magyarázata egy propántartály esetében  
(Forrás: [67] alapján a szerzők által készítve)

### 8.3 ISMERETLEN EREDETŰ JÁRVÁNY KITÖRÉSE ANGOLÁBAN, AFRIKÁBAN

2007 októberében ismeretlen eredetű betegség jelent meg Luanda közelében (Angola). 2007 decemberéig 458 esetet rögzítettek a hatóságok. Az incidens elején fertőző betegség tüneteit feltételezték az egészségügyi szakemberek, például fáradtság, homályos látás, szédülés, gyengeség, beszédbeli és mozgással kapcsolatos nehézségek.

Az angolai Egészségügyi Minisztérium (MINSA) kérésére az Egészségügyi Világszervezet szakmai-technikai segítséget nyújtott a járvány azonosításában. Többek között klinikai, beleértve a neurológiai vizsgálatokat; a megfigyelés (az eset értelmezésének kidolgozása); (toxikológiai) az emberi és a környezeti minták elemzése; és kontrollminták vizsgálata, az expozíció kimutatása. Az alapos toxikológiai vizsgálatok nagyon magas bromidion-koncentrációt mutattak ki a vérben (2700 mg/dm<sup>3</sup> feletti értéket). A környezeti és az ételminták konyhasót is tartalmaztak, melyeknek legalább 80%-a nátrium-bromid volt (= „kórokozó”). [61]

A kórházak és az egészségügyi intézmények a következő közegészségügyi intézkedéseket tették: ellenőrizték a „járványt”, felhívták a figyelmet a só szennyezettségére, a nátrium-bromid-mérgezés kezelésével kapcsolatos információkat közzétették.

Ez az eset megfelelően demonstrálja a kémiai biztonsági terv szükségességét egy-egy adott területen, különösen a fejlődő országokban egy új technológia bevezetésekor. Míg a fejlesztési folyamat részeként új iparágak kerülnek bevezetésre, a lakosság és a munkaerő egészségügyi veszélyeknek vannak kitéve a nem megfelelő kémiai jogszabályok és a szabályozás miatt. Az államnak figyelmet kell fordítania az egészségügyi hatások ellenőrzésére, a szabályozási hatékonyság kontrolljára, a megfelelően képzett személyzet és az infrastruktúra hiányát pótolni szükséges. [61]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61]:

- Az ismeretlen eredetű megbetegedésekről gyakran számolnak be úgy, mintha egy fertőző betegségről lenne szó (általánosságban, a világban már többször előfordult).
- Az összehangolt együttműködés a vegyi és a mikrobiológiai (epidemiológiai) szakértők között elősegíti a hatékony megoldást, idővesztés nélkül.
- Abban az esetben, ha hiányzik a szakértelem, a nemzetközi szervezetek felkérhetők arra, hogy nyújtsanak megfelelő technikai támogatást.
- Az ipari tevékenységek során ügyelni kell arra, hogy élelmiszer közelébe ne kerüljenek veszélyes vegyi anyagok.

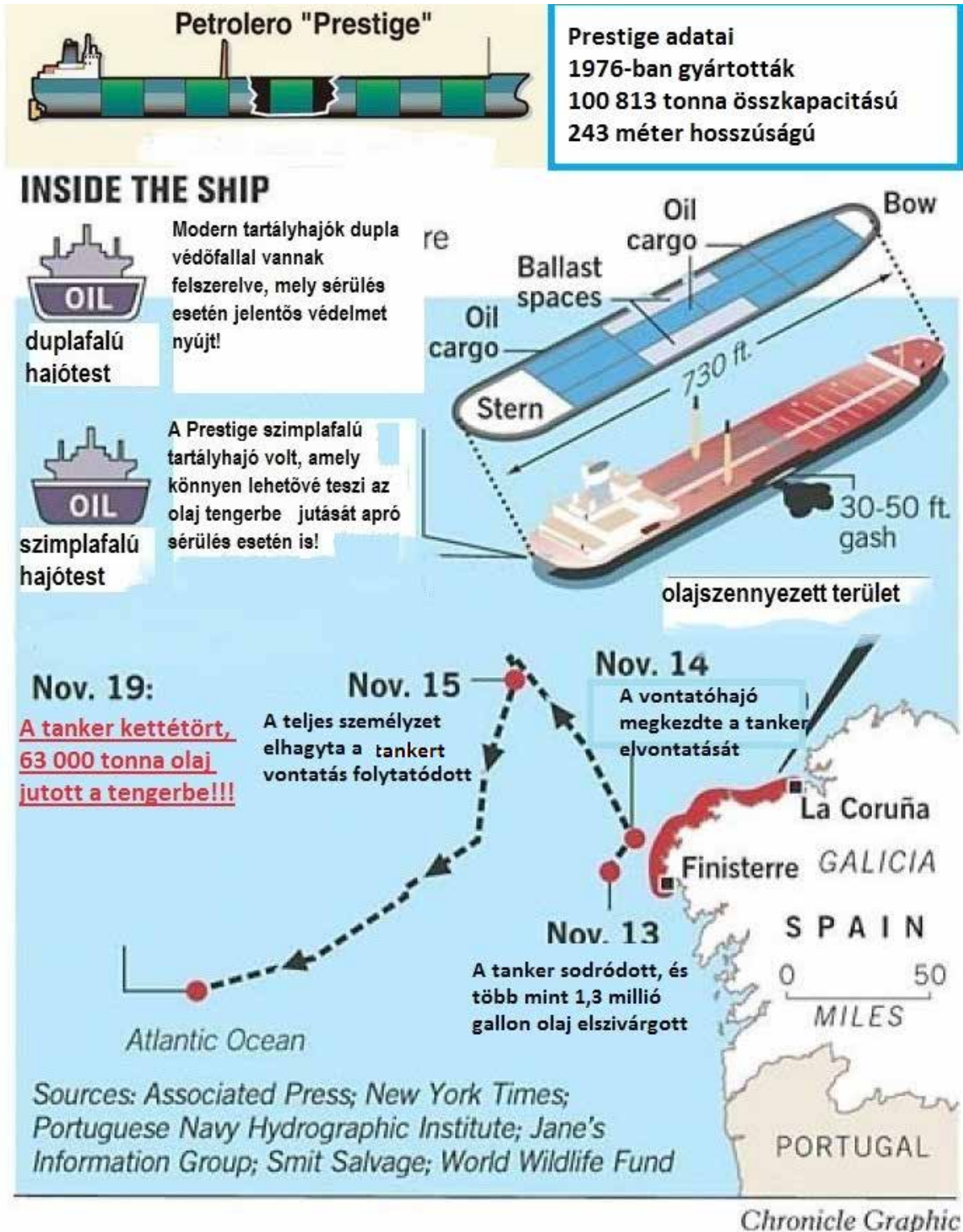
## 8.4 SZÉNHYDROGÉN-SZÁLLÍTÓ TARTÁLYHAJÓ BALESETE GALÍCIÁBAN, SPANYOLORSZÁGBAN

2002. november 13-án az *MV Prestige*, a Bahamákon bejegyzett tartályhajó, 76 972 tonna nehéz fűtőolajat szállított, egy vihar során irányíthatósága megsérült kb. 30 kilométerre Cabo Finisterre-től (Spanyolország). A hajót rossz állapota ellenére nem engedték a spanyol és a portugál kikötőkbe, hanem az Atlanti-óceán felé vontatták. 2002. november 19-én a hajó kettétört és elsüllyedt kb. 260 kilométerre Vigótól (Spanyolország). A mentést megnehezítette, hogy a hajó balesete mély vízben történt (a nyílt tengeren), az ezt követő hetekben a becslések szerint 63 000 tonna olajos szennyeződés keletkezett. Galícia partja, amely otthont ad néhány változatosabb tengeri ökoszisztémának, erősen szennyezetté vált, ennek következtében a helyi halászati ipar hosszú időre lehetetlen helyzetbe került, később a hatóságok engedélyezték a halászatot. Az olajfolt káros hatása érintette Franciaország partjait, északon a távoli Bretagne-t és Portugália vizeit is. Összességében a balesetet szenvedett *Prestige* által okozott szennyezés 1900 kilométeres partszakaszt érintett, és Spanyolország legszámottevőbb környezetvédelmi katasztrófája volt. [61]

Jelentős tisztítási-helyreállítási műveleteket végeztek a tengeri terület és a part mentén is. A helyreállítási folyamatok költsége egyedül a galíciai partszakaszon a becslések szerint 3,8 milliárd dollárt tett ki. Annak ellenére, hogy a galíciai part környékén már régóta igen jelentős volt a tengeri forgalom, a hajó balesetekor nem volt elérhető az elhárítási-készültségi terv. Ezért a kárelhárítási-tisztítási esemény több ezer, koordináció nélküli önkéntessel kezdődött el, az olaj toxicitásával kapcsolatos közegészségügyi információk közlése nélkül. A szervezettség teljes hiánya komoly bírálatot kapott az esemény utáni években. Továbbá a szakemberek szerint, amennyiben a *Prestige* számára lehetőséget biztosítottak volna, hogy kikössön, a mentési költségek jelentősen lecsökkentek volna. A hajóbaleset hatására az Európai Unió megtiltotta a nehéz fűtőolaj szimplafalú tartályban történő szállítását Európa vizein. A balesetet szenvedett hajó pénzügyi kompenzációt kapott a biztosítótól, de annak összege nem ellensúlyozta a gazdasági veszteségeket. [61]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61]:

- A veszélyes vegyi anyagokkal kapcsolatos rendeleteknek tartalmaznia kell a főbb szállítási útvonalakat.
- A kárelhárítási tervnek bármikor rendelkezésre kell állnia, a várható események hatékony kezelése érdekében.
- A környezetszennyezés gyakran vált ki spontán segítséget a helyi lakosság részéről. A környezetvédelmi és közegészségügyi szakembereknek alaposan értékelni kell a kialakult helyzetet, és a nyilvánosság tájékoztatása elsődleges kell legyen.
- A vegyi anyagok biztonságos szállításához duplafalú tartályok kialakítása szükséges.
- Szigorú ellenőrzésnek kell alávetni, hogy milyen veszélyes anyagok szállíthatók vízi úton.



84. ábra. A Prestige tartályhajó 2002-es balesetével kapcsolatos információk (Forrás: [68, 69] alapján a szerzők által szerkesztve)



## 8.5 ROBBANÁS A TOULOUSE-I MŰTRÁGYAGYÁRBAN, FRANCIAORSZÁGBAN

2001. szeptember 21-én 10:15-kor egy hatalmas robbanás következett be az AZF (AZOTE de France) gyár területén. Az ott lévő műtrágyagyár Toulouse város szélén található, Franciaországban. Harmincegy ember halt meg az esemény következtében, és körülbelül 2500-an megsebesültek. Több mint 500 lakás vált lakhatatlanná. A robbanás következtében a több kilométerre levő házak ablakai betörték. [61]

A robbanás bekövetkezésekor 200-300 tonna granulált ammónium-nitrátot tároltak a raktárban. A baleset pontos oka ismeretlen. A gyár területén jelentős mennyiségű klórt és ammóniát is tároltak, továbbá a közeli létesítményekben foszfént és puszkaport raktároztak. Szigorú biztonsági előírásoknak megfelelően tárolták a robbanóanyagokat, ennek köszönhetően az említett vegyi anyagok nem kerültek kapcsolatba az ammónium-nitráttal a káresemény során. [61]

A katasztrófaelhárítási eseményt a koordináció és a kommunikáció hiánya jellemezte. A telefonvonalakat a robbanás megrongálta, az utakon kialakult hatalmas forgalom miatt közlekedési káosz keletkezett, s ilyen feltételekkel a kitelepítés kivitelezése jelentősen megnehezedett. A térség egészségügyéért felelős szakemberek különösen az információ hiányára panaszkodtak, mely miatt a veszélyhelyzet-elhárítási tervben foglaltak megvalósítása akadályoztatva volt. A médiában megjelent ellentmondásos tájékoztatás a közvéleményt, és így a lakosságot is hátrányosan befolyásolta. [61]

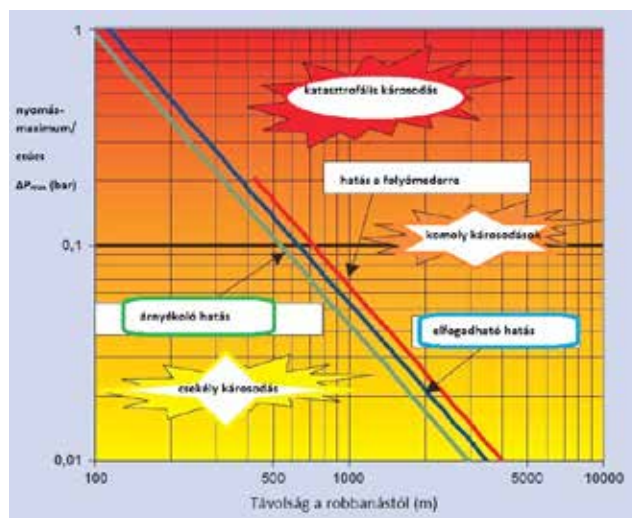
Az esemény tragikus kimenetelének eredménye, hogy megállapításra került, miszerint az ammónium-nitrát tárolása nem lehet teljesen kockázatmentes. Amikor az AZF-et magas kockázatú gyárnak minősítették, úgy tűnt, hogy az ammónium-nitráttal kapcsolatos káresemény bekövetkezésének valószínűsége elhanyagolható. Ezért az ammónium-nitrát-raktárakat nem vizsgálták egy ideig. Ezenkívül, mivel a helyi hatóságok az értékelést nem megfelelően összesítették, alábecsülték a kapcsolódó kockázatokat, s ezt csak tovább súlyosbította a közeli iparterületeken tárolt klór, ammónia és foszfén is. A káresemény ideje előtti időkben a lakott területek túl közel épültek fel az AZF-hez. [61]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61]:

- A vegyi balesetek megelőzéséhez elengedhetetlenül szükséges az egészségügyi, környezetvédelmi kockázatok megfelelő értékelése (különös tekintettel az előállítás, szállítás, felhasználás esetében). Egy országos adatbázis a megtörtént vegyi eseményekről jelentősen megkönnyítené az egészségügyi, környezetvédelmi kockázatok értékelését. Az a tapasztalat, hogy a bekövetkezett vegyi balesetek felszámolásából, elhárításából, elemzéséből sok szakmai tanulság levonható, ezáltal a beavatkozáshoz szükséges tervek optimalizálhatók.
- Kockázatelemzésnél az összes lehetséges forgatókönyvet elemezni kell, még azokat is, amelyek esetleg nem tűnnek túl valószínűk.
- A veszélyelhárítási tervnek tartalmaznia kell a lakosság tájékoztatásához szükséges nyilvános részt. Ugyanis ez az eset is bizonyítja, hogy a tájékoztatás hiánya oda vezethet, hogy a lakosság zavarhatja a katasztrófaelhárítási tevékenységet.
- A toulouse-i incidens korai szakaszában a beavatkozást nehezítette, hogy nem volt rendszerítve sürgősségi (veszélyhelyzeti) kommunikációs csatorna, és villamos hálózat. Ugyanis a káresemény a telefon- és elektromos hálózatot megbénította, ez pedig akadályozta a kommunikációt, és így az elhárítás irányítása hiányos volt.

Nyomás maximum/ csúcs $\Delta p_{max}$ (bar)	Okozott kár
0,01	néhány ablaküveg megsérül
0,02	károk keletkeznek a házak tetejein, az ablakok 10%-a megsérül
0,03	a lakások kisebb javításokat követően lakhatóak, kisebb szerkezeti károk keletkeznek
0,03–0,07	jelentősebb számú ablak megsérül, további károk keletkeznek a lakóépületek szerkezetében
0,07	az összes ablak betörik
0,07–0,15	jelentősebb javítások után az épületek lakhatóak, a tetők megsérülnek, a falak 25%-a károsodik, sérülnek a szerkezetek és az ajtók, a panelelemek, az alumínium és acél szerkezeti elemeket tartalmazó panelegységek elmozdulnak
0,16–0,20	a cementépítmények részlegesen összeomlanak, a hétköznapi lakások megsemmisülnek
0,20–0,27	az iparban alkalmazott nehézszerkezetek enyhe károsodást szenvednek, a folyadéktartályok törése, a hagyományos építkezésben alkalmazott fémszerkezetek összeomlanak
0,35	a keletkezett károk alapvetően nem javíthatók, a külső falak 50-75%-a megsérül
0,47	a vasúti kocsik felborulnak
0,50	a téglafalak törnek, a lakóépületek lebontása szükséges
0,70	az épületek 75%-a pusztul
1–2	100%-os megsemmisülés

48. táblázat. A robbanás következtében kialakuló nyomásmaximumok (más néven csúcs; közvetlenül mérhető fizikai paraméter) pusztító hatásainak összefoglalása (Forrás: [70] alapján a szerzők által készítve)



85. ábra. Becsült nyomásszintek és azok károsító hatása a toulouse-i katasztrófában a távolság és a domborzati viszonyok figyelembevételével (Forrás: [70] alapján a szerzők által szerkesztve)

## 8.6 EGYÜTT SZÁLLÍTOTT, ÖSSZEFÉRHETETLEN VEGYI ANYAGOK MIATTI VONATROBBANÁS NEYSHABURBAN, IRÁNBAN

2004. február 18-án a kora reggeli órákban, az 51 vagonból álló és a különböző veszélyes tulajdonságú vegyszereket tartalmazó vasúti szállítószerelvény lecsatlakozódott a motorkocsiról, és visszafelé kezdett gurulni, majd kisiklott a következő állomás közelében. A kemikáliák szivárogtak, keveredtek és reagáltak egymással, majd tűz keletkezett. A helyi, elsődleges beavatkozók azonnal megkezdték a veszély elhárítását, és néhány órán belül közel voltak a helyzet megoldásához. [61]

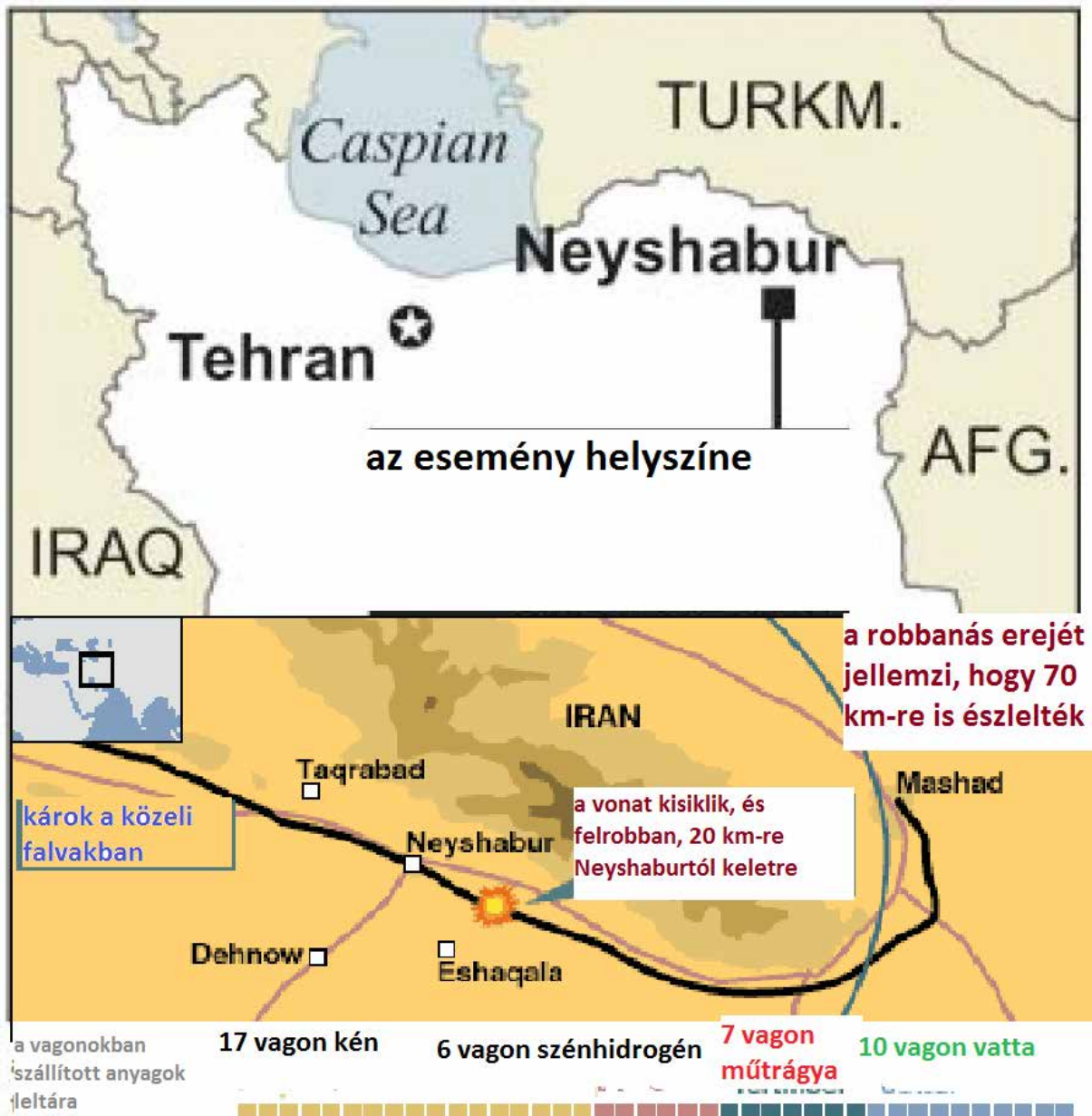
Amikor a beavatkozó egységek megpróbálták eloltani a tüzet, nagy erejű robbanás következett be, aminek sajnálatos következménye a számos áldozat és a súlyos károk. A hatalmas robbanás a baleset 70 km-es körzetében érezhető volt. A robbanás több száz emberéletet követelt, ebből sokan a helyi tűzoltók, önkéntesek és a báméskodók voltak.

A kisiklott kocsik számos vegyi anyagot tartalmaztak, beleértve 17 vagonként (tűzveszélyes szilárd), hat tankocsi benzint (fokozottan tűzveszélyes folyadék), hét vagon műtrágyát (ami felrobbant, amikor összekeveredett éghető folyadékkal), és 10 vagon vattát. A robbanás bekövetkezése az összeférhetetlen vegyi anyagok egymásra hatásának volt tulajdonítható, ugyanis nem kívánt kémiai folyamatok játszódtak le, és még tovább nehezítették a helyzetet a kialakuló tüzek.

Az eset végkimenetelének súlyosságát fokozta, hogy az elsődleges beavatkozóknak nem volt tudomása az égő vasúti szerelvények veszélyes szállítmányáról. [61]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések:

- A veszélyes vegyületet szállító vasúti szerelvények (és egyéb úton történő) tartalmáról szóló információ elhelyezése, megjelenítése az ENSZ által már szabályozott témakör. Ez a GHS (Globally Harmonized System), vagyis Globálisan Harmonizált Rendszer, a vegyi anyagok osztályozása, címkézése.
- Az ismertetett balesetek elkerülése érdekében a veszélyes anyagok szállításának nemzetközi szabályozása és ennek folyamatos fejlesztése szükséges a tapasztalatok alapján.



86. ábra. A 2004-es iráni káresemény vázlatja (Forrás: [71, 72] alapján a szerzők által szerkesztve)

## 8.7 VEGYI FEGYVER (HARCÁSZATI ANYAG) SZÁNDÉKOS FELHASZNÁLÁSA TOKIÓBAN, JAPÁNBAN

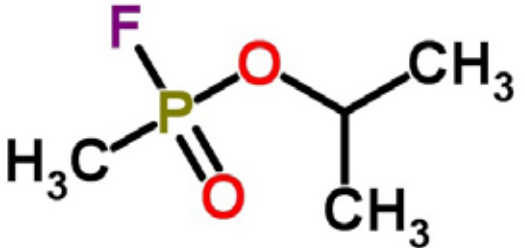
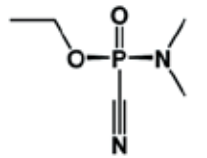
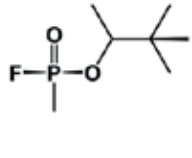
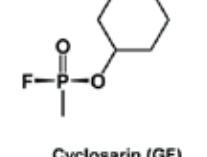
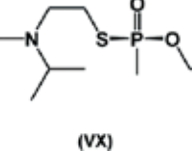
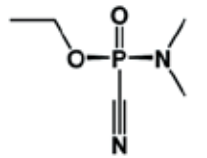
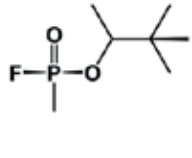
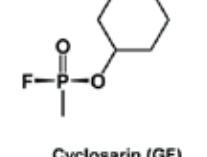
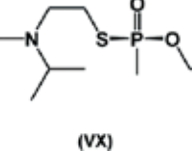
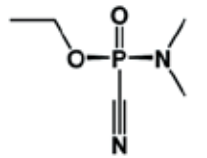
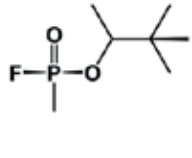
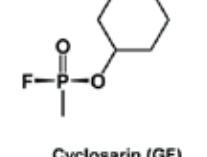
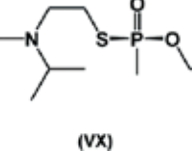
1995. március 20-án az Aum Shinrikyo vallási csoport (később terroristaszervezetnek nyilvánították) tagjai idegázt juttattak Tokió metrórendszerébe, cél az állam megfélemlítése volt, a nagyszámú áldozaton keresztül. A vallási csoport tagjai az egyik tokiói állomáson egy szerelvény öt kocsjára szálltak fel, majd a szarinnal töltött műanyag zacskókat kilyukasztották. A támadásnak 13 (egyes források szerint 12) halottja, 54 életveszélyes sérültje volt, és több ezer utas érintkezett a veszélyes anyaggal. [61]

A sürgősségi beavatkozást itt is nehezítette az információ hiánya, miszerint szándékos veszélyesanyag-felhasználás történt a metróállomáson. Bár a hírszerzési és biztonsági szolgálatok észlelték, hogy lehetséges egy mérgező vegyi anyaggal való terrortámadás, mégsem értesítették a sürgősségi beavatkozókat. Ezért az elsődleges beavatkozók (többek között az egészségügyi szolgálatok) nem voltak informálva a sérülések okairól, és a lakosság veszélyeztettségéről. Ebből kifolyólag a kezdeti erőfeszítések, a kárelhárítás hatékonysága nem volt optimális, ugyanis a kárterület mentesítéséhez szükséges információ nem állt rendelkezésre. [61, 73, 74, 75]

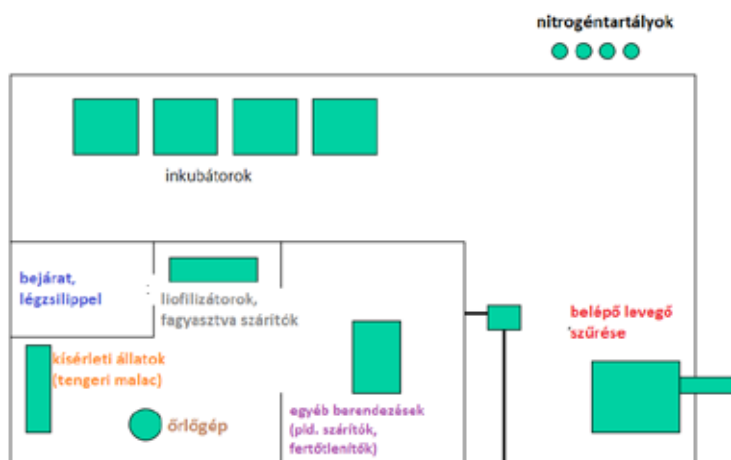
A hatóságok a támadás után 3 órával azonosították a felhasznált veszélyes komponenst, de az adatokat nem osztották meg a lehető leghamarabb a kórházakkal, mert nem került megállapításra a veszélyhelyzet. A helyzetet könnyítette az a tény, hogy a csoport néhány hónappal azelőtt már végrehajtott egy hasonló kísérletet. Ennek köszönhetően az egészségügyi szolgálatok és a biztonsági szervek tisztában voltak a szarin hatásaival, így viszonylag rövid idő alatt voltak képesek reagálni. [61, 73, 74, 75]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61]:

- A jó kommunikáció a biztonsági és az egészségügyi egységek között elengedhetetlen egy adott veszélyhelyzet hatékony megoldása során.
- A vegyi balesetekkel kapcsolatos veszélyelhárítási tervekben egyértelműen meg kell határozni a közegészségügyi hatóságok és más szervezetek közötti kommunikációt, mint például a kórházak és az elsődleges beavatkozók között. Veszélyhelyzetre akár több nem hagyományos kommunikációs (biztonsági, veszélyhelyzeti) csatornát is szükséges létesíteni.
- Gyakori és rendszeres képzés (elméleti és gyakorlati) szükséges a hatóságok és az elsődleges beavatkozók részére, több különböző forgatókönyv alapján, amikor is vegyi anyagokkal kapcsolatos esemény veszélyhelyzeti elhárítása kerül megvalósításra.

 <p>a szarin szerkezete GB jelű harci anyag (idegméreg) propán-2-il-metilfoszfonofluoridát</p>	<p>nagyon illékony színtelen, folyékony halmazállapotú, elpárolgó rész is színtelen rendkívül mérgező; letális dózis 0,01 mg/testtömeg kg. Rendkívül aktív kolinészteráz gátló hatású. (EPA, 1998) 1,7 g egy 70 kg-os embert elpusztít bőrön keresztül 1-2 perc alatt belélegezve 15 perc alatt halálos (100 mg/m<sup>3</sup> perc) leggyakrabban alkalmazott ellenszere: atropin, diazepám, lorazepám, midazolám 1938-ban szintetizálták először</p>				
<p>elsődleges hatásai, tünetek (hasonló tünetei vannak a többi idegméregnek is)</p> <table border="1" data-bbox="199 824 726 1243"> <tr> <td data-bbox="199 824 470 1041">  <p>Tabun (GA)</p> </td> <td data-bbox="470 824 726 1041">  <p>Soman (GD)</p> </td> </tr> <tr> <td data-bbox="199 1041 470 1243">  <p>Cyclosarin (GF)</p> </td> <td data-bbox="470 1041 726 1243">  <p>(VX)</p> </td> </tr> </table> <p>tipikus idegméreg (katonai alkalmazás)</p>	 <p>Tabun (GA)</p>	 <p>Soman (GD)</p>	 <p>Cyclosarin (GF)</p>	 <p>(VX)</p>	<p>kitágult pupillák fejfájás nyáladás orrfolyás hányinger hányás szorító érzés a mellkasban szorongás zavartság rémálmok gyengeség remegés vagy rángatózás akaratlan székletürítés vagy vizezés hasi görcsök hasmenés</p>
 <p>Tabun (GA)</p>	 <p>Soman (GD)</p>				
 <p>Cyclosarin (GF)</p>	 <p>(VX)</p>				

87. ábra. A szarinnal kapcsolatos információk összefoglalása  
(Forrás: [73, 74, 75] alapján a szerzők által készítve)



88. ábra. Aum Shinrikyo feltételezett biológiai laboratóriuma Kamikuishiki városban (1990)  
(Forrás: [76] alapján a szerzők által szerkesztve)

## 8.8 IVÓVÍZ-SZENNYEZŐDÉS VEGYI ÜZEMBEN TÖRTÉNT ROBBANÁST KÖVETŐEN A SONGHUA FOLYÓNÁL, KÍNÁBAN

2005. november 13-án robbanás történt a Jilin Chemical Industrial Company üzemében Jilin városban (Kína), melynek következtében öt ember elhalálozott és 100 tonna szennyező anyag (benzolt is beleértve) került a Songhua folyóba. Harbin város fő vízkivételi forrása a Songhua folyó, 3 millió fő feletti lakossággal, 380 km-re Jilin várostól. A Songhua folyó az Amur (Oroszország) mellékága, amely az Ohotszki-tengerbe (Okhotsk) folyik.

A szennyező anyagokból (benzol, nitro-benzol, anilin) létrejött réteg november 24-én érte el Harbint. Addigra a szennyező csóva már 80 km-es nagyságú volt. A város vezetése az ivóvíz-szolgáltatást négy napra leállította, ezen idő alatt a folyóban a benzol koncentrációja a határérték 33-szorosára nőtt, majd visszaállt az elfogadható szintre. [61]

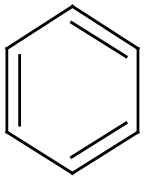
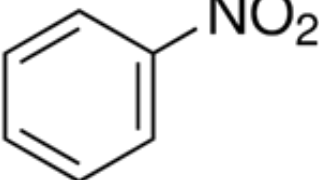
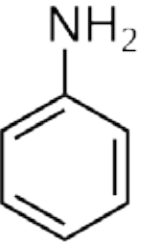
A kormányzati szervek palackozott vízzel látták el a térség lakóit, és azt tanácsolták Harbin lakosságának, hogy maradjanak távol a folyótól, mivel a folyó szennyeződésének egy része gázhalmazállapotban, a levegőn keresztül is kifejtheti káros hatását az emberi szervezetre. Ezen kívül a Kínai Állami Környezetvédelmi Hivatal (SEPA = China's State Environmental Protection Administration) úgy rendelkezett, hogy a közeli vízerőműveknek megemelt áteresztőképességgel hígítani kell a szennyeződés mértékét a folyóban, és több ponton a vízminőség ellenőrzéséhez monitoringhálózatot telepítettek a Songhua folyó mentén.

Néhány héttel a robbanást követően a folyó szennyeződése elérte Habarovszk (Khabarovsk) várost az Amur-folyó mentén Oroszországban, s addigra 150 km nagyságú volt. Bár a káreseménnyel kapcsolatos információ elég későn jutott el az orosz hatóságokhoz, azonnali hatállyal megkezdtek a palackozott víz jelentős készletének felhalmozását, és a lakosság számára 165 palackozottvíz-elosztó pontot hoztak létre. [61]

A hatalmas káresemény határon átnyúló (a Songhua folyó kínai–orosz ivóvízbázisokat érint), így nemzetközi megoldást igényelt; a legmagasabb szintű orosz és kínai kormányzati tisztségviselők érték el, hogy megfelelően hatékony együttműködés legyen a két ország szakemberei és veszélyhelyzet-elhárítói között. Egy közös kínai–orosz vízmonitoring program jött létre, és az Egyesült Nemzetek Szervezetének Környezetvédelmi Programjához tartozó szakemberei kísérték figyelemmel az eredményeket a SEPA (Kínai Állami Környezetvédelmi Hivatal) felkérésére.

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések:

- A veszélyelhárítási terv részeként a határon átnyúló katasztrófák, ipari balesetek megelőzésére, elhárítására megfelelő kommunikációs csatornákkal kell rendelkezniük a szomszédos országoknak, hogy egy adott problémát közösen, hatékonyan tudjanak kezelni.
- A nemzetközi szervezetek legyenek képesek arra, hogy megkönnyítsék a kommunikációt az egyes országok között.

<b>benzol</b>	szemet, bőrt, tüdőt irritálja rákkeltő színtelen folyadék aromás illatú a víz felszínén úszik és vízben oldhatatlan tűzveszélyes gőzei nehezebbek a levegőnél, gőzei zárt térben robbanásveszélyesek korrozív a gumitermékekre	
<b>nitro-benzol</b>	színtelen vagy sárgásbarnás, sűrű folyadék keserűmandula szagú vízben oldhatatlan gyúlékony irritálhatja a bőrt, szemet, orrot és a tüdőt égéstermékei a mérgező nitrogén-oxidok megtámadja a gumi-, és műanyag-bevonatokat	
<b>anilin</b>	színtelen, vagy világosbarna színű enyhén halszagú nagyon gyúlékony zavarja a szervezet oxigénfelvételét égés- vagy bomlástermékei a mérgező nitrogén-oxidok gőzei belélegzése, lenyelve vagy bőrrel érintkezve súlyos betegséget okozhat	

49. táblázat. A Songhua folyónál 2005-ben Kínában bekövetkezett rendkívüli szennyezés veszélyes komponenseinek jellemzése (Forrás: [77] alapján a szerzők által készítve)

## 8.9 ILLEGÁLIS HULLADÉKLERAKÓ (MÉRGEZŐ ANYAGOKKAL) ABIDJANBAN, ELEFÁNTCSONTPARTON

2006. augusztus 19-én a késő esti órákban a Probo Koala nevű hajó 500 tonna hulladékkal jelent meg Abidjan város kikötőjében, majd kirakodott.

A hírsztelések szerint a szennyezett víz tisztítására a hajó benzintartályait használta fel egy néhány héttel korábban létrehozott elefántcsontparti cég. Az éjszaka folyamán a városban több mint 20 helyszínen rakták ki a hulladékot.

Nem sokkal a hulladék kirakása után a helyi lakosságból jelentős számban különböző tüneteket kezdtek tapasztalni: orrvérzés, hányinger, fejfájás, bőr- és szemirritáció, valamint légzési problémák. A lakosság nagy száma panaszkodott egészségügyi problémákra, és a vizsgálatok kimutatták a hidrogén-szulfid, merkaptánok és nátrium-hidroxid jelenlétét, amelyeket a Probo Koala hajó hulladékai tartalmaztak. [61]

A közeli egészségügyi központokat hamarosan elárasztották a kezelésre várók. A rövid idő alatti nagyszámú beteg megjelenése rendkívüli terhet rótt a gyógyításért felelős szakemberekre. A kialakult válság következtében 2006. november 25-ére 8 halálesetet, 68 kórházi ellátást és több mint 77 000 beteg vizsgálatát adminisztrálták.



Az ENSZ és az Egészségügyi Világszervezet szakembereket küldött Abidjanba, hogy segítsenek az elefántcsontparti kormánynak a krízis megoldásában. Az eredmények értékelésében, a további kockázatok csökkentésében, a nyilvánosság hatékony tájékoztatásában és az egészségügyi ellátmány helyszínre juttatásával kapcsolatban segítették a térséget a külföldi szakemberek. Ezzel párhuzamosan francia csapatokat küldtek az országba, hogy biztosítsák, lokalizálják és megtisztítsák (hatástalanítás-mentesítés) a térséget az illegálisan elhelyezett veszélyes hulladékoktól. [61]

A rendkívüli káresemény kialakulásának fő okai: a környezetvédelmi rendeletek erélytelen végrehajtása és ellenőrzése, valamint a korrupció. A város környezetvédelmi szempontjai nem érvényesültek, az elefántcsontparti cég különösebb szakértelem nélkül kezelte a veszélyes vegyi anyagokat. A bázeli egyezmény célja, hogy megakadályozza a veszélyes hulladékok országhatárokon átnyúló átadását, különösen a fejlődő országokban.

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61]:

- A nemzetközi egyezmények, mint pl. a bázeli egyezmény végrehajtása és érvényesítése fontos lépés, hogy megakadályozzák a mérgező hulladékok elszállítását olyan országokba, amelyek nem rendelkeznek a vegyipari termékek kezeléséhez szükséges infrastruktúrával és szakmai háttérrel.
- A környezetvédelmi szabályozás és az ellenőrzés fontos eleme felismerni a potenciálisan veszélyes anyagokat és azok megfelelő kezelését.
- Amennyiben hirtelen nagyszámú megbetegedést regisztrálnak, úgy vegyi, mikrobiológiai vagy radiológiai káresemény valószínűsíthető az adott területen.
- Hatékony kommunikáció szükséges a helyi és az országos hatóságok, illetve szervezetek között ahhoz, hogy optimálisan lehessen megoldani egy-egy veszélyhelyzetet.

## 8.10 ÉLELMISZER ELSZENNYEZÉSE ROVARIRTÓ SZERREL A BOHOLSZIGETEN, A FÜLÖP-SZIGETEK KÖZELÉBEN

2005. március 9-én a reggeli, iskolai szünetben, Mabini város általános iskolásai egy utcai árustól édességet vettek (maniókaagolyót). Percekkel az evés után néhány gyerek rosszul lett, a következő tüneteket mutatták: súlyos hasi fájdalom, hányás és hasmenés. 14 gyerek (7–13 éves korosztály) a kórházba kerülés előtt belehalt a mérgezésbe. További 13 gyerek halt meg a kórházba szállításkor. Összesen 27 ember halt meg, és több mint 104 fő került kórházba, sürgősségi ellátásra. [61]

A Fülöp-szigeti Egészségügyi Minisztérium toxikológusai a Fülöp-szigeti Egyetem Toxikológiai Központjában kezdték el vizsgálni az esetet. Kezdetben azt feltételezték, hogy a manióka természetes formájában jelenlevő cianidvegyület okozta a problémát. Az áldozatok különböző tüneteket produkáltak, testükben a cianidvegyület alacsony koncentrációja volt kimutatható. A túlélők állapota az atropininjekció beadását követően gyorsan javult. Négy nappal a „járvány” kitörése után, a vizsgálatok karbamát rovarölő szer maradványát derítették fel az egyik maniókaárusnál kapható édességben. Az analitikai kémiai vizsgálatok arra a következtetésre jutottak, hogy a karbamát inszekticidet, amely egy szagtalan, fehér por, véletlenül használták fel az édesség elkészítésekor, a liszt helyett. [61]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61]:

- Minden rendelkezésre álló, alkalmas forrást (mint például a toxikológiai központok) alkalmazni kell egy járvány kitörése esetén, hogy minél gyorsabban azonosításra kerüljön a kiváltó ok.
- A betegségek kitörésekor azt a lehető leghamarabb azonosítani szükséges a hatékony kezeléséhez. Figyelembe kell venni a kórházi, egészségügyi központok adatait is.

## 8.11 TÖMEGES ENDOSZULFÁN-MÉRGEZÉS JABALPURBAN, INDIÁBAN

2002. január 14-én, egy titokzatos betegséget jelentettek Amarpurban, egy 600 lélekszámú faluban, mely Jabalpur közelében található, Indiában. [61]

A megbetegedések két gyermeknél kezdődtek, majd nemsokára már hat család tagjai szenvedtek a tünetekkel, melyek a következők voltak: hányás, szédülés, kifordult szemgolyó és kóros rángások a végtagokban, amelyet végül eszméletvesztés követett. Az ijesztő tünetek táplálták a hiedelmeket, és azt feltételezték a falu lakói, hogy gonosz szellemek szállták meg a gyerekeket. A sérültek nem kaptak orvosi ellátást, így az első héten három gyermek halt meg (3, 5 és 15 évesek). A második héten néhány megbetegedett falusi kórházba került, ahol az ellátást követően teljes javulás következett be. Amikor visszatértek otthonaikba, ismételten jelentkeztek a tünetek. A harmadik héten, 10 embert a közeli kórházba szállítottak.

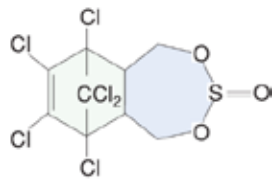
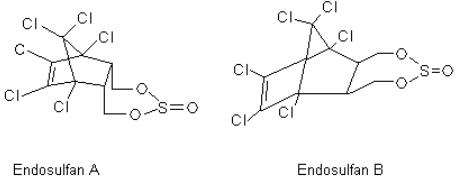
2002. február 13-án egy közegészségügyi szakemberekből álló csapatot küldtek Amarpurba. A csapat összegyűjtötte az esettel kapcsolatos összes rendelkezésre álló információt (köztük a 10 kórházban kezelt áldozat vizsgálati eredményeit). [61, 78, 79, 80]

A szakértők elemezték a betegség klinikai lefolyását és figyelmük egy növényvédő szer hatóanyagára terelődött, amelyet igen széles körben használtak fel Indiában, ez pedig az endoszulfán. A szülők hozzájárulásával, a kórházban ápolt 8 gyermektől vérmintákat vettek a teljes analízishez. Ezzel párhuzamosan élelmiszerekből is vettek néhány mintát.

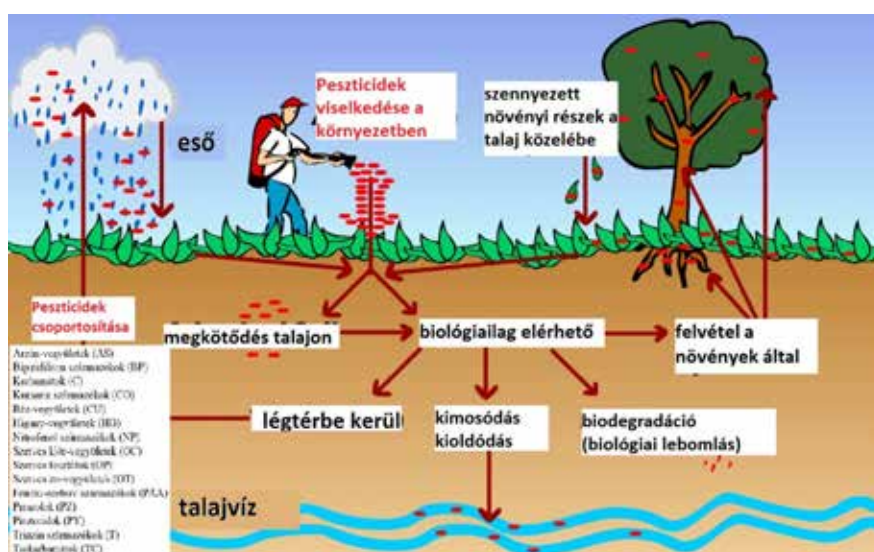
Rendkívül magas endoszulfán-koncentrációt (676 ppm) mértek a laddu (búzalisztból készült édesség) nevű ételben. A vérmintákban az endoszulfán metabolitját az endoszulfán-szulfátot azonosították nyomokban (3,98 ppb és 25,68 ppb), ily módon a mérési eredmények megerősítették, hogy endoszulfán-mérgezésről volt szó. A mérgezetek családtagjai mind mezőgazdaságban dolgoztak, és az étkezéshez használt gabonát egy közös forrásból szerezték be. Az eset tisztázásakor kiderült, hogy a falu lakói (az említett 6 család) a beszerzett gabona tárolására kiürült növényvédő szeres hordókat használtak fel. [61, 78, 79, 80]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61, 78, 79, 80]:

- A fejlődő országokban gyakran megtörténik az, hogy az analfabéta és szegénységben élő munkavállalók felhasználják bizonyos, már kidobott anyagokat és eszközöket. A növényvédő-szer-gyártó ipar megfelelő szakmai szabályozásával a véletlen mérgezések megakadályozhatók.
- Az egészségügyi központok gyakran nem rendelkeznek vegyi eredetű mérgezések diagnosztizálásához szükséges eszközökkel, ez pedig a szükséges kezelések késedelmét eredményezheti, ami a mérgezetek szempontjából életveszélyes is lehet.
- Az egészségügyi szakemberek számára fontos, hogy időben felismerjenek egy lehetséges mérgezést, így van lehetőség a szupportív (támogató, célzott) kezelés alkalmazására. Ahhoz, hogy ez megvalósuljon, folyamatos képzések szükségesek, hiszen rengeteg vegyi anyagot használunk fel, s évről évre jelennek meg újabbak.

Név	Endosulfán
<p>szerkezeti képlet</p> 	 <p>Endosulfan A                      Endosulfan B</p> <p>A és B izomer</p>
CAS szám	115-29-7
akut toxicitás	Hatása az idegrendszerre: hiperaktivitást és görcsöket okoz. Tünetek többek között: légzési elégtelenség, nyálfolyás, fejfájás, irritált szemek, émelygés, hányás, szédülés, zavartság, ingerlékenység, nyugtalanság, tájékozódási zavar, izomrángás, fokozott vagy csökkent szívfrekvencia, hasmenés, gyengeség, tudat elvesztése, veseelégtelenség.
krónikus toxicitás	neurotoxikus, genotoxikus, rákkeltő, endokrin zavarokat okoz, reprodukciós és fejlődési toxicitás, immunotoxicitás
viselkedése a környezetbe jutva	Nagyon perzisztens (sokáig változatlanul megmarad a környezetben). Mérgező a madarakra és vízi élőlényekre.
felhasználása	Széles spektrumú, szerves klórtartalmú vegyület. Rovarirtó. Használják rizs, tea, kávé, zöldség, gyümölcs, dió, és sok más növények védelmében, az atkák, tripszek, bogarak, hernyók, bogarak, mezei kabócák, és a csigák ellen.
egészségügyi hatása	A receptorokat gátolja az idegsejtekben. Módosítja az agyban a dopamin, noradrenalin és szerotonin koncentrációját.

50. táblázat. Az endosulfán tulajdonságaival kapcsolatos információk összefoglalása (Forrás: [78, 79, 80] alapján a szerzők által készítve)



89. ábra. Peszticidok viselkedése a környezetbe kerülésüket követően (Forrás: [81] alapján a szerzők által készítve)

## 8.12 TÖMEGES MÉRGEZÉS KÖHÖGÉS ELLENI SZIRUP DIETILÉN-GLIKOL-SZENNYEZÉSE MIATT, PANAMÁBAN

2006. szeptember elején meglepően sok betegnél ugyanazon szokatlan tüneteket észlelték a Panamában levő állami kórházban. Az elsődleges diagnosztizálások során egy ritka neurológiai rendellenességet, a Guillain–Barré-szindrómát állapították meg. Ez a feltételezés hamar megdőlt, amikor rövid időn belül újabb betegek érkeztek az előzőleg felsorolt tünetekkel. A kórház orvosai a fertőző betegséggel foglalkozó specialistáktól várták a megoldást. [61]

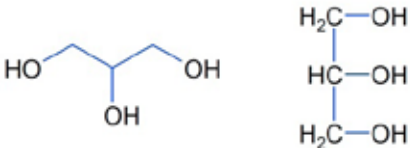
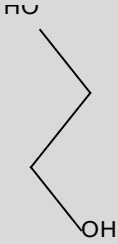

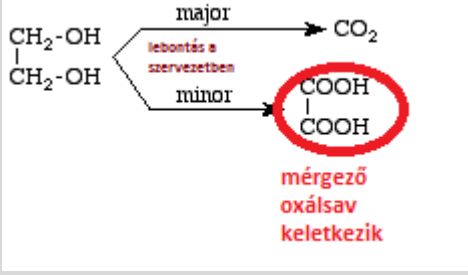
A diagnózisba bevont orvosok hamarosan arra a következtetésre jutottak, hogy egy ismeretlen eredetű betegségről van szó, és miután a halálozási arány megközelítette az 50%-ot, járványnak minősítették. A kórház szakemberei, biztonsági okokból az érintett betegeket egy nagyobb szobában helyezték el, és a személyzetet kötelezték a védőálc viselésére. A térségben további egészségügyi központokban is hasonló tünetekkel, nagyszámú megbetegedést regisztráltak. [61]

Néhány nap elteltével az orvosok figyelmét felkeltette egy további tény, miszerint az ismeretlen betegségben szenvedők mindannyian fogyasztottak egy bizonyos köhögés elleni szirupból. Amerikai szakemberek a betegségeket kezelő egészségügyi központból (Centers for Disease Control) segítettek az orvosság elemzésében. Az analízis eredménye egyértelmű volt: a köhögés elleni szirup dietilén-glikolt tartalmazott, ami egy rendkívül mérgező vegyület, a vegyiparban oldószerként, a hétköznapiakban fagyálló közegként alkalmazzák. Édes íze miatt a kémiai szerkezetében kismértékben hasonló vegyületet, a glicerint használják fel az élelmiszeriparban, a gyógyszeriparban és a kozmetikai termékek gyártásánál. A dietilén-glikol olcsóbb, mint a glicerin. A vizsgált köhögés elleni orvosság előállításánál a mérgező, olcsóbb dietilén-glikolt alkalmazták. A New York Times által feltárt információkból kiderült, hogy egy társaság 99,5%-os tisztaságú glicerint adott el, amelyet később 260 000 palack köhögés elleni szirup előállítására használtak fel. A gyógyszer gyártói nem voltak tudatában annak, hogy az eladott glicerin hamisított és szennyezett volt. [61]

Sürgősen elindult egy országos kampány megakadályozva evvel, hogy a köhögés elleni szirup további áldozatokat szedjen. Kiderült, hogy több ezer palacknyi szennyezett gyógyszer nem található, valószínűleg megvették. A halálesetek pontos száma nem ismert, mintegy 100 halálos mérgezésre derült fény.

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61]:

- Veszélyes vegyi anyagokkal kapcsolatos mérgezés viszonylag gyakran bekövetkezik, emellett sokszor szokatlan tünetek tapasztalhatók a mérgezetteken (ez pedig nehezítheti a diagnózist). A szakmai szervek és hatóságok kölcsönös tájékoztatása felgyorsíthatja az ilyen események hatékony megoldását.
- Nemzetközi együttműködés segíthet a mérgezés vagy fertőzés gyors azonosításában.
- A gyógyszerkészítményeket forgalomba hozatal előtt szigorú analitikai vizsgálatoknak kell alávetni.

<p><b>glicerin</b> <b>propán-1,2,3-triol</b></p> 	<p>Szintelen, szagtalan, viszkózus, magas forráspontú (290 °C), erősen higroszkópos, vízzel korlátlanul elegyedő, a víznél nagyobb sűrűségű folyadék. <b>Gyakran használt kozmetikaiipari, gyógyszeripari alapanyag.</b></p>
<p><b>dietilén-glikol</b> <b>etán-1,2-diol</b></p>  <p>hétköznapokban csak glikol, illetve etilén-glikol néven ismeretes</p> 	<p>A glikol színtelen, sűrűn folyó (viszkózus), édes ízű, a vízzel korlátlanul elegyedő (benzinben viszont nem oldódó) <b>mérgező</b> folyadék. A glikol kitűnő oldószer. Vízzel elegyítve fagyálló folyadékként használják gépkocsik hűtőrendszerében. Fontos vegyipari alapanyag.</p>  <p>A dietilén-glikol az emésztés során mérgező gyületté alakul (oxálsav)</p>

51. táblázat. A glicerin és a dietilén-glikol szerkezete és kémiai tulajdonságainak rövid összefoglalása (Forrás: [77] alapján a szerzők által készítve)

### 8.13 VEGYIPARI VESZÉLYES LÉTESÍTMÉNYBŐL KLÓRGÁZ KISZABADULÁSA, BATON ROUGE, EGYESÜLT ÁLLAMOK

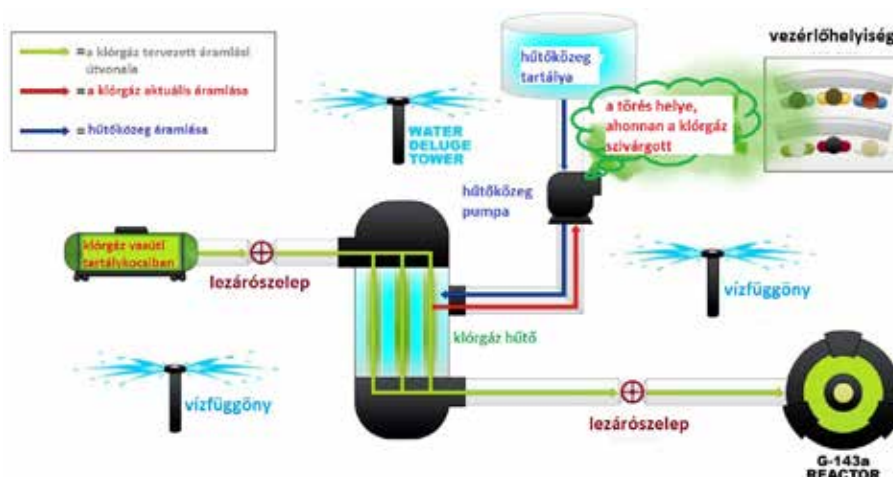
2003. július 20-án délelőtt a hűtőközeggyártó létesítmény dolgozói észlelték, hogy klórgáz szivárog a hűtőrendszerből. Emiatt az épület kiürítését azonnal megkezdték, és 15 perc alatt befejezték. 20 perc múlva az üzem szakemberei az eseményt veszélyesebbnek minősítették, és az üzemmel határos területeken lévőket is tájékoztatták az incidensről. Fél óra múlva magasabb szintűnek minősítették az eseményt, és a helyi önkormányzat hivatalnokai azt tanácsolták az üzem félmérföldes körzetében lakóknak, hogy zárkózzanak el. [61, 82, 83]

A helyi hatóságok aktiválták a riasztórendszert, megszólaltatták a szirénákat, és elindították a telefonon keresztül automatikusan tárcsázó rendszert, mely arra hivatott, hogy értesítse a lakosokat a veszélyről. A létesítmény félmérföldes körzetében lakók hallották a szirénát, de nem kapták meg az értesítést az automatizált tájékoztató telefonrendszeren keresztül. Ennek eredményeként a helyi lakosok összezavarodtak, nem voltak tisztában a veszély mértékével és a szükséges teendőkkel, óvintézkedésekkel. [61, 82, 83]

Az üzem munkásainak 3,5 órára volt szükségük ahhoz, hogy leállítsák a rendszert, mert a klór-adagolást leállító berendezés nem volt üzemképes. A hatóságok szerint mintegy 6500 kg klórgáz jutott ki a baleset során. Az incidens közelében (távol a veszélyzónától) a lakók, a kirendelt tanácsadók és az elsődleges beavatkozók erőteljes klórgázszagot éreztek. [61]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61, 82, 83]:

- A veszélyhelyzettel kapcsolatos terv tartalmazza egy esetlegesen bekövetkező vegyi balesetnél a teendőket, mint például elzárkóztatás, kiürítés, kimenekítés. A megfelelő döntésekhez különböző források állnak rendelkezésre.
- A veszélyelemzés felülvizsgálja a berendezéseket, eljárásokat, és lehetséges baleseti forgatókönyvet feltételez, többek között a nem rutinszerű helyzetekben előforduló történéseket, például hosszan tartó mérgezőanyag-kijutáskor szükséges veszély-elhárítási teendők összefoglalása, ismertetése.
- A veszélyes üzemek közelében, a lakosságot tájékoztatni kell, hogy vegyi baleset esetén mi a teendő. Az üzemi dolgozók képzésének úgy kell felépülnie, hogy egyértelmű utasításokat tartalmazzon az egyes problémák megoldására.
- Az összes kommunikációs eszköz alkalmazásának a lehetőségét fel kell mérni. Veszélyhelyzet esetén egyes kommunikációs csatornák sérülhetnek.



90. ábra. A klórgáz hűtőrendszere és meghibásodásának szemléltetése (Forrás: [82] alapján szerzők által szerkesztve)

Klórgáz koncentrációja a levegőben (ppm)	Hatása emberre
1–3	enyhe nyálkahártya-irritáció
5–15	közepes felsőlégúti irritáció
30	azonnali mellkasi fájdalom, hányás, nehézlégzés, légszomj, köhögés
40–60	toxikus tüdőgyulladás és tüdőödéma
430	30 percen belül halál
1000	perceken belül halálos sérülés

52. táblázat. A klórgáz hatása az emberi szervezetre (Forrás: [83] alapján a szerzők által készítve)

## 8.14 ROBBANÁS ÉS TŰZ EGY OLAJTÁROLÓ TELEPEN HERTFORDSHIRE-BEN, ANGLIÁBAN

2005. december 11-én reggel 6:00 óra környékén több robbanás következett be a Buncefield olajtároló (Buncefield Oil Storage Depot) üzem területén Hertfordshire-ben, Angliában. Az esemény kezdetén lezajló robbanások következtében hatalmas tűz is keletkezett, mely több napon keresztül égett, és hatalmas károkat okozott Dél-Anglia-szerte. [61, 84, 85]

Buncefield olajtároló területén bekövetkezett robbanások valószínűleg egy túltöltött tartály gőzének begyulladásával kezdődtek. A tank paramétereit mérő-jelző műszerrendszer meghibásodására vezethető vissza a túltöltés. Azonban a robbanás mértékére nem ad megfelelő magyarázatot.

A hatalmas káresemény ellenére rendkívül alacsony volt a súlyos sérültek száma. Mindössze 43 személy szenvedett kevésbé súlyos sérüléseket, és nem volt halálos áldozat. A közelben található kereskedelmi és lakóingatlanok kismértékű károkat szenvedtek. Megközelítőleg 2000 embert evakuáltak a megsérült munkahelyi és lakóépületekből, a közeli, de károkat nem szenvedett területen lévőket felszólították az elzárkózásra. [61, 84, 85]

Az eset elemzése után megállapították, hogy az elsődleges beavatkozók reagálása összességében magas színvonalú volt. 2005. december 12-én ebédidő környékére eszkalálódtak nagyobb mértékben a tüzek, ekkor 20 támogató gépjármű, 26 fecskendő és 180 tűzoltó vett részt a mentésben. [61, 84, 85]

Az elsődleges beavatkozók a kémiai veszélyhelyzetek kezelésére alkotott terv utasításai szerint jártak el, miközben a társszervek szorosan együttműködtek egymással, mint például a Környezetvédelmi Ügynökség (Environment Agency) szakembereivel is. A Környezetvédelmi Ügynökség szakemberei szakmai tanácsokkal látták el a beavatkozókat annak érdekében, hogy a szennyeződést a minimálisra csökkentsék, fokozott figyelemmel a közelben levő felszíni és felszín alatti élővizekre (és vízbázisokra). Az incidens elején az Egészségvédelmi Ügynökség (Health Protection Agency) szakértői készen álltak arra, hogy részt vegyenek a helyzet elemzésében. [61, 84, 85]

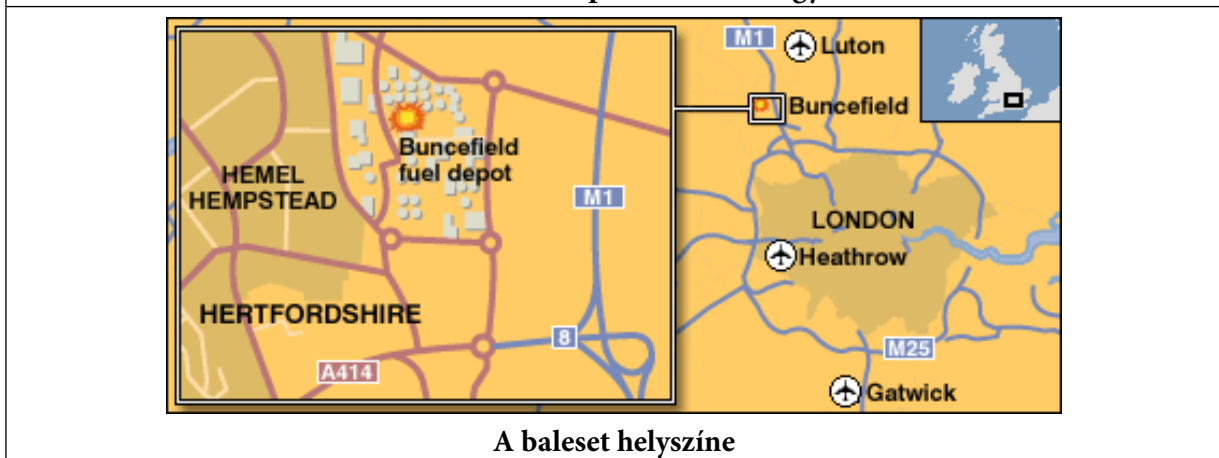
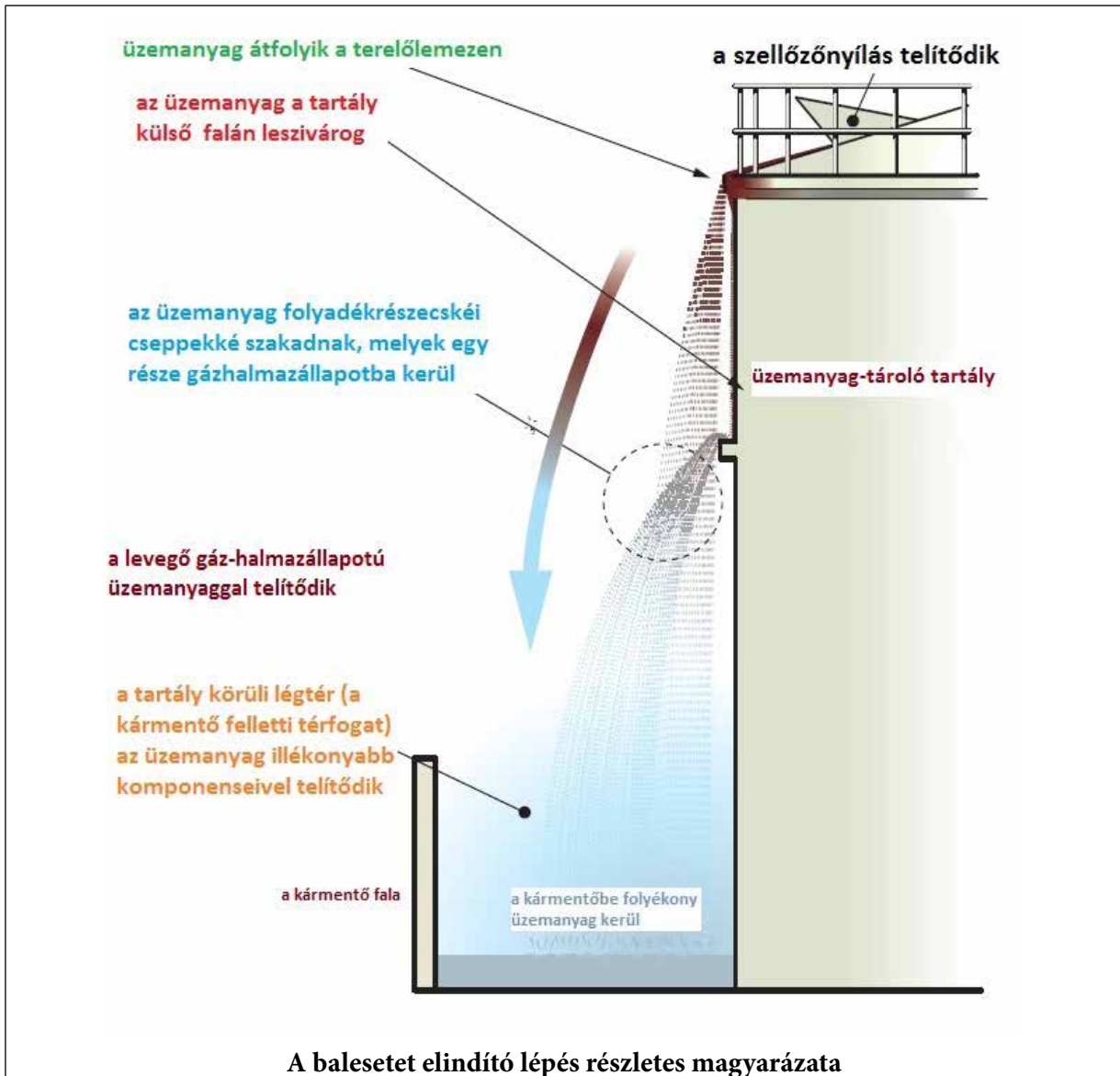
A Buncefield incidens rámutatott arra, hogy szükség van egy alkalmas, működőképes veszélyhelyzeti tervre, egy esetleges vegyi baleset egzakt megoldására, amely megfelelő szakmai tanácsokkal szolgál az elsődleges beavatkozóknak, és emellett nyilvános dokumentum (az érdeklődő lakosság részére).

Az esemény arra a problémára is rávilágított, hogy egy veszélyes üzem közelében kereskedelmi és lakóterületek lehetnek, amire rengeteg példa van a világban.

Az üzem területhasználati tervében elhanyagolták az üzemanyag-gázfelhő kialakulásának lehetőségét. Az eset rámutatott arra, hogy nagyobb figyelmet kell fordítani a lakosságot érintő kockázatra a veszélyhelyzet tervezési fázisában.

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61, 84, 85]:

- A hatékony veszélyhelyzeti tervnek tartalmaznia kell a beavatkozók közötti különböző kommunikációs csatornák ismertetését, a konkrét feladatokat az elsődleges beavatkozók számára, valamint az esemény lehetséges következményeit.
- A tervnek tartalmaznia kell a konkrét teendőket a veszélyhelyzet esetére, a dokumentumban pontosan rögzítve a feladatköröket a gyár dolgozói számára.
- Tanulság, már sokadik vegyi balesetnél megállapított kívánalom, hogy veszélyes üzemeknek nem szabadna a kereskedelmi és lakóövezet közelébe települnie.



91. ábra. A 2005-ös Buncefield incidens összefoglalása (Forrás: [84, 85] alapján szerzők által készítve)



## 8.15 VESZÉLYES ÜZEMBŐL GÁZ-HALMAZÁLLAPOTÚ, SZENNYEZŐ ANYAG (DIOXIN) KIJUTÁSA A KÖRNYEZETBE, SEVESO, OLASZORSZÁG

1976. július 10-én délután Chimiche Meda Societa Azionaria (ICMESA) vegyi üzemben szeleptörés miatt 2,3,7,8-tetraklór-p-dioxin (TCDD), közismert nevén dioxin került a levegőbe Seveso város (Olaszország) közelében. A gáz-halmazállapotú anyag 50 méter magasságig koncentrált a levegőben, és megközelítőleg 18 km<sup>2</sup>-nyi lakott területet borított be. A szakértők nem tudták pontosan meghatározni, hogy mekkora mennyiségű anyag jutott ki, de biztosak voltak abban, hogy maximum 20 kg (az üzem anyagmérlegéből lehet megállapítani a veszteségeket). [61, 86]

Az eseményt követő órákban több gyermeknél bőrgyulladásos tüneteket tapasztaltak. Az elkövetkező hónapokban pedig néhány emberen a klórakné jelentkezett, amelyről ma már köztudott, hogy a dioxinmérgezés egyik fő jellemzője.

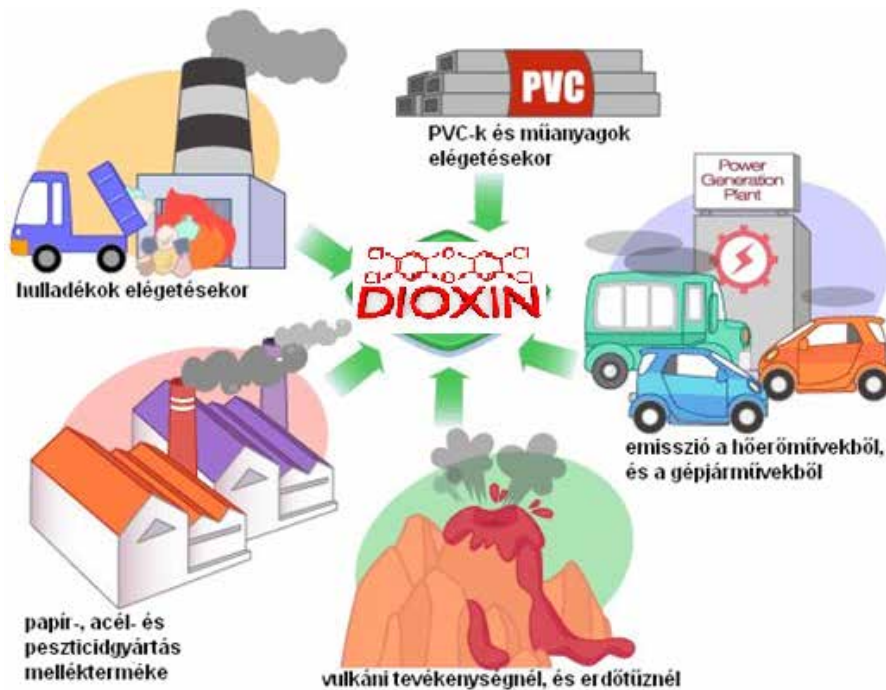
Az esemény utáni napokban 3300 állat, főleg nyúl és baromfi pusztult el a vegyi veszély miatt. Ezután csaknem 80 000 állatot semmisítettek meg azért, hogy az élelmiszerlánc lehetséges elszennyeződése miatt a dioxin emberre jutásának lehetőségét lecsökkentsék. Az eseménynek nem volt közvetlen halálos áldozata. [61, 86]

Abban az időszakban, Olaszországban az ipari balesetek kezeléséhez szükséges tervezés és jogi szabályozás még alacsony szintű volt. Ezt bizonyítja, hogy a vegyi üzem közelében élőket a dioxin-kibocsátás után csak egy héttel tájékoztatták, illetve a magas kockázati szintű területekről két-három hét múlva kezdték meg evakuálni a lakosságot. A dioxin rendkívül perzisztens tulajdonságú vegyület, vagyis sokáig marad meg változatlanul a környezetben, emiatt sokáig tudja kifejteni káros hatását.

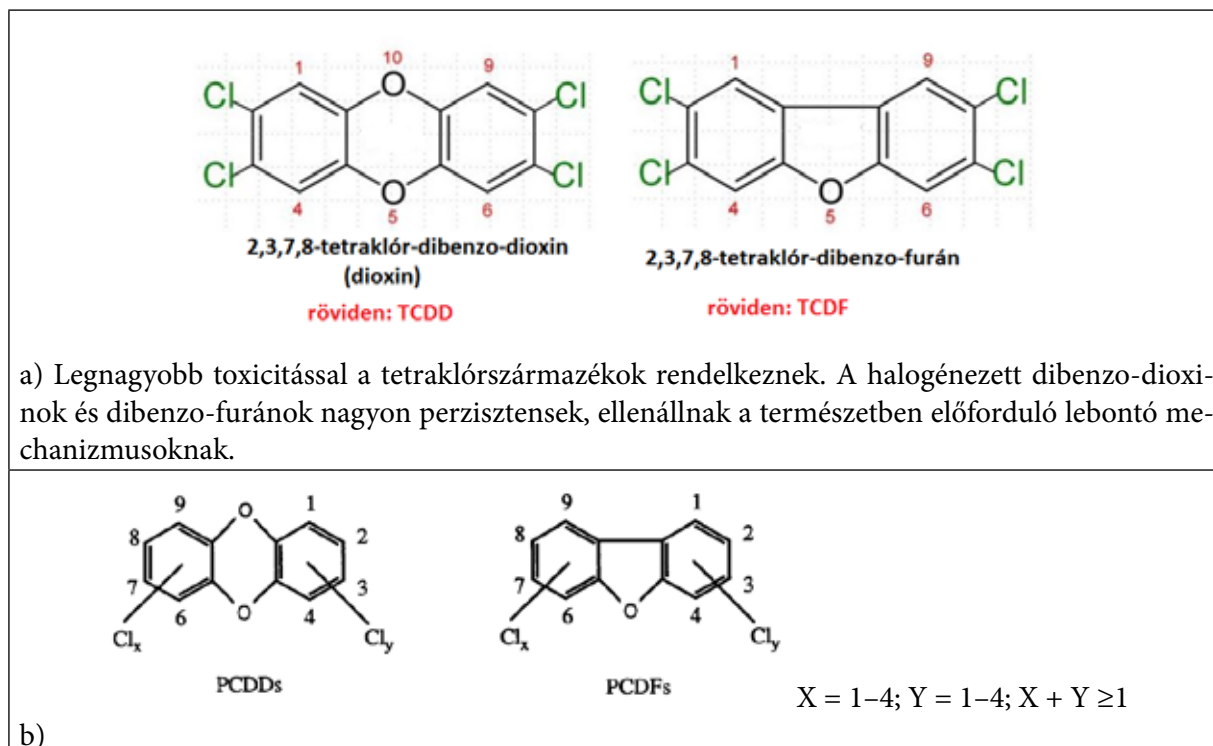
Ennek az eseménynek a következménye, hogy az Európai Bizottság iparbiztonsággal kapcsolatos szabályozást fogadott el, mely Seveso I. néven került a köztudatba 1982-ben. Az irányelvet azóta is folyamatosan aktualizálják, jelenleg a Seveso III. van érvényben. E szabályozás, a lakosság és a környezet védelme érdekében előírja a veszélyes létesítmények biztonságos üzemeltetéséhez szükséges intézkedéseket, mind az ipar, mind pedig a hatóságok számára. [61, 86]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések:

- A perzisztens szennyező anyagok által okozott krónikus és idült megbetegedések (mint pl. a rák) hosszú távú egészségügyi hatásait szükséges értékelni és elemezni.
- Az elhárításért felelős terveknek pontosan tartalmazniuk kell a tájékoztatással kapcsolatos feladatokat a nyilvánosság informálásával kapcsolatban. Továbbá a lakosságvédelemmel együtt járó módszereknek is meg kell jelenniük a dokumentumokban.



92. ábra. A dioxin keletkezésének rövid összefoglalása (Forrás: [86] alapján a szerzők által szerkesztve)



93. ábra. A két legismertebb dioxin szerkezeti képlete (a), a dioxinmolekulának felépülésére vonatkozó törvényszerűségek (b); (Forrás: a szerzők által készítve)

## 8.16 ÓLOMMÉRGEZÉS SZENEGÁLBAN

2007 novembere és 2008 februárja között megmagyarázhatatlan gyermekhalálos esetek történtek az NGagne Diaw szomszédságában levő Thiaroye sur Merben, Dakarban, Szenegálban. NGagne Diaw területén akkumulátor-újrahasznosítást folytattak. A sérültek és az elhunytak vérében rendkívül magas ólomkoncentrációt mértek, esetenként 1000 µg/l. Ezért 2008 márciusában a szenegáli Környezetvédelmi Minisztérium eltávolított 300 tonna akkumulátorhulladékot és a szennyezett területen talajcserét végzett. [61, 87, 88]

2008 júniusában klinikai toxikológusokból, környezet-egészségügyi szakorvosokból és analitikusokból álló nemzetközi csoport segítette a szenegáli Egészségügyi Minisztériumot, és további egészségügyi vizsgálatokat végeztek. Orvosi ellenőrzésre, véletlenszerűen választották ki az elhunytak szüleit, testvéreit, és az analitikai vizsgálati eredmények megerősítették az ólommérgezés tényét, 363 és 6139 µg/l közötti ólomszintet mértek a családtagok vérében. A vizsgált személyek nem vettek részt az akkumulátorok újrahasznosításában. Emellett a korábban megvizsgált sérültek vérében magas volt az ólomkoncentráció, vagyis folyamatos az expozíció. További sajnálatos tényként állapították meg a szakemberek, hogy neurológiai károsodás is bekövetkezett, melyek némelyike visszafordíthatatlan. Az eredmények aggodalmat keltettek az Ngagne Diaw falu lakosságában (a lélekszám, becslések szerint 950 fő). [61, 87, 88]

A környezetvédelmi vizsgálatok megállapították, hogy a falu nagy területére kiterjedt az ólomszennyezés, amelyet az akkumulátor-újrahasznosító tevékenység eredményezett. A további felderítések leszűkítették a szennyezett térséget egy 350 × 200 m-es területre.

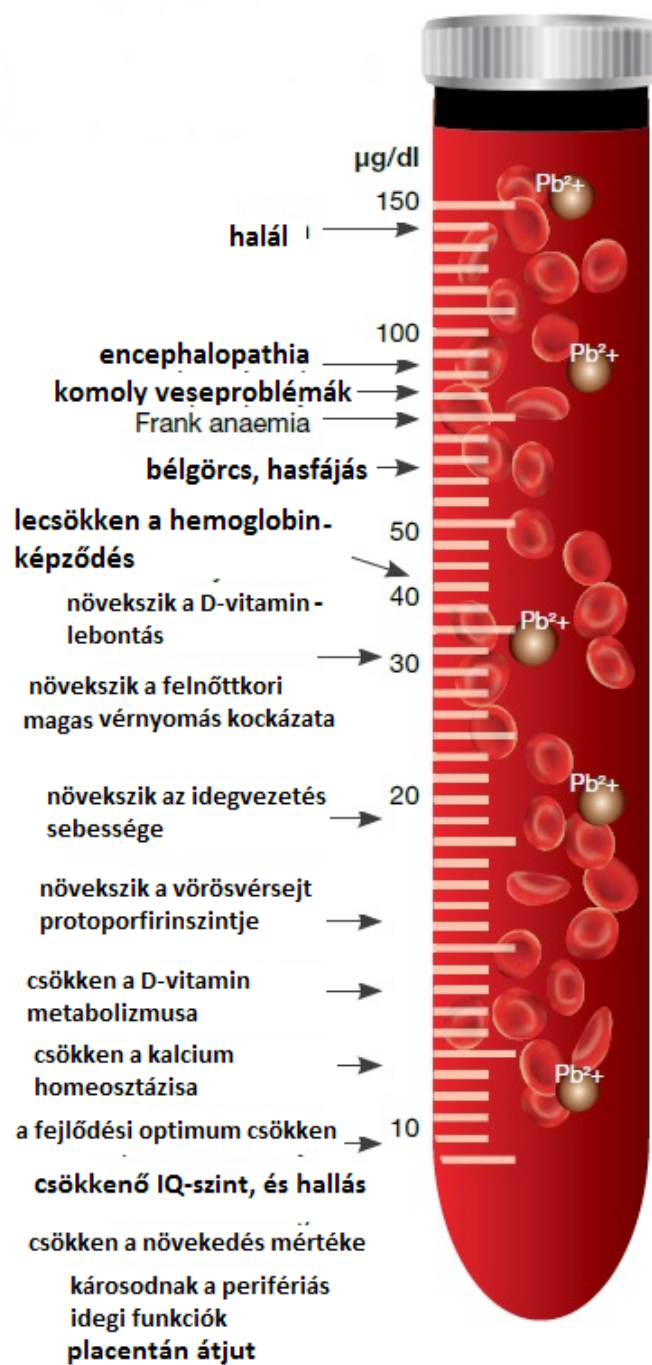
A nyomozás tisztázta, hogy a szabálytalanul üzemelő, nem hivatalos akkumulátor-újrahasznosító 1995-től működött, a mérések által beazonosított területen. Az évek során az ólomszennyezés a talajban szétterjedt. Az illegális tevékenység 2007 vége felé felerősödött, ráadásul a szennyezett területről egyéb helyekre kezdtek átszállítani az ólomalkatrészeket tartalmazó, elszennyeződött talajt további feldolgozás céljából. A gyerekeket látták játszani a szennyezett anyagokat, talajt tartalmazó eszközökkel, tárolókkal. E káreseménynél jelentős volt a környezet ólomterhelése, miközben az érintett személyek expozíciója folyamatos volt. [61, 87, 88, 89, 90]

2008 márciusában a Környezetvédelmi Minisztérium irányításával megtisztították a területet, ami átmenetileg csökkentette a környéken élők ólomterhelését. Azonban a további vizsgálatok megállapították, hogy a kezeletlen területekről az erózió és a napi, folyamatos emberi tevékenység következtében az ólomszennyezés továbbterjedt!

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61, 87, 88, 89, 90]:

- A felderített káreseményeknél az adott szennyező anyag expozícióját a lehető leghamarabb le kell állítani.
- A betegek kezelése (ólommérgezésnél) az ún. kelátterápiával megoldható, gyerekek esetében különleges kezelési módok vagy kiegészítő eljárások is szükségesek.
- Elengedhetetlen a szennyezett területen vagy annak közelében lakók szisztematikus ellenőrzése, és szükség esetén a megfelelő terápia alkalmazása a rászorulókon.
- A lakosság egészségi állapotának nyomon követése nélkülözhetetlen egy fejlődésben levő régióban, sőt ipari területek közelében.
- A WHO (az Egészségügyi Világszervezet) javaslata, hogy:
  - műszaki segítséget kell kérni a kárelhárítás hatékonyságának növelése érdekében, lecsökkentve így a további expozíciót;

- az eltávolított szennyezett talajt a nemzetközi normáknak megfelelően kell kezelni;
- a talaj és a víz analitikai vizsgálata szükséges, a nehézfém-szennyezés folyamatos monitoringja elengedhetetlen egy ilyen káreseménynél;
- meg kell vizsgálni a többi, hasonló, illegális újrafeldolgozó telepet, majd pedig kockázatelemzést alkalmazni a veszélyek azonosítására, és szükség esetén beavatkozni.



94. ábra. Az ólom különböző koncentrációja a vérben és élettani hatásai (Forrás: [87, 88] alapján a szerzők által szerkesztve)



95. ábra. Az ólom hosszú távú (idült vagy krónikus) negatív hatásai az emberi szervezetre  
(Forrás: [89, 90] alapján a szerzők által készítve)

## 8.17 ROBBANÁS EGY TÚZIJÁTÉKGYÁRBAN, ENSCHEDE, HOLLANDIA

2000. május 13-án két hatalmas robbanás következett be egy tűzijátékokat tároló raktárhelyiségben, Enschede város lakónegyedében (Hollandia). A detonációt 30 km-rel távolabb is érezni lehetett. Az incidens 22 embert ölt meg, köztük négy tűzoltót, ezenfelül 944 személy sérült meg, számos sérülés súlyos volt. Négyszáz otthon teljesen megsemmisült, további 1000 megsérült. [61]

Bár a baleset pontos oka egyelőre ismeretlen, az utólagos vizsgálatok megállapították, hogy a raktár tulajdonosa az engedélyezettől nagyobb mennyiségben tárolt tűzijátékokat, melyek egy része magasabb veszélyességi kategóriába tartozott. A biztonsági előírások betartása és ellenőrzése nem valósult meg a szükséges mértékben.

Az események mélyreható elemzésekor kiderült, hogy az újabb szabályozásokkal kapcsolatos követelmények nem valósultak meg, pl. a címkézés, a szigorúbb védőtávolságok (biztonsági távolságok). Az eset után kb. 2-3 héttel komoly közegészségügyi ellenőrzést végeztek, melynek eredményeiből számos publikáció készült. [61]

Az esettel kapcsolatos főbb következtetések [61]:

- Egy káresetet követő következetes, sokrétű ellenőrzés (közegészségügyi, környezetvédelmi) eredményes lehet a hasonló esetek megelőzésében, de tanulsággal szolgálhat nemzetközi szinten is.
- Az eredményekről tájékoztatni kell a közvéleményt.
- A vegyi baleset okait ki kell vizsgálni, hogy megakadályozható legyen az eset ismételt bekövetkezése.

## 1. MELLÉKLET – VESZÉLYES ANYAGOK FELDERÍTÉSÉNÉL HASZNÁLT KONCENTRÁCIÓK ÖSSZEFOGLALÁSA

---

Az AEGL (Acute Exposure Guideline Levels) az akut expozíciós szintet jelenti. Egy adott veszélyes anyag egyszeri kikerülésekor az anyagnak vagy gőzeinek levegőben mérhető koncentrációja.

Veszélyes anyagok kiszabadulásakor előfordulhat, hogy az emberek különböző mértékű egészségkárosodást szenvedhetnek. A vegyi veszélyeket felderítők, az elsődleges beavatkozók számára, és így a döntéstámogatáshoz az AEGL értékek optimális veszélyeztetettségi mutatók, mert érzékeny embercsoportokra (idősek, kisgyermekek, betegek) határozták meg őket, tehát szigorúbbak, mint az ERPG vagy TEEL értékek.

### **AEGL-1**

A levegőben mérhető (ppm, vagy mg/m<sup>3</sup>-ben kifejezett érték) veszélyes anyagnak a koncentrációja, amely fölött az emberre enyhe, visszafordítható hatást okoz.

### **AEGL-2**

A veszélyes anyagnak a levegőben mérhető koncentrációja (ppm, vagy mg/m<sup>3</sup>-ben kifejezett érték), amely felett nagy valószínűségű a visszafordíthatatlan vagy hosszán tartó egészségkárosodás, ezáltal a menekülési képesség csökkenése.

### **AEGL-3**

A mért veszélyes anyag e feletti koncentrációja (ppm, vagy mg/m<sup>3</sup>-ben kifejezett érték) életveszélyes egészségkárosodást vagy halált eredményezhet.

*53. táblázat. Az AEGL veszélyszintek*

Az ERPG (Emergency Response Planning Guidelines) a veszélyes anyag azon koncentrációja, amely ha 1 órán át jellemzően fennáll, akkor az egészséges emberekre (beavatkozó állomány) különféle, az egészséget negatívan befolyásoló hatással bírhat. Alkalmazására sor kerülhet abban az esetben, amikor az AEGL értékek nem elérhetőek (esetleg nem kerültek meghatározásra), és ha a veszélyes anyag kijutása nem folyamatos, hanem rövid ideig tartó. (Munkahelyi expozícióval kapcsolatos szakmai megállapításokra nem alkalmas.)

**ERPG-1**

A maximális, levegőben mérhető koncentrációja a veszélyes anyagnak, amelynek akár 1 órán keresztüli hatása sem eredményezhet visszafordíthatatlan hatást. Enyhe, átmeneti, visszafordítható egészségügyi problémák tapasztalhatók. (A szaghatás már érvényesülhet.)

**ERPG-2**

A veszélyes anyagnak az a koncentrációja, amely 1 órán át sem eredményez súlyos egészségügyi károsodást az emberre nézve. Az egyén védekezőképességét (menekülés, védelmi intézkedéssel kapcsolatos további teendők) rontja.

**ERPG-3**

A maximális, a mérgező anyagnak a levegőben mérhető koncentrációja, amelynél a lakosság 1 órás kitettsége súlyos-életveszélyes egészségügyi károsodást eredményezhet.

*54. táblázat. Az ERPG veszélyszintek*

Az IDLH érték (Immediate Dangerous to Life and Health): a veszélyes anyag koncentrációjának 30 perces időtartamát követően már jelentkeznek az egészséget érintő elváltozások, szem- és légúti irritáció, tájékozódási zavar.

Az egészségkárosító anyagok megítélésére a munkavédelemben (munkabiztonságban) a maximális munkahelyi koncentrációt (német rövidítése: MAK) alkalmazzák. A MAK érték (koncentráció) valamely veszélyes hatással jellemezhető vegyület legmagasabb megengedhető koncentrációja a munkahelyi környezetben, amely nem káros a munkavállaló egészségi állapotára akár ismételt, és hosszú távú kitettség esetén sem, abból kiindulva, hogy egy átlagos munkahét 40 órából és egy átlagos munkanap 8 órából áll. (Time Weighted Average [TWA] – napi 10 órás munkaidő esetén)

Alkalmazzák még a rövid ideig tartó üzemzavarok megítélésére jobban alkalmas Short Term Exposure Limit (STEL, maximális munkahelyi koncentráció, amely a napi munkaidő alatt nem léphető túl 15 percnél hosszabb ideig) és a Ceiling Value (CV, munkahelyi koncentráció, amelyet a napi munkaidő alatt nem ajánlatos túllépni).

A Technikai Irányadó Koncentrációt (Technische Richtkonzentration – TRK) rákkeltő és mutagén anyagoknál a MAK helyett adják meg. A rövid idejű terhelések (15 perces középértékek) nem haladhatják meg a TRK ötszörösét, műszakonként nem fordulhatnak elő ötnél többször vagy egy óránál rövidebb időközönként.

Az 1. melléklethez felhasznált irodalmak: [91, 92, 93, 94].

## 2. MELLÉKLET – GYAKRAN ELŐFORDULÓ KOMPONENSEK KÜLÖNBÖZŐ HATÁRÉRTÉKEINEK ÖSSZEFOGLALÁSA

Komponens	TLV (Threshold Limit Value) Küszöb határérték [ppm]	Szagküszöb [ppm]	IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health) [ppm]	REL Ajánlott expozíciós határérték [ppm]
acetaldehid	100	0,21	10 000	–
ecetsavanhidrid	–	81,2	1 000	–
acetone	750	100	20 000	–
akrilnitril	–	21,4	4 000	karcinogén, nincs ajánlott expozíció
ammónia	25	46,8	500	50
arzin (hidrogén-arzenid)	0,05	<1	6	karcinogén, nincs ajánlott expozíció
benzol	–	4,68	2 000	karcinogén, nincs ajánlott expozíció
bróm	0,1	0,047	10	–
szén-dioxid	5 000	–	50 000	10 000
szén-diszulfid	–	0,21	500	1
szén-monoxid	50	–	1 500	35
klór	1	0,314	30	–
fluor	1	<3	25	–
hidrogén-cianid	–	0,00027	50	–
izopropil-alkohol	400	<1	12 000	400
naftalin	10	<0,3	500	–
foszgén	0,1	1	2	0,1
toluol	100	2,14	2 000	100

55. táblázat. Gyakran előforduló komponensek különböző határértékeinek összefoglalása  
(Forrás: [95] alapján a szerzők által készítve)

TLV = küszöbérték: ppm koncentrációban kifejezi a levegőben található anyagok megengedhető adatát, amelynek az egészséges felnőtt ember normál munkakörülmények közötti kitettsége nem okoz egészségkárosodást. 8 órás munkanappal és 40 órás munkahéttel számolva.

IDLH = Mért értéke a levegőben közvetlen veszélyt jelent az egészségre vagy az emberéletre, 30 perces kitettségénél.



### 3. MELLÉKLET – VEGYI, BIOLÓGIAI ÉS RADIOLÓGIAI VESZÉLYEK FOGALMAINAK ÉS PÉLDÁINAK ÖSSZEFOGLALÁSA

A veszély típusa	A veszély definíciója	Példa az adott veszélyre
KÉMIAI veszélyek	A vegyszerek szervezetbe jutása: belégzéssel, bőrön át, vagy lenyelve. A toxikus hatás lehet akut, krónikus, illetve mind a kettő.	Vegyszerek, szilárd, folyadék, gázhalmozállapotban, szerves, szerves vegyületek
Korrózió	A maró vegyszerek az érintkezés helyén szöveti károsodást, súlyosabb esetben maradandó sérülést eredményezhetnek. A leggyakrabban a bőr, a szem és az emésztőrendszer kerülnek veszélybe.	Tömény savak, lúgok, foszfor
Irritáció	Irritáló gyulladás a szövetekben. Bőrirritáció esetén ekcéma vagy bőrgyulladás. Súlyos légzési irritáció légszomj, tüdőödéma.	Bőr: savak, lúgok, szerves oldószerek, szénhidrogének. Légzőszervi: aldehidek, alkálifémek porai, ammónia, nitrogén-dioxid, foszgén, klór, bróm, ózon.
Allergiás reakciók	Kémiai allergének (vagy érzékenyítők) bőr-, vagy légzőszervi allergiás reakciókat idézhetnek elő.	Bőr: formaldehid, fémek (pl. króm, nikkel), néhány szerves festék, terpentin, epoxigyanták. Légzőszervi: izocianátok, formaldehid, nikkel.
Fulladás	A fojtószerük úgy fejtik ki hatásukat, hogy megakadályozzák a szövetek oxigénfelvételét. Egyszerű fojtószerük az inert gázok, amelyek kiszorítják a levegő oxigénjét. Oxigénhiányos helyzet alakulhat ki a tartályokban, a hajók raktereiben, a bányákban, de munkagödörökben is (pl. földmunkák során).	Egyszerű fojtógázok: metán, etán, hidrogén, hélium. Kémiai fojtógázok: szén-monoxid, nitro-benzol, hidrogén-cianid, hidrogén-szulfid.

A veszély típusa	A veszély definíciója	Példa az adott veszélyre
Rákos megbetegedés	Az ismert (bizonyított) emberi rákkeltő anyagok, amelyek bizonyítottan rákos megbetegedést idéznek elő a szervezetben. A feltehetően (valószínűsíthetően) emberi rákkeltő anyagok, amelyek bizonyítottan rákos megbetegedést idéznek elő az állatokban, de nincs egyértelmű bizonyítása az emberi megbetegedésre. Korom és a szén, kátrány rákot okozhat.	Ismert rákkeltők: benzol (leukémia), vinil-klorid (májzsarkóma), 2-naftilamin, azbeszt (tüdőrák).  Valószínűsíthetően rákkeltők: formaldehid, szén-tetraklorid, dikromátok, berillium.
Reproduktív hatások	Olyan mérgező anyagok, amelyek az ember reproduktív és szexuális működését zavarják, károsítják.	Mangán, szén-diszulfid, az etilén-glikol monometil- és etilétere, higany.
	Fejlődési rendellenességet okozó anyagok, amelyek károsan veszélyeztetik az utódokat, pl. születési rendellenesség. A fogamzóképeség vagy a magzat károsítását előidéző anyagok, pl. vetélést vagy spontán vetélést eredményezhetnek.	Szerves higanyvegyületek, szén-monoxid, ólom, szerves oldószerek, vagy gyógyszervegyületek (pl. a betiltott thalidomide).
Általános mérgezés	Az általános mérgek káros hatást fejthetnek ki az egyes szervekre vagy szervrendszerekre.	Agy: szerves oldószerek, ólom, higany, mangán. Perifériás idegrendszer: normál-hexán, ólom, arzén, szén-diszulfid. A vérképző szerv: benzol, etilén-glikol étere. Vese: kadmium, ólom, higany, klórozott szénhidrogének. Tüdő: azbeszt, szénpor (korom).
BIOLÓGIAI veszélyek	A vírusok, baktériumok, gombák, állatokból származó fehérjék a fő ágensek. Biológiai veszélyeket lehet csoportosítani fertőzőnek és nem fertőzőnek.	
Fertőző veszélyek	A fertőzést okozó ágensek viszonylag ritkán fordulnak elő. Fő helyek, ahol e veszélyek előfordulhatnak: kórházak, laboratóriumok, mezőgazdasági tevékenységek, állatorvos, szakács, szennyvíztisztítás.	Hepatitis B, tuberkulózis, lépfene, a tetanusz, szalmonella.

A veszély típusa	A veszély definíciója	Példa az adott veszélyre
Életképes organizmusok és biogén toxinok	Életképes organizmusok a gombák, a spórák, mikotoxinok; biogén toxinok aflatoxin, baktérium. A baktériumok és a gombák anyagcseretermékei különbözőek lehetnek, és befolyásolja a hőmérséklet, a páratartalom, és a hordozóközeg.	Legionnaire betegség (legionella).
Biogén allergének	A biogén allergének közé sorolhatók a gombák, állati eredetű fehérjék. Ezek nagy része a mezőgazdasági tevékenységek során képződik, ahol is állati bőr, szőr, fehérje a közvetítő közeg (a hordozó). Ezen kívül ipari környezetben is előfordul, pl. fermentációs folyamatok, pékség, továbbá biotechnológia. Az allergiát okozó ágensek által okozott tünetek: nátha, kötőhártya-gyulladás, asztma. Akut légúti tünetek is jellemezhetik a biológiai veszélyes anyagok emberre gyakorolt káros hatását, pl. köhögés, hidegrázás, láz, fejfájás és izomfájdalom.	Foglalkozási eredetű asztma: mezőgazdasági termények okozhatják.
<b>FIZIKAI veszélyek</b>		
Zaj	Zaj okozhat kommunikációs problémákat, csökkent koncentrációt, álmoságot, halláskárosodást.	Öntödék, fafeldolgozás, textilgyárban, fémmegmunkálás.
Ionizáló sugárzás	A leggyakoribb krónikus hatás: rák (leukémia), dermatitisz, hematológiai rendszert érő károsodás (például a vérképzésben).	Atomerőművek, izotópok egészségügyi felhasználásakor, röntgen, részecskegyorsítók.
Nem ionizáló sugárzás	Nem ionizáló sugárzashoz sorolandó az ultraibolya, infravörös sugárzás, lézerek, elektromágneses terek. Az infravörös sugárzás szürkehalycot okozhat. A nagy teljesítményű lézerek a szemet és a bőrt veszélyeztethetik.	Ultraibolya sugárzás, pl. ívhegesztés. Infravörös sugárzás, pl. kemence, üvegfűvás. Lézer: kommunikáció, sebészet, építőipar.

56. táblázat. Vegyi, biológiai és radiológiai veszélyek fogalmainak és példáinak összefoglalása (Forrás: [96] alapján a szerzők által készítve)

## 4. MELLÉKLET – EPA VÉDELMI SZINTEK ISMERTETÉSE

Egy veszélyhelyzeti balesetnél a fő veszélyes komponens fizikai, kémiai, biológiai tulajdonságai határozzák meg az alkalmazott védelem szintjét.

	<b>A maximális védelem</b>	<b>B magas fokú légzésvédelem</b>	<b>C korlátozott légzésvédelem</b>	<b>D minimális védelem</b>
a védelmi fokozat fogalma	<ul style="list-style-type: none"> <li>a legmagasabb szintű légúti, bőr-, szemvédelem szükséges</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a legmagasabb szintű légúti, szemvédelem szükséges, és mérsékeltebb bőrvédelem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a légtisztító készülék (alacsonyabb védelmi fokozatú, mint a C) kritériumainak teljesülésekor lehet alkalmazni</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mint egy munkaruha, abban az esetben, ha nincs légzőszervet, vagy bőrt érintő veszély</li> </ul>
mikor alkalmazzák	<ul style="list-style-type: none"> <li>ismeretlen anyag (gáz) jelenlétekor</li> <li>ismert, és nagyon mérgező, vagy korrozív anyag</li> <li>IDLH koncentrációnál</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ismert szennyező IDLH konc. alatt</li> <li>19,5 térfogat% oxigénkonc. alatt</li> <li>adott anyag TLV értéke felett</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>19,5 térfogat% oxigénkonc. felett</li> <li>a szennyező koncentrációja az IDLH alatti, és a TLV feletti</li> <li>a veszélyes anyag bőrrel való érintkezésének esélye kicsi, vagy elhanyagolható</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>nincs légzőszervi, és bőrt érintő veszély</li> <li>a TWA koncentráció alatti érték</li> </ul>
öltözet	<ul style="list-style-type: none"> <li>teljesen zárt öltözet, mely alatt található a légzőkészülék</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zárt öltözet, mely felett található a légzőkészülék</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>zárt öltözet, mely felett található a légzőkészülék, ami egyszerűbb, mint a C fokozatnál</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ez a standard bevetési ruha, amelyet az elsődleges beavatkozók viselnek</li> </ul>
példa	<ul style="list-style-type: none"> <li>pesticidek, cianid- és arzénvegyületek</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>csökkent oxigén-koncentrációnál</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>szilárd részecskék a levegőben</li> </ul>	
előnyök	<ul style="list-style-type: none"> <li>A létező legmagasabb fokú bőr-, légúti és szemvédelem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a mozgás kevésbé korlátozott</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a mozgás kevésbé korlátozott, a rendelkezésre álló levegő mennyisége nem korlátozott</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>mindennapi viselése elfogadható, bizonyos fokú alapvédelemmel rendelkezik</li> </ul>
hátrányok	<ul style="list-style-type: none"> <li>korlátozott a felderítéskor a mozgás, a hangérzékelés, tompa a látás, folyamatos képzés szükséges, orvosi felügyelet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>folyamatos képzés szükséges, orvosi felügyelet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>folyamatos képzés szükséges, orvosi felügyelet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>sugárzás elleni védelemmel nem rendelkezik (dózi-card)</li> </ul>

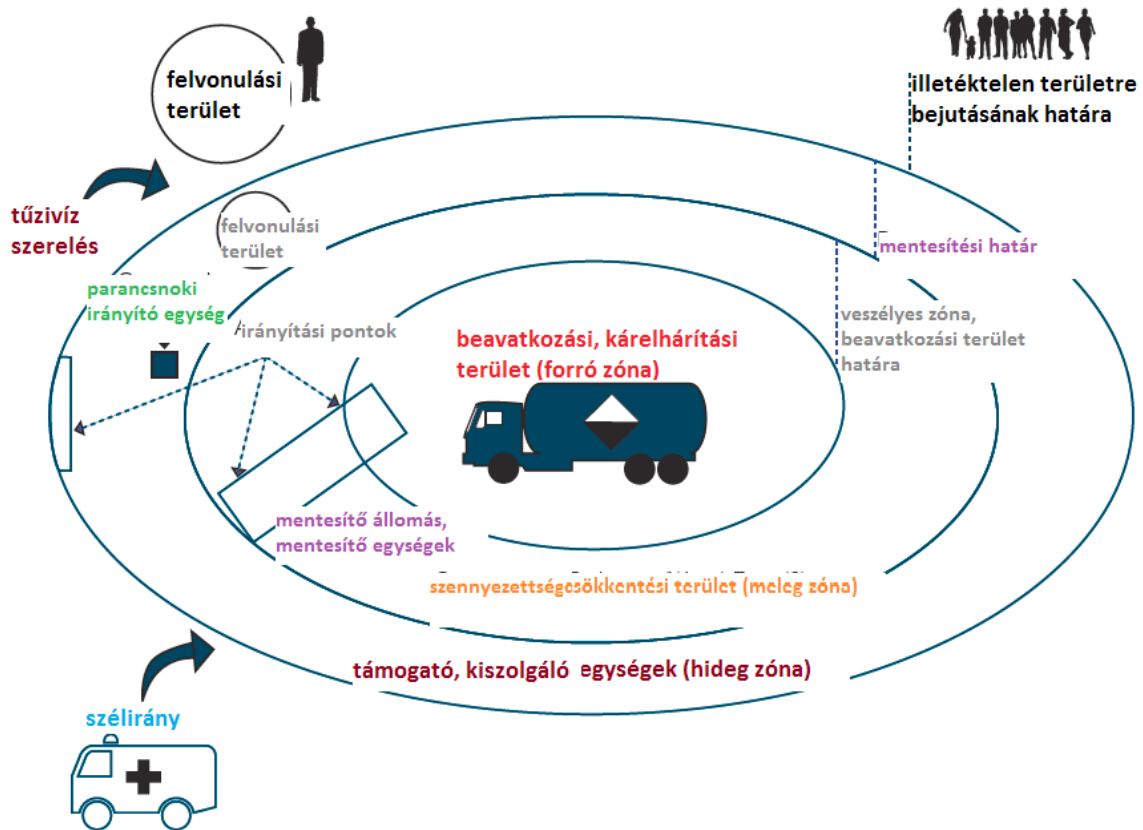
57. táblázat. Hazánkban a veszélyhelyzeti felderítéskor alkalmazott védelmi fokozatok az EPA (Amerikai Környezetvédelmi Ügynökség) előírásait veszik alapul



96. ábra. A beavatkozók védelmi szintjei, EPA ajánlás

A 4. melléklethez felhasznált irodalmak: [97, 98, 99, 100, 101, 102, 103].

## 5. MELLÉKLET – A KÁRHELYSZÍN VÁZLATA VEGYI, BIOLÓGIAI VAGY RADIOLÓGIAI FELDERÍTÉS-BEAVATKOZÁS ESETÉN



97. ábra. A kárhelyszín vázlata vegyi, biológiai vagy radiológiai felderítés-beavatkozás esetén  
(Forrás: [61] alapján a szerzők által szerkesztve)

## 6. MELLÉKLET – GYAKRABBAN ELŐFORDULÓ VESZÉLYES ANYAGOK FORRÁSAI ÉS HATÁSAI

Veszélyes gáz neve, képlete	Fő kibocsátók Példa (gyár, üzem)	Hatása az emberi szervezetre
szén-dioxid CO <sub>2</sub>	hegesztés, fermentálás, gyártás, szárazjég használata, fosszilis energiahordozóval működő erőművek  Pl. fémipar, bányászat, hőerőművek	M: az erek kitágulnak A: fejfájás, nehézlégzés, remegés, eszméletvesztés C: elhanyagolható
szén-monoxid CO	autójavítás, hegesztés, petrolkémia Pl. fémipar, bányászat, hőerőművek, közlekedés	M: oxigénhiány A: fejfájás, álmoság, eszméletvesztés
hidrogén-szulfid H <sub>2</sub> S	trágya, szennyvízcsatorna  Pl. mezőgazdaság, halászat, szennyvíz-tisztítás	M: blokkolja az oxidatív metabolizmust A: eszméletvesztés C: agyvelőbántalom
hidrogén-cianid HCN	hegesztés, galvanikus felületkezelés, speciális vegyipari eljárások, rágcsálóirtás  Pl. fémipar, vegyipar, bányászat, gázgyár	M: a légzés blokkolása A: nehézlégzés, csökkenő vérnyomás, görcsök, eszméletvesztés, halál C: agyvelőbántalom, neuropatia
dinitrogén-oxid N <sub>2</sub> O	általános anesztézia, speciális vegyipari eljárások  Pl. kórházak	M: elváltozások az idegsejt membránján, hosszú távú expozíció esetén az idegsejtek deformálódnak A: szédülés, álmoság, eszméletvesztés C: az ujjak és a lábujjak zsibbadása, csökkent koordináció

58. táblázat. Gyakran előforduló, neurotoxikus hatású gázok  
(Forrás: [104] alapján a szerzők által készítve)

M: mechanizmus; A: akut hatások; C: krónikus hatások.

Neuropathia: zavar a motoros és a szenzoros perifériás idegrostok közötti kapcsolatban.

Encephalopathia: agyi diszfunkció miatt bekövetkező általános működészavar.

Veszélyes anyag neve, képlete	Fő kibocsátók Példa (gyár, üzem)	Hatása az emberi szervezetre
ólom Pb	fémipar, bányászat, savas akkumulátor, fazekas	M: az idegsejtek oxidatív metabolizmusa csökken A: hasi fájdalom; fejfájás; encephalopathia; rohamok C: encephalopathy; polyneuropathia
higany Hg	elektrolízis, hőmérők, akkumulátor, világítástechnika, fogászat	M: idegsejtek sérülése A: tüdőgyulladás; fejfájás; beszédzavar C: ínygyulladás; étvágytalanság; encephalopathia; remegés; ingerlékenység
kalomel Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	laboratóriumokban analitikai kémiai tevékenységekhez	A: ínygyulladás; étvágytalanság; encephalopathia; remegés; ingerlékenység
szublimát HgCl <sub>2</sub>	fertőtlenítés pl. kórházak, klinikák, laboratóriumok	M: akut vesedegeneráció; nagyon mérgező C: ínygyulladás; étvágytalanság; encephalopathia; remegés; ingerlékenység
mangán Mn	öntödék, hegesztés, mangán bányászata, alumíniumtermékek gyártása, vegyipar, téglagyártás	M: nem ismert, A: Dysphoria C: Encephalopathy, köztük a Parkinson-kór; pszichózis; étvágytalanság; ingerlékenység; fejfájás; gyengeség
alumínium Al	kohászat, egyéb fémipari tevékenységek	M: ismeretlen C: esetleg encephalopathia

59. táblázat. Toxikus fémek és szervetlen vegyületek (Forrás: [104] alapján a szerzők által készítve)



<b>Veszélyes anyag neve</b>	<b>Fő kibocsátók Példa (gyár, üzem)</b>	<b>Hatása az emberi szervezetre</b>
akrilamid	a polimergyártásnál a közvetlen dolgozók, alagút és fúrási műveletek	M: az axonok működési zavara C: polyneuropathia; szédülés; tremor, ataxia
akrilnitril	laboratóriumi balesetek, kémiai szintézisek	A: fokozott ingerlékenység; nyálzás; hányás; cyanosis; ataxia; nehézlégzés
szén-diszulfid	gumi- és viszkózstermelés és a kapcsolódó iparágak	M: az axonok működési zavara C: perifériás neuropátia; encephalopathia; fejfájás; gyomor-bélrendszeri zavarok
sztírol	sztíroltartalmú gyanták, műanyagok gyártása, vegyipari üvegszálás műanyagtermelés, polimerkémia	M: ismeretlen A központi idegrendszeri depresszió; fejfájás C: polyneuropathia; encephalopathia; halláskárosodás
metil-sztírol (4-viniltoluol)	gyanta-előállítás, inszekticid-gyártás, polimerkémia	C: polyneuropathia;

60. táblázat. Toxikus monomerek összefoglalása (Forrás: [104] alapján a szerzők által készítve)

## 7. MELLÉKLET – MENTESÍTÉS

---

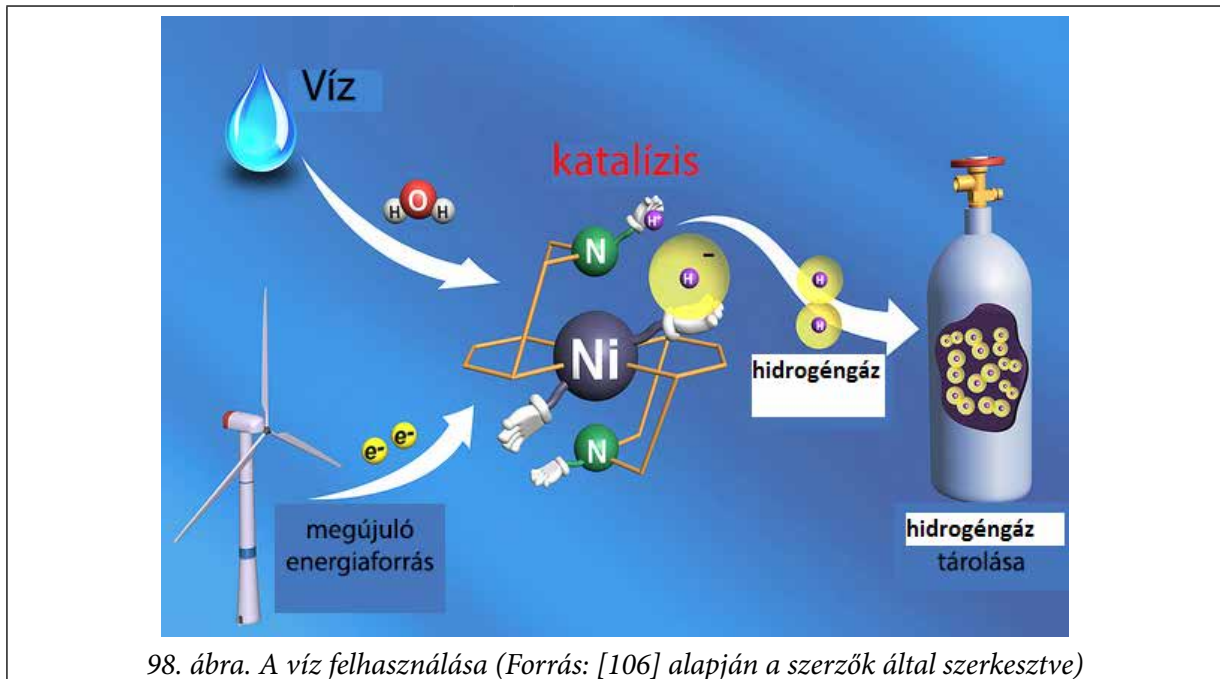
Az áldozatok és veszélyelhárításban résztvevők a kárterületen, a baleset zónájában elszennyeződhetnek. A szennyezést okozhatják vegyi anyagok, toxinok, baktériumok (anthrax), radioaktív anyagok. A mentesítés célja, hogy a lehető leghamarabb megtörténjen (a káreseményt, vagy a felderítést követően), így a veszélyes anyagok expozíciója redukálható.

vegyi expozíció	<ul style="list-style-type: none"><li>– a sérültet el kell távolítani a forrástól</li><li>– a ruha eltávolítása, a fejjel való érintkezés nélkül</li><li>– vízzel való mosás</li><li>– lehűlés ellen védeni</li></ul>
fertőző (biológiai) anyagok általi hatás	<ul style="list-style-type: none"><li>– normál esetben nincs szükség fertőtlenítésre</li><li>– anthrax és botulinum toxin kivételek, ekkor a vegyi esetről elmondottak az érvényesek</li></ul>
radioaktív izotópok	<ul style="list-style-type: none"><li>– a sérültet el kell távolítani a forrástól</li><li>– a ruha eltávolítása, a fejjel való érintkezés nélkül</li><li>– kéz és arc teljes mentesítése az expozíció minimalizálásáért</li><li>– lehűlés ellen védeni</li></ul>

61. táblázat. A mentesítés rövid összefoglalása (Forrás: [105] alapján a szerzők által készítve)

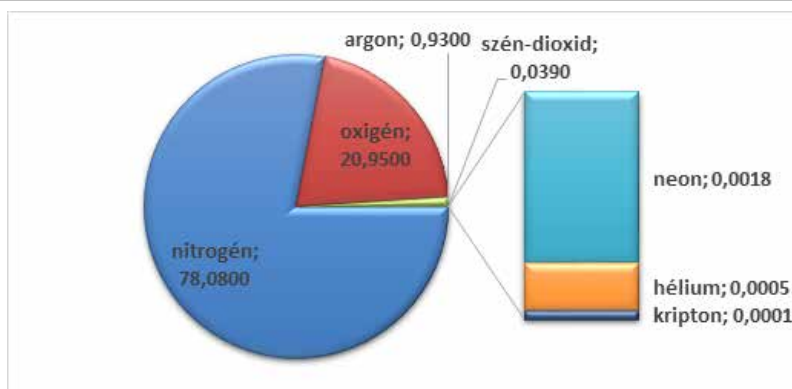
**8. MELLÉKLET – IPARI ÜZEMEKBEN ELŐFORDULÓ GÁZ-  
HALMAZÁLLAPOTÚ VESZÉLYES ANYAGOKKAL KAPCSOLATOS  
INFORMÁCIÓK ÖSSZEFOGLALÁSA**

képlet	H <sub>2</sub>
szabályos elnevezés (régies név)	hidrogén
UN szám	1049
CAS szám	1333-74-0
fizikai és kémiai tulajdonságai	<ul style="list-style-type: none"> <li>– színtelen, szagtalan gáz</li> <li>– a gáz jól keveredik a levegővel, könnyen képez robbanó elegyet</li> <li>– a gáz a levegőnél kisebb sűrűségű</li> <li>– fokozottan tűzveszélyes</li> </ul>
alsó/felső robbanási határértéke	3,8 – 75,0
veszélyes koncentrációja a levegőben	–
felhasználása az iparban	széles körű: ammóniaszintézis; üzemanyag-finomítás (kéntelenítése); szerves vegyiparnál hidrogénezés; rakéta-üzemanyagok; növényi olajok katalitikus hidrogénezése
előállítása	Víz elektrolízise; izzó szénre vízgőzt reakciójakor a keletkező keveréket vízgáznak nevezik, és a hidrogéngáz előállítására alkalmazható. Az előállításához szükséges szén viszonylag olcsón, kőszénből lehet nyerni. A hidrogén ipari előállítása $C + H_2O \rightarrow CO + H_2 \quad \Delta E > 0 \text{ kJ}$
természetes előfordulása	univerzumban csillagközi tér; kötött állapotban, a vízben
tárolása	nyomás alatt acélpalackokban
szállítása	acélpalackokban
hatása az élő szervezetre/környezetre/veszélyessége	<ul style="list-style-type: none"> <li>– a gáz jól keveredik a levegővel, könnyen képez robbanó elegyet</li> <li>– nyomás alól felszabadulva fagyási sérülés</li> <li>– ha a levegőt kiszorítja, fulladás</li> </ul>
figyelmeztető mondatok (H)	H280; H220
óvintézkedésre vonatkozó mondatok (P)	P210;P377;P381;P403



98. ábra. A víz felhasználása (Forrás: [106] alapján a szerzők által szerkesztve)

képlet	O <sub>2</sub>
szabályos elnevezés (régies név)	oxigén
UN szám	1072
CAS szám	7782-44-7
fizikai és kémiai tulajdonságai	Az oxigén színtelen, szagtalan, szobahőmérsékleten (és légköri nyomáson) gáz-halmazállapotú elem. Olvadás- és forráspontja a hidrogénénél magasabb (op: -219 °C; fp: -183 °C). Az oxigéngáz sűrűsége valamivel nagyobb a levegőénél. Elősegíti az égést, oxidáló hatású. Legfontosabb kémiai tulajdonsága, hogy az égést táplálja. Nagyon reakcióképes, így a nemfémekkel és a fémekkel is oxidokká egyesül.
alsó/felső robbanási határértéke	-
veszélyes koncentrációja a levegőben	-
felhasználása az iparban	Oxigén-acetilén hegesztés; légzéstámogatás kórházban; oxidálószer; acélgyártás; metallurgia; katalitikus és nem katalitikus oxidációs folyamatok, termikus visszanyerés; élelmiszeripar; hulladékkezelés: Különleges vagy veszélyes hulladék elégetése, ipari tüzelőberendezések; termikus krakkolás, rakéta-üzemanyag.
ipari előállítása	Levegő cseppfolyósítását követő frakcionált desztillációval.
természetes előfordulása (keletkezése)	a légkör 20,9 térfogat%-a, kötött állapotban a vízben
tárolása	nyomás alatt acélpalackokban
szállítása	acélpalackokban
hatása az élő szervezetre/környezetre/veszélyessége	75%-nál magasabb koncentrációnál a folyamatos belégzés hányingert, szédülést, légzési nehézséget és görcsöket okozhat.
figyelmeztető mondatok (H)	H280; H270;
óvintézkedésre vonatkozó mondatok (P)	P220; P244; P370+P315; P403



99. ábra. A száraz és tiszta levegő átlagos összetétele (tömegszázalékban kifejezve) a földfelszín közelében (Forrás: [107] alapján a szerzők által készítve)

képlet	O <sub>3</sub>
szabályos elnevezése (régies név)	ózon
UN szám	1955
CAS szám	10028-15-6
fizikai és kémiai tulajdonságai	színtelen, szúrós szagú gáz, nagyobb a sűrűsége a levegőnél. Az atomos állapotú oxigén leadása miatt erős oxidálószer és csíraölő hatása van.
alsó/felső robbanási határértéke	–
veszélyes koncentrációja a levegőben	0,2 mg/m <sup>3</sup> (ÁK=CK) IDLH Immediately Dangerous to Life or Health 5 ppm
felhasználása az iparban	Az ózon előállítása ozonizátorban történik, oxigénben létrehozott elektromos kisüléssel és a gázelegy ezt követő frakcionált cseppfolyósításával. Melléktermékként a víz elektrolízise során is keletkezik. Szagtalanításra és fertőtlenítésre, valamint az ivóvíz tisztítására és fehérítőszerekben alkalmazzák. Az ózon rendkívül erős oxidálószer, olyan mikroorganizmusokat is képes elpusztítani, melyek hatástalanítására a klór alkalmatlan.
ipari előállítása	Ózon keletkezik pl. kvarcoláskor, fénymásolatok készítésekor. A kipufogógázok, a nitrogén-oxidok hatására is növekszik az ózon mennyisége a földközeli légkörben.
természetes előfordulása (keletkezése)	Nagyobb koncentrációban a sztratoszférában van jelen 15–50 km-es magasságban. Megszűri a Napból érkező káros UV sugarakat, amelyek veszélyesek a tenger felszíni rétegében élő planktonokra, a növények fotoszintézisét és egyéb élettani folyamatait kedvezőtlenül befolyásolja, az embernél rákkeltő hatású, gyengíti az immunrendszert és szembetegségeket okoz.
tárolása	a helyszínen állítják elő
szállítása	a helyszínen állítják elő
hatása az élő szervezetre/környezetre, veszélyessége	nagyon mérgező/toxikus

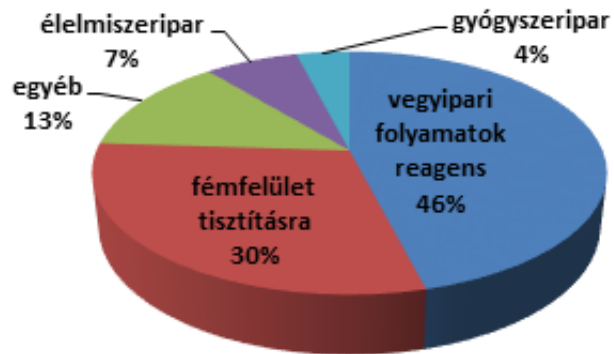
<b>ózon koncentrációja (ppm)</b>	<b>hatása az emberre</b>
<b>0,01–0,03</b>	szaglószerrel érzékelhető
<b>0,1</b>	jellegzetes szag
<b>0,2–0,5</b>	látásromlás 3–6 óra hatást követően
<b>0,5</b>	légzésfunkció romlása
<b>1–2</b>	krónikus fejfájás
<b>5–10</b>	érvizenyő és tüdővizenyő
<b>15–20</b>	2 óra expozíciót követően a környezetben élő kis- állatok elpusztulnak

*(Forrás: [108] alapján a szerzők által készítve)*

képlet	N <sub>2</sub>
szabályos elnevezés (régies név)	nitrogén
UN szám	1066
CAS szám	7727-37-9
fizikai és kémiai tulajdonságai	Színtelen, szagtalan gáz, a nitrogéngáz sűrűsége alig kisebb, mint a levegőé. Inert gáz, nagy energiabefektetéssel vihető reakcióba
alsó/felső robbanási határértéke	–
veszélyes koncentrációja a levegőben	–
felhasználása az iparban	védőgázként (élelmiszeripar, vegyipar, tűzoltástechnika), hűtőközegként, alapanyagként a nitrogénvegyületek, ammónia, salétromsav, nitrogénműtrágyák gyártása
ipari előállítása	Levegő cseppfolyósítását követő frakcionált desztillációval.
természetes előfordulása (keletkezése)	légtérben 78,08 térfogat%-ban
tárolása	nyomás alatt acélpalackokban
szállítása	acélpalackokban
hatása az élő szervezetre/környezetre, veszélyessége	nem toxikus, cseppfolyós állapotban fagyási sérülést okozhat (légtérnyomás kb. –196 °C); zárt térben kiáramolva kiszorítja a levegőt, ezzel csökkentve annak oxigéntartalmát – fulladást okozhat, amely észrevétlenül következik be
figyelmeztető mondatok (H)	H280
óvintézkedésre vonatkozó mondatok (P)	P403
<p>100. ábra. A nitrogénpalack régi (2007 előtt) és új jelölése (Forrás: [109] alapján a szerzők által készítve)</p>	<p>101. ábra. A Dewar-edények duplafalú, vákuumszigetelt eszközök, melyek elsősorban cseppfolyósított, mélyhőmérsékletű gázok (pl. nitrogén) tárolására és szállítására szolgálnak.</p>
<p>(Forrás: [110] alapján a szerzők által készítve)</p>	

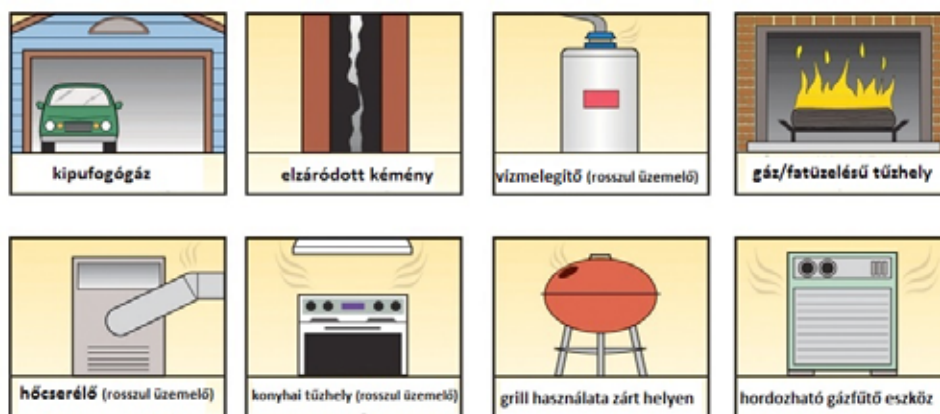


képlet	HCl
szabályos elnevezés (régies név)	hidrogén-klorid gáz (klórhidrogén; sósavgáz)
UN szám	1050
CAS szám	7647-01-0
fizikai és kémiai tulajdonságai	Szintelen, szúrós szagú gáz, nehezebb a levegőnél, vízben jól oldódik. Vizes oldata a sósav (a tömény cc.sósav 38 tömeg%-os, füstölő folyadék). A háztartási sósav 20 tömegszázalékos. Hígítva is alkalmas arra, hogy a kivált vízkövet feloldja. Az oldás során gázfejlődés (széndioxid) figyelhető meg. A vizes oldat erős sav, hevesen reagál bázisokkal és korrozív hatású. Hevesen reagál oxidálószerekkel, mérgező gázt (klór) képezve. Sok fém megtámad víz jelenlétében gyúlékony/robbanó gázt képezve (hidrogén).
alsó/felső robbanási határértéke	–
veszélyes koncentrációja a levegőben	IDLH Immediately Dangerous to Life or Health 50 ppm
felhasználása az iparban	Vegyipar: pl. hidro- és oxiklórozáshoz, metil- és vinil-klorid, továbbá kén-klórhidrinek és szintetikus gumik előállításához. Bányászat és kohászat: keményfémek előállítása során használják. Gyógyszergyártás: gyógyszeripari szintézisekben alkalmazzák.
ipari előállítása	Iparilag hidrogéngáz és klórgáz egyesítésével nyerik: $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2 \text{HCl}$
természetes előfordulása (keletkezése)	HCl-gáz a vulkáni gőzökben fordul elő. Vizes oldata a gyomorsav alkotója (pH = 1, 0,1 tömeg%-os). Leggyakoribb vegyületei a kloridok, a tengervíz alkotói (NaCl, KCl).
tárolása	nyomás alatt acélpalackokban
szállítása	acélpalackokban
hatása az élő szervezetre/környezetre, veszélyessége	Maró hatású a szemre, a bőrre és a légzőrendszerre. A gáz magas koncentrációban való belégzése tüdőgyulladás és tüdővízenyőt okozhat, ami reaktív légúti elégtelenség szindrómához vezet. Vizes oldata erős sav.
figyelmeztető mondatok (H)	H280; H331; H314; EUH071;
óvintézkedésre vonatkozó mondatok (P)	P260;P280;P304+P340+P315;P305+P351+P338+P315; P403; P405



102. ábra. Hidrogén-klorid gáz és vizes oldatának (sósav) felhasználása  
(Forrás: [111] alapján a szerzők által készítve)

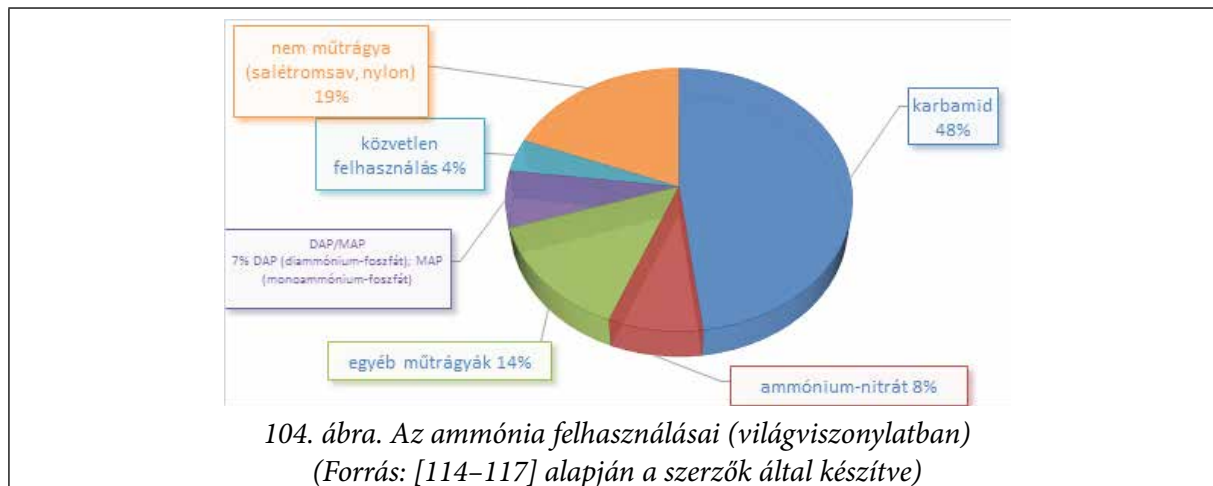
képlet	CO
szabályos elnevezés (régies név)	szén-monoxid (széngáz)
UN szám	1016
CAS szám	630-08-0
fizikai és kémiai tulajdonságai	Szintelen, szagtalan gáz. Fokozottan tűzveszélyes. Normál körülmények között stabil, nem reakcióképes.
alsó/felső robbanási határérték	13,7-70,2
veszélyes koncentrációja a levegőben	ÁK- érték: 33 mg/m <sup>3</sup> (30 ppm) CK- érték: 66 mg/m <sup>3</sup> (60 ppm)
felhasználása az iparban	Szintéziskémiában, alkoholok, aldehidek, karbonsavak, foszgén, fém-karbonilok előállítására. Az iparban leginkább gázkeverékekben használják. Generátorgáz (CO és nitrogén elegye) és a vaskohókban keletkező torokgáz (hasonló összetételű, kisebb CO-tartalmú). Szintén fontos vízgáz (főleg szén-monoxid és hidrogén elegye). A tiszta CO-H <sub>2</sub> elegy a szintézisgáz.
ipari előállítása	földgáz- és kőolajbontással
természetes előfordulása (keletkezése)	vulkáni gázokban, tökéletlen tüzek kísérőanyaga
tárolása	nyomás alatt acélpalackokban
szállítása	acélpalackokban
hatása az élő szervezetre/környezetre, veszélyessége	Belélegezve mérgező (toxikus). Tünetei lehetnek szédülés, fejfájás, émelygés és tájékozódási zavarok.
figyelmeztető mondatok (H)	H280; H220; H360; H331; H372
óvintézkedésre vonatkozó mondatok (P)	P210; P202; P260; P377; P381; P304+P340+P315; P308+P313; P403; P405



103. ábra. Az ember közelében előforduló leggyakoribb szén-monoxid-források  
(Forrás: [112] alapján a szerzők által szerkesztve)

képlet	CO <sub>2</sub>												
szabályos elnevezés (régies név)	szén-dioxid (mustgáz)												
UN szám	1013												
CAS szám	124-38-9												
fizikai és kémiai tulajdonságai	Szintelen, szagtalan (esetleg enyhén savanykás szagú, a szagküszöbérték szubjektív és nem alkalmas a túlzott expozícióra figyelmeztetésre), savanykás ízű, a levegőnél nehezebb, nem éghető gáz. Vízzel szénsavat (H <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> ) képez. Nyomás alatt könnyen cseppfolyósítható kis sűrűségű, szintelen folyadékká válik. Nyomáscsökkentéskor (expandáltatva) szilárd, hőszerű anyagot, szénsavhavat, más néven szárazjeget képez.												
alsó/felső robbanási határérték	–												
veszélyes koncentrációja a levegőben	IDLH 40000 ppm												
felhasználása az iparban	Mélyhűtött cseppfolyós, illetve szilárd formában (szárazjég) – 78,5 °C-ig hűtőközegként használják. Élelmiszeripar, hegesztéstechnika, vízkezelés, egészségügy, tűzoltás technika.												
ipari előállítása	Szén-dioxidot természetes forrásokból, részben vegyipari folyamatok melléktermékeként keletkező hulladék ipari gázokból nyerhetünk. Számottevő mennyiségű szén-dioxid keletkezik a kőolaj-finomítókban hidrogén előállítása (földgázbontás) során, illetve szintetikus gázok és etilén-oxid előállításának melléktermékeként.												
természetes előfordulása (keletkezése)	Természetes források a vulkanikus eredetű területek, továbbá kőolaj-kitermelési helyszínek.												
tárolása	nyomás alatt acélpalackokban												
szállítása	acélpalackokban												
hatása az élő szervezetre/környezetre, veszélyessége	Töményen belélegezve mérgező!												
figyelmeztető mondatok (H)	H281												
óvintézkedésre vonatkozó mondatok (P)	P282; P336+P315; P403												
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>szén-dioxid-koncentráció</th> <th>hatása</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>350–400 ppm</td> <td>normális háttér</td> </tr> <tr> <td>400–1,000 ppm</td> <td>zsúfolt területek elfogadható szintje</td> </tr> <tr> <td>1,000–2,000 ppm</td> <td>„Rossz levegő” panasz az álmoságra</td> </tr> <tr> <td>2,000–5,000 ppm</td> <td>Állandósuló fejfájás, álmoság, állott, fülledt levegő. Csökkenő koncentrálóképesség, szapora szívverés, és enyhe hányinger.</td> </tr> <tr> <td>&gt;5,000 ppm</td> <td>Oxigénhiányra utaló érték, megengedett legnagyobb munkahelyi koncentráció (8 óras)</td> </tr> </tbody> </table> <p>(Forrás: [113] alapján a szerzők által készítve)</p>	szén-dioxid-koncentráció	hatása	350–400 ppm	normális háttér	400–1,000 ppm	zsúfolt területek elfogadható szintje	1,000–2,000 ppm	„Rossz levegő” panasz az álmoságra	2,000–5,000 ppm	Állandósuló fejfájás, álmoság, állott, fülledt levegő. Csökkenő koncentrálóképesség, szapora szívverés, és enyhe hányinger.	>5,000 ppm	Oxigénhiányra utaló érték, megengedett legnagyobb munkahelyi koncentráció (8 óras)
szén-dioxid-koncentráció	hatása												
350–400 ppm	normális háttér												
400–1,000 ppm	zsúfolt területek elfogadható szintje												
1,000–2,000 ppm	„Rossz levegő” panasz az álmoságra												
2,000–5,000 ppm	Állandósuló fejfájás, álmoság, állott, fülledt levegő. Csökkenő koncentrálóképesség, szapora szívverés, és enyhe hányinger.												
>5,000 ppm	Oxigénhiányra utaló érték, megengedett legnagyobb munkahelyi koncentráció (8 óras)												

képlet	NH <sub>3</sub>
szabályos elnevezés (régies név)	ammónia
UN szám	1005
CAS szám	7664-41-7
fizikai és kémiai tulajdonságai	Szintelen, jellegzetes, szúrós szagú gáz. Az ammónia robbanásveszélyes, heves reakciókba léphet halogénvegyületekkel, erős oxidálószerekkel, salétromsavval, fluorral és nitrogén-oxiddal. Erős bázis, hevesen reagál savakkal, korrozív hatású. Megtámadja a rezet, alumíniumot, cinket és ötvözeiteket. Hőfejlődés mellett oldódik vízben. Rendkívül jól oldódik vízben, a víz saját térfogatának több százszorosát képes feloldani ammóniagázból.
alsó/felső robbanási határérték	16–25
veszélyes koncentrációja a levegőben	Original (SCP) IDLH: 500 ppm
felhasználása az iparban	intermedier: salétromsavgyártás, műtrágyagyártás, lúgok, festékek, gyógyszerek, vitaminok; kozmetikumok; segédanyag: hűtőrendszerek, szigetelőtermékek, alapozók, hígítók és festékoldók, mosó- és tisztítószer, textílfestés
ipari előállítása	Az ipar jelentős mennyiségű ammóniát gyárt. Akkor gazdaságos, ha minél olcsóbb alapanyagból állítható elő. Az ammónia ipari előállítása elemeiből szintézissel történik: $N_2(g) + 3 H_2(g) \leftrightarrow 2 NH_3(g)$ $Q_k = -92,2 \text{ kJ/mol}$ 4 mol gázból → 2 mol gáz keletkezik
természetes előfordulása (keletkezése)	bomlástermék
tárolása	nyomás alatt acélpalackokban
szállítása	acélpalackokban
hatása az élő szervezetre/környezetre/veszélyessége	mérgező anyag, maró hatású anyag, környezetre ártalmas anyag, tűzveszélyes gáz, nagyon mérgező a vízi élőlényekre
figyelmeztető mondatok (H)	H221; H280; H331; H314; H400; EUH 071;
óvintézkedésre vonatkozó mondatok (P)	P210; P260; P273; P280; P303+P361+P353; P403+P233; P501



ammóniakoncentráció (ppm)	hatása a szervezetre
25 ppm = 0,0025 tömeg %	a kedvezőtlen hatások valószínűsége alacsony
50 ppm = 0,005 tömeg %	a legtöbb embernél károsodás nem kimutatható
134 ppm = 0,0134 tömeg %	az orr- és a torokirritáció, szem kiszáradása
400 ppm = 0,04 tömeg %	mérsékelt torokirritáció
500 ppm = 0,05 tömeg %	IDLH (immediately dangerous to life or health) koncentráció
700 ppm = 0,07 tömeg %	köhögés, súlyos szemirritáció, orvosi kezelés nélkül a látás elvesztése
1000 ppm = 0,1 tömeg %	közvetlen légútkárosodás
1700 ppm = 0,17 tömeg %	súlyos tüdőkárosodás, kezelés nélkül halálos sérülés (laryngospasmus – a gége izmainak görcsös összehúzódása)
2000 ppm = 0,2 tömeg %	bőrhólyagosodás és égési sérülések, másodpercen belül
5000 ppm = 0,5 tömeg %	percen belüli fulladás következik be
10000 ppm felett = 1,0 tömeg %	tüdődéma, potenciálisan halálos kimenetelű
15000 ppm felett = 1,5 tömeg %	teljes test védelme szükséges
tömeg % / 10 000 = ppm	
ppm · 10 000 = tömeg %	

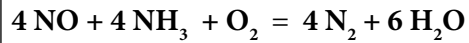
62. táblázat. Az ammónia különböző koncentrációinak élettani hatásai az emberi szervezetre  
(Forrás: [114–117] alapján a szerzők által készítve)

képlet	NO
szabályos elnevezés (régies név)	nitrogén-monoxid
UN szám	1660
CAS szám	10102-43-9
fizikai és kémiai tulajdonságai $2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$ színtelen <span style="margin-left: 150px;">vörösbrna</span>	Színtelen, mérgező, szagtalan gáz, az égést táplálja, éghető anyagokkal tüzet okozhat, nedvesség jelenlétében korrozív. A levegő oxigénjével érintkezve könnyen vörösbrna, korrozív nitrogén-dioxidot képez, amely nagyon reakcióképes.
alsó/felső robbanási határérték	–
veszélyes koncentrációja a levegőben	TLV (Threshold Limit Value) 25 ppm
felhasználása az iparban	szintéziskémia, gyógyászat
ipari előállítása	– 30%-os salétromsavból rézforgáccsal: A réz a salétromsavat először nitrogén-monoxiddá redukálja: $3\text{Cu} + 2\text{HNO}_3 = 3\text{CuO} + \text{H}_2\text{O} + 2\text{NO}$ , majd a képződött réz-oxid a salétromsav feleslegével réz-nitráttá vegyülve feloldódik: $\text{CuO} + 2\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$ . A keletkező NO-gázt víz alatt fogják fel. – ammónia katalitikus oxidációjával: $4\text{NH}_3 + 5\text{O}_2 = 4\text{NO} + 6\text{H}_2\text{O}$
természetes előfordulása (keletkezése)	villámláskor keletkezik (fosszilis tüzelőanyagokat felhasználó erőművekből és a közlekedésből származik)
tárolása	nyomás alatt acélpalackokban
szállítása	acélpalackokban
hatása az élő szervezetre/környezetre/veszélyessége	Erősen izgatja a nyálkahártyát és a légutakat. Belélegezve mérgező, tüdőödémát okoz. A tünetek csak később, órák múlva jelentkeznek. Közvetlen érintkezésnél marja a szemet és a bőrt. A cseppfolyósított nyomás alatti gáz a túlnyomás megszűnésekor fagyásos sérüléseket okozhat. Károsan hat a központi idegrendszerre.
figyelmeztető mondatok (H) H280; H270; H330; H314; EUH071	
óvintézkedésre vonatkozó mondatok (P)	P244; P260; P220; P280; P304+P340+P315; P305+P351+P338+P315; P370+P376; P403

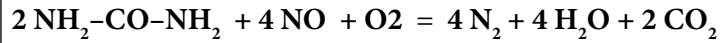
A nitrogén-monoxid eltávolítása erőművek füstgázaiból:

- szelektív nem katalitikus redukcióval (termikus DENOx eljárás)

NO-tartalmú füstgázhoz 900 °C-on ammóniát adagolnak:



**vagy karbamid használatával**

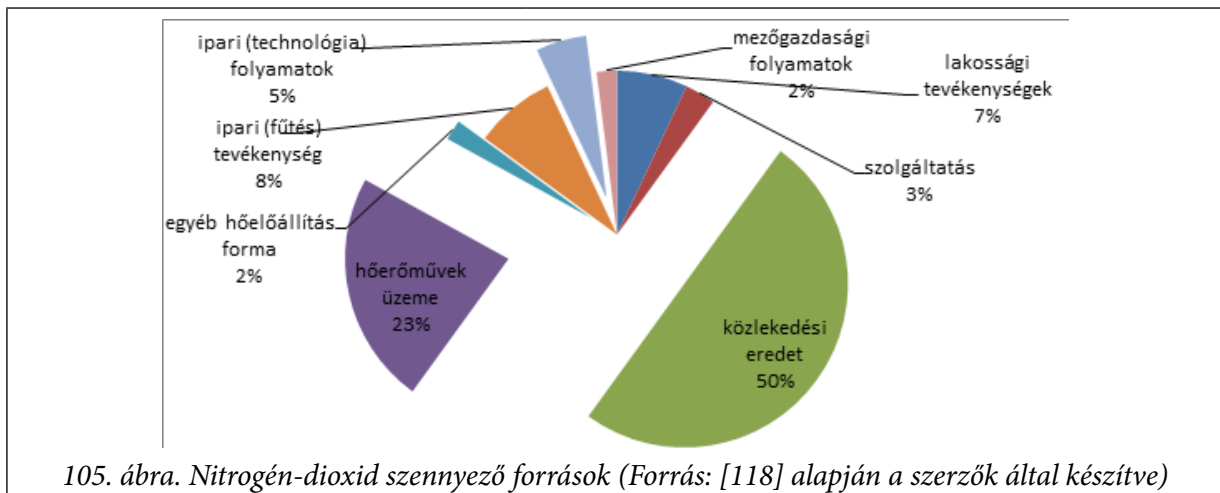


- szelektív katalitikus redukcióval (katalitikus DENOx eljárás)

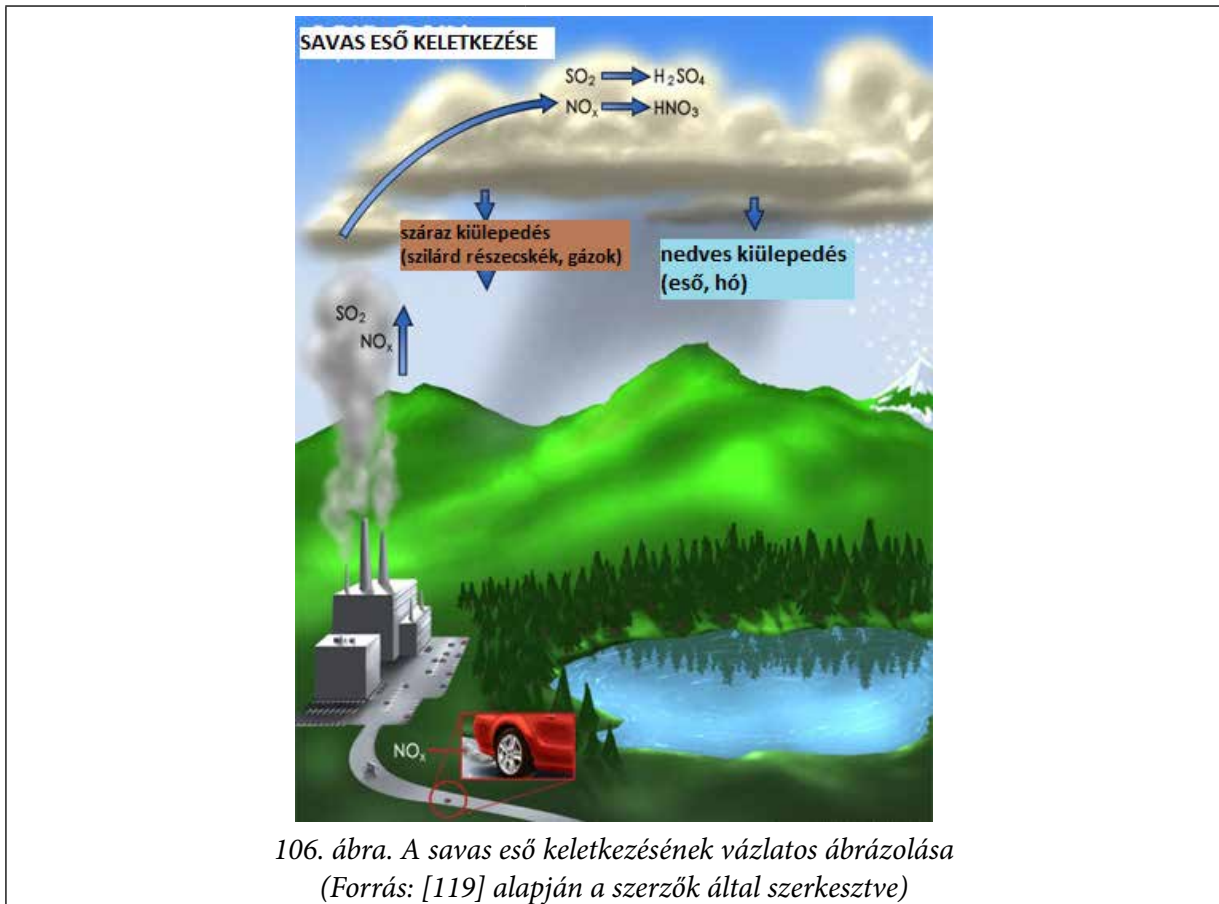
Nagyobb hatásfok érhető el.  $\text{V}_2\text{O}_5$  vagy  $\text{WO}_3$  titán-dioxid hordozón. Alkalmazott  $\text{NH}_3$  / NO arány kb. 0,8 (mol/mol) cél, hogy a távozó füstgázmaradék ammóniatartalma alacsony legyen.



képlet	NO <sub>2</sub>
szabályos elnevezés (régies név)	nitrogén-dioxid
UN szám	1067
CAS szám	10102-44-0
fizikai és kémiai tulajdonságai	Sötét-vörösbarna színű, szúrós szagú, nehéz, nagyon mérgező gáz. Alacsony hőmérsékleten dinitrogén-tetraoxiddá dime- rizálódik, és cseppfolyósodik: $2\text{NO}_2 = \text{N}_2\text{O}_4$ – Vízben jól oldódik, vízben való oldása során salétrom- sav és salétromossav keletkezik: $2\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HNO}_3 + \text{HNO}_2$ . A keletkező salétromos- savat a nitrogén-dioxid egyúttal salétromsavvá oxidálja: $\text{HNO}_2 + \text{NO}_2 = \text{HNO}_3 + \text{NO}$ . Levegővel, oxidáló-, redukálószerrel erőteljesen rea- gálhat. Éghető anyagokkal hevesen reagálhat.
alsó /felső robbanási határérték	–
veszélyes koncentrációja a levegőben	TLV (Threshold Limit Value) 5 ppm
felhasználása az iparban	ipari segédanyag, salétromsav-gyártáshoz, nitrálószer- ként
ipari előállítása	nitrogén-monoxid oxidációja során keletkezik: $2\text{NO} + \text{O}_2 = 2\text{NO}_2$ (a nitrogén-monoxid megbarnul) – tömény salétromsavból rézforráccsal: $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3 = \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
természetes előfordulása (keletkezése)	
tárolása	nyomás alatt acélpalackokban
szállítása	acélpalackokban
hatása az élő szervezetre/környezetre/ veszélyessége	A nyálkahártyát és a légutakat irritálja. Belélegezve erő- sen mérgező, tüdőödémát okoz. A tünetek csak órák múlva jelentkeznek. Direkt érintkezéskor marja a szem- et és a bőrt. A cseppfolyósított, nyomás alatti gáz a túl- nyomás megszűnésekor fagyásos sérüléseket okozhat.
figyelmeztető mondatok (H)	H280; H270; H330; H314; EUH071
óvintézkedésre vonatkozó mondatok (P)	P244; P260; P220; P280; P304+P340+P315; P305+P351+P338+P315; P370+P376; P403



képlet	SO <sub>2</sub>
szabályos elnevezés (régies név)	kén-dioxid
UN szám	1079
CAS szám	7446-09-5
fizikai és kémiai tulajdonságai	Szobahőmérsékleten színtelen. Szúrós szagú, mérgező gáz, belélegezve a nyálkahártyát izgatja, a vörösvérsejteket roncsolja. –10 °C-on cseppfolyósodik. A mikroorganizmusokat is elpusztítja, ezért a konzerviparban tartósításra használják. Jó redukálószer. A kén-dioxid (E220), ami a tartósítószer.
alsó/felső robbanási határérték	–
veszélyes koncentrációja a levegőben	IDLH 100 ppm (MAK 1 ppm)
felhasználása az iparban	– kénsavgyártás – cellulóz előállítása – fertőtlenítés, boroshordók „kénezése”, tisztítás
ipari előállítása	kén égetése
természetes előfordulása (keletkezése)	vulkánkitörés
tárolása	nyomás alatt acélpalackokban
szállítása	acélpalackokban
hatása az élő szervezetre/környezetre, veszélyessége	Károsan hat a vízi élővilágra. Környezetbe való kijuttatását el kell kerülni. A termék nem üríthető talajvízbe vagy vízi környezetbe.
figyelmeztető mondatok (H)	H280; H331; H314; EUH071
óvintézkedésre vonatkozó mondatok (P)	P260; P280; P303+P361+P353+P315; P305+P351+P338+P315; P403; P405



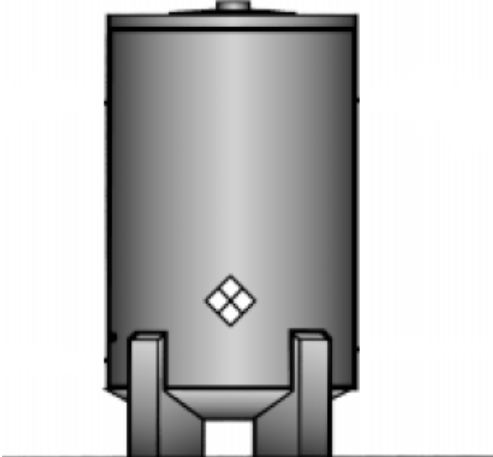
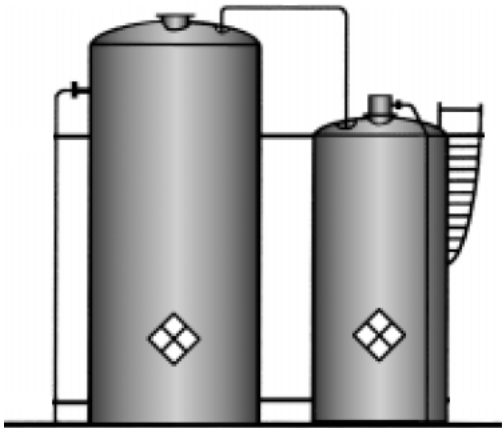
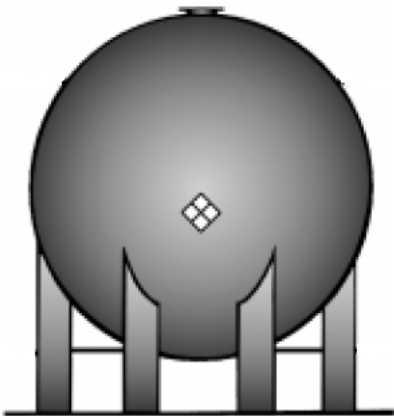
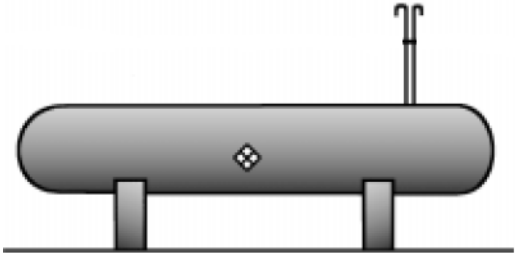
106. ábra. A savas eső keletkezésének vázlatos ábrázolása  
(Forrás: [119] alapján a szerzők által szerkesztve)

képlet	H <sub>2</sub> S
szabályos elnevezés (régies név)	dihidrogén-szulfid (kénhidrogén)
UN szám	1053
CAS szám	7783-06-4
fizikai és kémiai tulajdonságai	színtelen gáz, amely nagyobb mennyiség esetén felhővé áll össze, záptojás szagú, vízben nem oldódik, fokozottan tűzveszélyes, nehezebb a levegőnél
alsó/felső robbanási határérték	4–45
veszélyes koncentrációja a levegőben	1–20 ppm (IDLH 100ppm)
felhasználása az iparban	redukálószerként, analitikai kémiába, gyógyszeriparban
ipari előállítása	
természetes előfordulása (keletkezése)	vulkáni gázok
tárolása	nyomás alatt acélpalackokban
szállítása	acélpalackokban
hatása az élő szervezetre/környezetre, veszélyessége	irritálja az orrot, a torkot, tüdő- és fejfájás, szédülés, nehézlégzés, hányinger, köhögés, hányinger, hányás


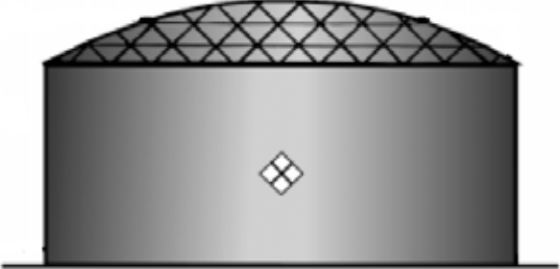


kén-hidrogén koncentrációja a levegőben ppm	hatása az emberi szervezetre
0,01–1,5	Szagküszöb, 30 ppm felett, a szag édes vagy émelyítően édes lesz.
2–5	A tartós kitettség hányingert okozhat, szem könnyezése, fejfájás, légúti problémák.
20	Fáradtság, étvágytalanság, fejfájás, ingerlékenység, feledékenység, szédülés.
50–100	Enyhe kötőhártya-gyulladás és légúti irritáció 1 óra után. Emésztési zavar, étvágytalanság is jelentkezhet.
100	Köhögés, a szem irritációja, a szaglász elvesztése után 2-15 perc elteltével (szaglász fáradtság). Megváltozott légzés, álmoság 15-30 perc elteltével. Torokirritáció 1 óra után. Több óra elteltével a tünetek fokozatosan súlyosbodnak. 48 óra múlva halál is bekövetkezhet.
100–150	Szaglász elvesztése (szaglász fáradtság vagy bénulás).
200–300	Kötőhártya és légúti irritáció 1 óra után. Hosszabb idejű kitettséget követően tüdőödéma léphet fel.
500–700	Tántorgás, összeesés 5 perc után. Súlyos szemsérülés 30 perc alatt. A halál 30-60 perc után bekövetkezhet.
700–1000	Hirtelen eszméletvesztés, 1-2 lélegzetvételt követően a légzés leáll, a halál percekben belül bekövetkezik.

(Forrás: [120] alapján a szerzők által készítve)

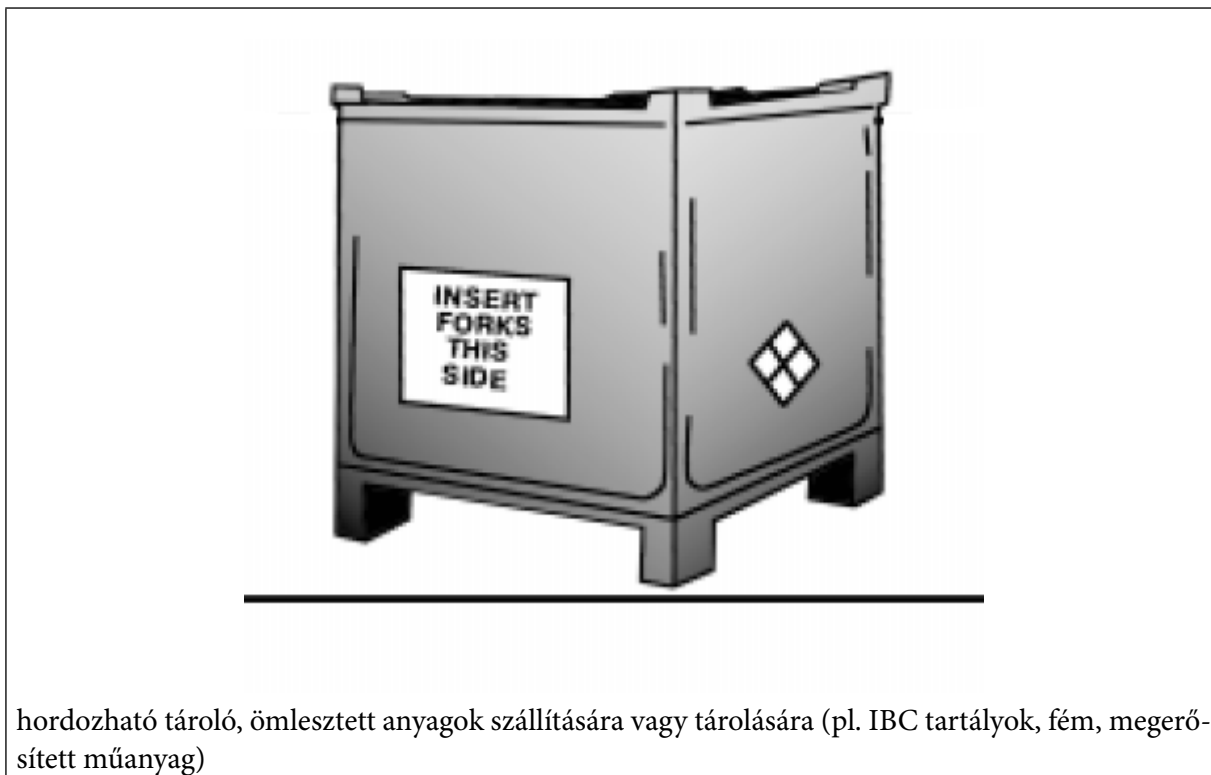
## 9. MELLÉKLET – VEGYI ANYAGOK TÁROLÁSÁHOZ GYAKRABBAN HASZNÁLT FŐBB TARTÁLYTÍPUSOK ÖSSZEFOGLALÁSA

	
<p>kriogén anyagok tárolására, pl. folyékony nitrogén, oxigén, szén-dioxid stb.</p>	<p>dómtetős tartály, pl. gyúlékony, éghető folyadékok, műtrágyák, kémiai oldószerek stb.</p>
	
<p>nagynyomású gömbtartály, pl. cseppfolyósított szénhidrogéngázok</p>	<p>nagynyomású fekvő/vízszintes tartály, pl. cseppfolyósított szénhidrogének, vízmentes ammóniagáz, magas gőznyomású gyúlékony folyadék</p>

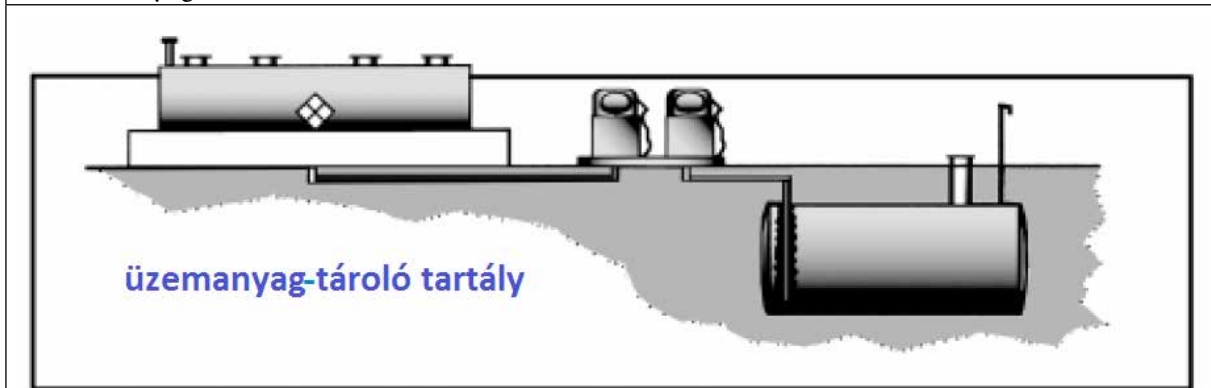
63. táblázat. Vegyi anyagok tárolásához gyakrabban használt főbb tartálytípusok összefoglalása  
(Forrás: [121] alapján a szerzők által készítve)

	
<p>kúpos tetejű tartály, gyúlékony, éghető és korróziós folyadékok tárolására</p>	<p>fedett, úszófedelű tartály geodéziai kupolával, gyúlékony folyadékok tárolására</p>
 <p style="text-align: right; margin-right: 20px;">← szellőzőnyílások</p>	
<p>fedett, úszófedelű tartály, gyúlékony és éghető folyadékok tárolására</p>	<p>fedetlen, úszófedelű tartály, gyúlékony és éghető folyadékok tárolására</p>

63. táblázat. Vegyi anyagok tárolásához gyakrabban használt főbb tartálytípusok összefoglalása (folytatás) (Forrás: [121] alapján a szerzők által készítve)



hordozható tároló, ömlesztett anyagok szállítására vagy tárolására (pl. IBC tartályok, fém, megerősített műanyag)



63. táblázat. Vegyi anyagok tárolásához gyakrabban használt főbb tartálytípusok összefoglalása (folytatás) (Forrás: [121] alapján a szerzők által készítve)



## 10. MELLÉKLET – KÉMIAI SZÁMÍTÁSOKHOZ SZÜKSÉGES SEGÉDLET

<p><b>ANYAGMENNYISÉG</b></p> <p>jele: <b>n</b> mértékegysége a <b>mól</b></p> <p>mértékegységek jele: <b>mol</b></p>	<p>Az anyagmennyiség az anyagot felépítő részecskék száma. 1 mól anyagmennyiségű részecske = <math>6 \cdot 10^{23}</math> <b>db részecske</b></p> <p>Az anyagmennyiség minden körülmények között, anyagi minőségtől függetlenül állandó érték, azaz 1 mól mindig <math>6 \cdot 10^{23}</math> db részecskét jelent. Ez az <b>Avogadro-állandó</b>, jele: NA.</p> <table border="1" data-bbox="507 824 1289 913"> <tr> <td rowspan="2"><b>n (anyagmennyiség)=</b></td> <td><b>m (tömeg, g)</b></td> </tr> <tr> <td><b>M (moláris tömeg, g/mol)</b></td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="507 925 694 996"> <tr> <td><b>m =</b></td> <td><b>n · M</b></td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="507 1008 673 1093"> <tr> <td rowspan="2"><b>M =</b></td> <td><b>m</b></td> </tr> <tr> <td><b>n</b></td> </tr> </table>	<b>n (anyagmennyiség)=</b>	<b>m (tömeg, g)</b>	<b>M (moláris tömeg, g/mol)</b>	<b>m =</b>	<b>n · M</b>	<b>M =</b>	<b>m</b>	<b>n</b>
<b>n (anyagmennyiség)=</b>	<b>m (tömeg, g)</b>								
	<b>M (moláris tömeg, g/mol)</b>								
<b>m =</b>	<b>n · M</b>								
<b>M =</b>	<b>m</b>								
	<b>n</b>								
<p><b>SÚRÚSÉG</b> (jele: <b>ρ</b>, vagyis ró)</p> <p>mértékegysége: g/cm<sup>3</sup>; kg/dm<sup>3</sup>; kg/m<sup>3</sup></p> <p>mértékegységek átváltása <b>1 g/cm<sup>3</sup> = 1 kg/dm<sup>3</sup></b> <b>1 kg/dm<sup>3</sup> = 1000 kg/m<sup>3</sup></b> <b>1 g/cm<sup>3</sup> = 1000 kg/m<sup>3</sup></b></p>	<table border="1" data-bbox="507 1153 1149 1238"> <tr> <td rowspan="2"><b>ρ (sűrűség)=</b></td> <td><b>m (tömeg, g, kg)</b></td> </tr> <tr> <td><b>V (térfogat, cm<sup>3</sup>, dm<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>)</b></td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="507 1249 689 1321"> <tr> <td><b>m =</b></td> <td><b>ρ · V</b></td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="507 1332 673 1417"> <tr> <td rowspan="2"><b>V =</b></td> <td><b>m</b></td> </tr> <tr> <td><b>ρ</b></td> </tr> </table>	<b>ρ (sűrűség)=</b>	<b>m (tömeg, g, kg)</b>	<b>V (térfogat, cm<sup>3</sup>, dm<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>)</b>	<b>m =</b>	<b>ρ · V</b>	<b>V =</b>	<b>m</b>	<b>ρ</b>
<b>ρ (sűrűség)=</b>	<b>m (tömeg, g, kg)</b>								
	<b>V (térfogat, cm<sup>3</sup>, dm<sup>3</sup>, m<sup>3</sup>)</b>								
<b>m =</b>	<b>ρ · V</b>								
<b>V =</b>	<b>m</b>								
	<b>ρ</b>								
<p><b>TÖMEGSZÁZALÉK</b> rövidítve: TÖMEG%; vagy m/m%</p> <p><b>nem rövidítjük t%-ra!</b></p>	<p>100 g oldatban hány gramm oldott anyag van feloldva. (vagy 100 kg oldatban, hány kg oldott anyag van; vagy 100 t oldatban hány t oldott anyag van; <b>a lényeg, hogy 100 egységhez kell viszonyítani!!!</b>)</p> <table border="1" data-bbox="507 1646 1345 1731"> <tr> <td><b>oldat tömege =</b></td> <td><b>oldott anyag tömege + oldószer tömege</b></td> </tr> </table> <table border="1" data-bbox="507 1747 1268 1832"> <tr> <td rowspan="2"><b>tömeg% =</b></td> <td><b>oldott anyag tömege (g, kg, t)</b></td> <td rowspan="2"><b>·100</b></td> </tr> <tr> <td><b>oldat tömege (g, kg, t)</b></td> </tr> </table>	<b>oldat tömege =</b>	<b>oldott anyag tömege + oldószer tömege</b>	<b>tömeg% =</b>	<b>oldott anyag tömege (g, kg, t)</b>	<b>·100</b>	<b>oldat tömege (g, kg, t)</b>		
<b>oldat tömege =</b>	<b>oldott anyag tömege + oldószer tömege</b>								
<b>tömeg% =</b>	<b>oldott anyag tömege (g, kg, t)</b>	<b>·100</b>							
	<b>oldat tömege (g, kg, t)</b>								

<b>KEVERÉSI EGYENLET</b> azonos oldószerű oldatok keverése után a tömeg% gyors kiszámítására használható!	<b>ha két oldatot keverünk össze</b> $m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2 = m_3 \cdot c_3$		$m_1, m_2, m_3, m_4 =$ az oldat tömege $c_1, c_2, c_3, c_4 =$ az oldat összetétele (pl. tömeg%)	
	<b>ha három oldatot keverünk össze</b> $m_1 \cdot c_1 + m_2 \cdot c_2 + m_3 \cdot c_3 = m_4 \cdot c_4$			
<b>MÉRTÉKEGYSÉG-ÁTVÁLTÁSOK</b>	1 t = 1000 kg	1 kg = 1000 g	1 g = 1000 mg	1 hl = 100 l
	1 m <sup>3</sup> = 1000 dm <sup>3</sup> = 1000 l (liter)	1 dm <sup>3</sup> = 1000 cm <sup>3</sup>	1 dm <sup>3</sup> = 1 l (liter)	1 cm <sup>3</sup> = 1 ml

<b>TÖMEG ÁTVÁLTÁSA</b>		
1 tonna = 1000 kg	1 q (mázsa) = 100 kg	1 tonna = 10 q (mázsa)
1 kg = 100 dkg	1 kg = 1000 g	1 dkg = 10 g
1 g = 1000 mg	1 mg = 1000 µg	1 g = 1 000 000 µg
<b>TÉRFOGAT ÁTVÁLTÁSA</b>		
1 m <sup>3</sup> = 1000 dm <sup>3</sup> = 1000 l (liter)	1 dm <sup>3</sup> = 1000 cm <sup>3</sup>	1 hl = 100 l
1 dm <sup>3</sup> = 1 l (liter)	1 cm <sup>3</sup> = 1 ml	1 l = 1000 ml
1 km = 1000 m	1 m = 10 dm = 100 cm	1 cm = 10 mm

<b>HŐMÉRSÉKLET ÁTVÁLTÁSA</b>	
<b>Celsiusból Fahrenheit egységbe</b>	$[^{\circ}\text{F}] = [^{\circ}\text{C}] \times 9/5 + 32$
<b>Celsiusból Kelvin egységbe</b>	$[\text{K}] = [^{\circ}\text{C}] + 273,15$
<b>Fahrenheitből Celsius egységbe</b>	$[^{\circ}\text{C}] = ([^{\circ}\text{F}] - 32) \times 5/9$
<b>Fahrenheitből Kelvin egységbe</b>	$[\text{K}] = ([^{\circ}\text{F}] + 459,67) \times 5/9$
<b>Kelvinből Celsius egységbe</b>	$[^{\circ}\text{C}] = [\text{K}] - 273,15$
<b>Kelvinből Fahrenheit egységbe</b>	$[^{\circ}\text{F}] = [\text{K}] \times 9/5 - 459,67$

<b>Fahrenheit</b>	<b>Celsius</b>	<b>Kelvin</b>	
212	100	373	<b>a víz forráspontja</b> (tengerszint magasságban)
194	90	363	
176	80	353	
158	70	343	
140	60	333	
122	50	323	
104	40	313	
86	30	303	
68	20	293	átlagos szobahőmérséklet
50	10	283	
32	0	273	<b>a jég/víz olvadáspontja</b> (tengerszint magasságban)
14	-10	263	
-4	-20	253	
-22	-30	243	
-40	-40	233	
-58	-50	223	
-76	-60	213	
-94	-70	203	
-112	-80	193	<b>-89 Celsius fok a legalacsonyabb mért hőmérséklet Vosztok, Antarktika, 1983 július</b>
-130	-90	183	
-148	-100	173	

Reference: Ahrens (1994)

Department of Atmospheric Sciences  
University of Illinois at Urbana-Champaign

*A Fahrenheit, a Celsius és a Kelvin hőmérsékleti skála összehasonlítása  
(Forrás: [121] alapján szerzők által készítve)*

**Prefixumok**

SI PREFIXUM (ELŐTAG) NEVE	JELÖLÉSE	SZÁMNÉV	SZORZÓ TÍZ HATVÁNY- KITEVŐJÉVEL	ÉRTÉKE
yotta	Y	kvadrillió	10 <sup>24</sup>	1 000 000 000 000 000 000 000 000
zetta	Z	trilliárd	10 <sup>21</sup>	1 000 000 000 000 000 000 000
exa	E	trillió	10 <sup>18</sup>	1 000 000 000 000 000 000
peta	P	billiárd	10 <sup>15</sup>	1 000 000 000 000 000
tera	T	billió	10 <sup>12</sup>	1 000 000 000 000
giga	G	milliárd	10 <sup>9</sup>	1 000 000 000
mega	M	millió	10 <sup>6</sup>	1 000 000
kilo	k	ezer	10 <sup>3</sup>	1 000
hekto	h	száz	10 <sup>2</sup>	100
deka	da (dkg)	tíz	10 <sup>1</sup>	10
-	-	egy	10 <sup>0</sup>	1
deci	d	tized	10 <sup>-1</sup>	0,1
centi	c	század	10 <sup>-2</sup>	0,01
milli	m	ezred	10 <sup>-3</sup>	0,001
mikro	μ	milliomod	10 <sup>-6</sup>	0,000 001
nano	n	milliárdod	10 <sup>-9</sup>	0,000 000 001
piko	p	billiomod	10 <sup>-12</sup>	0,000 000 000 001
femto	f	billiárdod	10 <sup>-15</sup>	0,000 000 000 000 001
atto	a	trilliomod	10 <sup>-18</sup>	0,000 000 000 000 000 001
zepto	z	trilliárdod	10 <sup>-21</sup>	0,000 000 000 000 000 000 001
yocto	y	kvadrillio- mod	10 <sup>-24</sup>	0,000 000 000 000 000 000 000 001

	Pa	bar	atm	torr
1 Pa (N/m <sup>2</sup> ) =	1	10 <sup>-5</sup>	0,987 × 10 <sup>-5</sup>	0,0075
1 bar=	100 000	1	0,987	750
1 atm (760 torr) =	101 325	1,013	1	760
1 torr = 1 Hgmm=	133	0,00133	0,00132	1

A légköri nyomás jellemzése a használatos nyomásértékekkel

101 325 Pa = 1013,25 hPa = 101,32 kPa = 760 torr = 760 Hgmm = 1,01 bar = 1013,25 mbar = 1 atm

**Koncentrációk**

Koncentráció megnevezése	Koncentráció kiszámítása	Jelölése
tömegszázalék (mértékegysége nincs, független a hőmérséklettől)	<b>oldott anyag tömege [g] · 100</b>	m/m %; tömeg%
	<b>100 g oldat</b>	
térfogatszázalék (mértékegysége nincs, függ a hőmérséklettől)	<b>oldott anyag térfogata [cm<sup>3</sup>] · 100</b>	V/V %; térfogat%
	<b>100 cm<sup>3</sup> oldat</b>	
vegyes százalék (mértékegysége tömeg/térfogat, függ a hőmérséklettől)	<b>oldott anyag tömege [g] · 100</b>	vegyes% m/V %
	<b>oldat térfogata [cm<sup>3</sup>]</b>	
tömegtört	<b>oldott anyag tömege [g]</b>	w
	<b>100 g oldat</b>	
mólszázalék	<b>oldott anyag moljainak száma · 100</b>	n/n%
	<b>oldat moljainak száma</b>	
móltört	<b>oldott anyag moljainak száma</b>	x
	<b>oldat moljainak száma</b>	
koncentráció, molaritás (mértékegysége mol/dm <sup>3</sup> ; értéke függ a hőmérséklettől)	<b>oldott anyag moljainak száma</b>	c; M
	<b>1000 cm<sup>3</sup> oldat</b>	

Nagyon kis koncentrációk bemutatása (nyomelemzés, légszennyezés, toxikológia, epidemiológia területén használják)

Jelölés/jelentése	Egyenértékűsége
ppm parts per million	1 ppm = 1 000 000 részben 1 rész 1 % = 10 000 ppm 1 ppm = 0,0001%
ppb parts per billion	1 ppb = 1 000 000 000 részben 1 rész 1 ppm = 1 000 ppb
ppt parts per trillion	1 ppt = 1 000 000 000 000 részben 1 rész 1 ppb = 1 000 ppt

Kis koncentrációk átváltása			
százalék	ppm	ppb	ppt
0,000 1	1	1 000	1 000 000
0,000 01	0,1	100	100 000
0,000 001	0,01	10	10 000
0,000 000 1	0,001	1	1 000

oldat vagy keverék típusa	%	ppm	ppb	ppt
tömeg/tömeg	g/100g	µg/g; mg/kg	ng/g; µg/kg	pg/g; ng/kg
tömeg/térfogat	g/100 ml	mg/l	µg/l	ng/l
térfogat/térfogat	ml/100 ml	µl/l	nl/l	pl/l

Megjegyzés:

- a tömeg/tömegegységekre megadott ppm pontosan ppm (m/m);
- a térfogat/térfogategységekre megadott ppm pontosan ppm (V/V), néhol ppmV-nek is jelölik (ez a gáz-halmazállapotú szennyező anyag/összes térfogatrészre vonatkoztatva)!

A gázkomponensek koncentrációját móltörttel, illetve a szintén dimenzió nélküli mólszázalékkal [% (n/n)] és mól-ppm-mel [ppm (n/n)], vagy tömegtörttel, illetve a tömegszázalékkal [% (m/m)] és tömeg-ppm-mel [ppm (m/m)] adhatjuk meg.

A térfogatszázalék [% (V/V)], illetve térfogat-ppm [ppm (V/V)] a gázok különböző kompresszibilitási értéke miatt nem félreérthetetlen koncentrációegység, viszont az atmoszferikus nyomás és a környezeti hőmérséklet közelében tulajdonképpen a mólkoncentrációkkal azonos, emiatt a gyakorlatban általában ezek az egységek használatosak, mivel a gázok mennyiségét általában térfogategységben adják meg.

*A mg/m<sup>3</sup> átváltása ppm(V/V)-re*

Az arány függ a hőmérséklettől, környezeti nyomáson, vagyis 1 atm értéken az általános egyenlet a következő:

$$\text{ppm (V/V)} = (\text{mg/m}^3)(273,15 + ^\circ\text{C}) / (12,187)(\text{moláris tömeg})$$

*A ppm(V/V) átváltása mg/m<sup>3</sup>-re*

Az arány függ a hőmérséklettől, környezeti nyomáson, vagyis 1 atm értéken az általános egyenlet a következő:

$$\text{mg/m}^3 = [\text{ppm (V/V)}](12,187)(\text{moláris tömeg}) / (273,15 + ^\circ\text{C})$$

ppmv: a térfogat/térfogategységekre megadott ppm pontosan ppm (V/V)

mg/m<sup>3</sup>: a szennyező anyag mennyisége a levegőben mg/m<sup>3</sup>-ben

moláris tömeg: a szennyező molekula moláris tömege g/mol-ban

°C: a levegő hőmérséklete Celsius-fokban

A 10. melléklethez felhasznált irodalmak: [123, 124, 125, 126, 127].

Név	Képlet	Átváltás ppm-ből vagy ppm-be [ppm(V/V)] 25 °C hőmérsékleten, 1 atm nyomáson
kén-dioxid	SO <sub>2</sub>	1 ppm = 2,860 µg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,35 ppm
szén-monoxid	CO	1 ppm = 1,145 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,873 ppm
nitrogén-dioxid	NO <sub>2</sub>	1 ppm = 1,880 µg/m <sup>3</sup> 1 µg/m <sup>3</sup> = 0,000532 ppm
benzol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	1 ppm = 3,19 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,313 ppm
hidrogén-szulfid kén-hidrogén	H <sub>2</sub> S	1 ppm = 1,5 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,670 ppm
vinil-klorid	Cl-CH=CH <sub>2</sub>	1 ppm = 2,589 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,386 ppm
toluol	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	1 ppm = 3,75 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,226 ppm
triklór-etilén	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	1 ppm = 5,4 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,18 ppm
tetraklór-etilén	C <sub>2</sub> Cl <sub>4</sub>	1 ppm = 6,78 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,14 ppm
sztírol	C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> -CH=CH <sub>2</sub>	1 ppm = 4,2 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,24 ppm
formaldehid	HCHO	1 ppm = 1,2 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,833 ppm
szén-diszulfid	CS <sub>2</sub>	1 ppm = 3,13 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,32 ppm
1,2 diklór-etán	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub>	1 ppm = 4,12 mg/m <sup>3</sup> (20 °C-on) 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,242 ppm
diklór-metán	CH <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub>	1 ppm = 3,47 mg/m <sup>3</sup> 1 mg/m <sup>3</sup> = 0,28 ppm

Néhány példa ppm és mg/m<sup>3</sup> átváltásra (Forrás: [128] alapján a szerzők által készítve)

szennyező komponens neve	Európai Bizottság ajánlásával 20 °C és 1013 mbar	Egészségügyi Világszervezet ajánlásával 25 °C és 1013 mbar
ózon	1 ppb = 1,9957 µg/m <sup>3</sup>	1 ppb = 1,96 µg/m <sup>3</sup>
nitrogén-dioxid	1 ppb = 1,9125 µg/m <sup>3</sup>	1 ppb = 1,88 µg/m <sup>3</sup>
szén-monoxid	1 ppm = 1,1642 mg/m <sup>3</sup>	1 ppm = 1,15 mg/m <sup>3</sup>
kén-dioxid	1 ppb = 2,6609 µg/m <sup>3</sup>	1 ppb = 2,62 µg/m <sup>3</sup>
benzol	1 ppb = 3,2430 µg/m <sup>3</sup>	1 ppb = 3,19 µg/m <sup>3</sup>
1,3-butadién	1 ppb = 2,2452 µg/m <sup>3</sup>	1 ppb = 2,21 µg/m <sup>3</sup>

A ppm(V/V) függ a hőmérséklettől, ezt a táblázatban található eredmények egyértelműen bizonyítják  
(Forrás: [129] alapján a szerzők által készítve)

## IRODALOMJEGYZÉK

---

- [1] Csike Béla: *Biztosítási ismeretek*, Budapesti Műszaki Főiskola Bánki Donát Gépész és Biztonságtechnikai Mérnöki Kar, jegyzet, BMF BGK 3027, Budapest, 2007.
- [2] *DOE HANDBOOK CHEMICAL PROCESS HAZARDS ANALYSIS*, DOE-HDBK-1100-2004 August 2004, Superseding DOE-HDBK-1100-96, February 1996.
- [3] Graham D. Creedy, P. Eng, FCIC, FEIC: *Industrial Process Safety, Lessons from major accidents and their application in traditional workplace safety and health*, System Safety Society Spring Event, May 26, 2011. (letöltés ideje: 2015. április 9.)
- [4] Vijay Asar: *Hazard Assessment and Risk Management Techniques for Industries*, Disaster Prevention & Management Centre (letöltés ideje: 2015. május 25.)
- [5] [www.worldometers.info/hu/](http://www.worldometers.info/hu/)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [6] American Chemistry Council: *Year-End 2014 Chemical Industry Situation and Outlook*, American Chemistry Builds Momentum, December 2014.  
<http://files.clickdimensions.com/americanchemistrycom-avo5d/files/year-end2014-situationandoutlookf6c2.pdf>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [7] Global Chemicals Outlook – Towards Sound Management of Chemicals; Copyright © United Nations Environment Programme, 2013. (ISBN 978-92-807-3320-4; Job Number: DTI/1639/GE)  
[www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mainstreaming/GCO/The%20Global%20Chemical%20Outlook\\_Full%20report\\_15Feb2013.pdf](http://www.unep.org/hazardoussubstances/Portals/9/Mainstreaming/GCO/The%20Global%20Chemical%20Outlook_Full%20report_15Feb2013.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [8] [www.okbi.hu/page.php?trid=4](http://www.okbi.hu/page.php?trid=4)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [9] [www.okbi.hu/page.php?trid=5](http://www.okbi.hu/page.php?trid=5)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [10] <http://echa.europa.eu/chemicals-in-our-life/clp-pictograms>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [11] [www.bte.hu/index.php/hu/](http://www.bte.hu/index.php/hu/)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [12] [www.reachexpert.eu/ghs\\_prezentacio\\_2009\\_szeptember.pdf](http://www.reachexpert.eu/ghs_prezentacio_2009_szeptember.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [13] <http://echa.europa.eu/chemicals-in-our-life/clp-pictograms>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)



- 
- [14] [www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs\\_welcome\\_e.html](http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/ghs_welcome_e.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [15] Országos Kémiai Biztonsági Intézet: *Jelentés az országos emberi mérgezési esetekről*, Egészségügyi Toxikológiai Szolgálat, Budapest, 2015.  
[www.okbi.hu/uploads/osap2014.pdf](http://www.okbi.hu/uploads/osap2014.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [16] *New Jersey Hazmat Emergency Response Course: Hospital Operations Level*, 06077, student guide.  
[www.njsp.org/divorg/homelandsec/pdf/hrmu/06077\\_guide.pdf](http://www.njsp.org/divorg/homelandsec/pdf/hrmu/06077_guide.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [17] Dr. Bordás Imre: *Toxikológia*, jegyzet, Országos Kémiai Biztonsági Intézet, 2006.  
[www.uzemdoki.hu/pdf/toxikologia\\_jegyzet2006%20doc.pdf](http://www.uzemdoki.hu/pdf/toxikologia_jegyzet2006%20doc.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [18] CLP VI. melléklet  
[www.reach-compliance.eu/english/legislation/docs/launchers/CLP/launch-CLP-2008-1272-EC-ANNEX-VI.html](http://www.reach-compliance.eu/english/legislation/docs/launchers/CLP/launch-CLP-2008-1272-EC-ANNEX-VI.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [19] [www.anses.fr/en/content/carcinogenic-mutagenic-and-reprotoxic-substances-cmrs](http://www.anses.fr/en/content/carcinogenic-mutagenic-and-reprotoxic-substances-cmrs)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [20] European Chemicals Agency: *CMR substances from Annex VI of the CLP Regulation (registered under REACH and/or notified under CLP): A first screening report*, 2012.  
[http://echa.europa.eu/documents/10162/13562/cmr\\_report\\_en.pdf](http://echa.europa.eu/documents/10162/13562/cmr_report_en.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [21] <http://sv-safety.epfl.ch/page-109798-en.html>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [22] [www.pnas.org/content/104/42/16394/F1.expansion.html](http://www.pnas.org/content/104/42/16394/F1.expansion.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [23] [www.formaldehydefacts.org/applications/common\\_uses/](http://www.formaldehydefacts.org/applications/common_uses/)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [24] Health and safety authority: *Your steps to chemical safety* (A guide for small business). (ISBN 978-1-84496-147-4)  
[www.hsa.ie/eng/Publications\\_and\\_Forms/Publications/Chemical\\_and\\_Hazardous\\_Substances/Your\\_Steps\\_to\\_Chemical\\_Safety.pdf](http://www.hsa.ie/eng/Publications_and_Forms/Publications/Chemical_and_Hazardous_Substances/Your_Steps_to_Chemical_Safety.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [25] Ernest Hodgson: *A textbook of modern toxicology*, third edition, copyright 2004 by John Wiley & Sons, Inc. (ISBN 0-471-26508-X)  
<http://elibrary.bsu.az/azad/new/2472.pdf>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [26] [www.sozogaku.com/fkd/en/cfen/CB1058048.html](http://www.sozogaku.com/fkd/en/cfen/CB1058048.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [27] [www.informit.com/articles/article.aspx?p=1717264&seqNum=8](http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=1717264&seqNum=8)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)

- [28] [www.omfi.hu/icsc/PDF/PDF02/icsc0242\\_HUN.PDF](http://www.omfi.hu/icsc/PDF/PDF02/icsc0242_HUN.PDF)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [29] Geoff Ballard et al., *The Tolerability of Risk from Nuclear Power Stations*, O. Crown copyright 1988, Revised 1992.
- [30] MVM Paksi Atomerőmű Zrt.: *Fenntarthatósági jelentés 2011.*  
[www.mvm.hu/hu/szakmai-informaciok/szakmai\\_kiadvanyok/eves-jelentes/Documents/MVM\\_CSR\\_2012\\_teljes\\_11.pdf](http://www.mvm.hu/hu/szakmai-informaciok/szakmai_kiadvanyok/eves-jelentes/Documents/MVM_CSR_2012_teljes_11.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [31] MVM Paksi Atomerőmű ZRT.: *Fenntarthatósági jelentés 2013.*  
[www.mvm.hu/hu/szakmai-informaciok/szakmai\\_kiadvanyok/eves-jelentes/Documents/MVM\\_Csoport\\_Fenntarthatosagi\\_jelentes\\_2013.pdf](http://www.mvm.hu/hu/szakmai-informaciok/szakmai_kiadvanyok/eves-jelentes/Documents/MVM_Csoport_Fenntarthatosagi_jelentes_2013.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [32] HEFOP 3.3.1-P-2004-0900152/1.0 azonosítójú „A Felsőoktatás szerkezeti és tartalmi fejlesztése” című pályázat keretében. Konzorciumvezető: Pannon Egyetem, Környezetmérnöki Tudástár, sorozatszerkesztő: Dr. Domokos Endre, 4. kötet, Egészségvédelem, szerkesztő: Dr. Kiss István
- [33] *MICROBIAL RISK ASSESSMENT GUIDELINE PATHOGENIC MICROORGANISMS WITH FOCUS ON FOOD AND WATER*, Prepared by the Interagency Microbiological Risk Assessment Guideline Workgroup, July 2012. (Publication Numbers: USDA/FSIS/2012-001, EPA/100/J12/001)  
[www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/d79eaa29-c53a-451e-ba1c-36a76a6c6434/Microbial\\_Risk\\_Assessment\\_Guideline\\_2012-001.pdf?MOD=AJPERES](http://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/d79eaa29-c53a-451e-ba1c-36a76a6c6434/Microbial_Risk_Assessment_Guideline_2012-001.pdf?MOD=AJPERES)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [34] <https://jpgreenword.files.wordpress.com/2012/11/decomposition-rates.jpg>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [35] <http://aquafacts.org/tap-water/>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [36] <http://water.usgs.gov/edu/earthgwquality.html>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [37] <http://water.usgs.gov/edu/pesticidesgw.html>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [38] <http://wri.cals.cornell.edu/research-topics/shale-gas>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [39] [www.waterandhealth.org/drinkingwater/wp.html](http://www.waterandhealth.org/drinkingwater/wp.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [40] *Drinking Water Chlorination*, A Review of Disinfection Practices and Issues Canadian Chlorine Coordinating Committee.  
[www.cfour.org/wp-content/uploads/2012/03/Disinfection-Practices.pdf](http://www.cfour.org/wp-content/uploads/2012/03/Disinfection-Practices.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)

- [41] Environmental Protection Agency, *Water Treatment Manual: Disinfection*. (ISBN 978-184095-421-0)  
[www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/disinfection2\\_web.pdf](http://www.epa.ie/pubs/advice/drinkingwater/disinfection2_web.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [42] Environmental Protection Agency: *Wastewater Technology Fact Sheet Chlorine Disinfection*, 1999.  
[www.cleanwaterservices.org/Content/Documents/About%20Us/Chlorine%20Disinfection%20Fact%20Sheet.pdf](http://www.cleanwaterservices.org/Content/Documents/About%20Us/Chlorine%20Disinfection%20Fact%20Sheet.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [43] [http://water.me.vccs.edu/courses/env110/lesson7\\_3.htm](http://water.me.vccs.edu/courses/env110/lesson7_3.htm)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [44] [www.who.int/water\\_sanitation\\_health/hygiene/emergencies/fs2\\_18.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/fs2_18.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [45] <http://anrcatalog.ucdavis.edu/pdf/8003.pdf>  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [46] [www.watershedcouncil.org/learn/hydraulic-fracturing/concerns-tieh-hydraulic-fracturing/](http://www.watershedcouncil.org/learn/hydraulic-fracturing/concerns-tieh-hydraulic-fracturing/)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [47] [http://oceanexplorer.noaa.gov/edu/learning/7\\_water\\_cycle/activities/groundwater.html](http://oceanexplorer.noaa.gov/edu/learning/7_water_cycle/activities/groundwater.html)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [48] Environmental Protection Agency: *Understanding oil spills and oil spills response* (EPA 540-K-99-007; oil program center).  
[www4.nau.edu/itep/waste/hazsubmap/docs/OilSpill/EPAUnderstandingOilSpillsAndOilSpillResponse1999.pdf](http://www4.nau.edu/itep/waste/hazsubmap/docs/OilSpill/EPAUnderstandingOilSpillsAndOilSpillResponse1999.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [49] [www.miccra.com/what-does-actually-dispersing-and-homogenizing-mean/](http://www.miccra.com/what-does-actually-dispersing-and-homogenizing-mean/)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [50] [www.cyclochem.com/cyclochembio/research\\_e/049.html](http://www.cyclochem.com/cyclochembio/research_e/049.html)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [51] <http://link.springer.com/article/10.2478%2Fs11532-008-0086-4>  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [52] Open water oil identification job aid for areial observation With Standardized Oil Slick Appearance and Structure Nomenclature and Codes Version 2, updated July 2012, (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE) National Oceanic and Atmospheric Administration Office of Response and Restoration (Emergency Response Division Seattle, Washington).  
[www.ecy.wa.gov/programs/spills/HowIdentifyOil2012.pdf](http://www.ecy.wa.gov/programs/spills/HowIdentifyOil2012.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)

- [53] Shoreline Assessment Job Aid (U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE) National Oceanic and Atmospheric Administration Office of Response and Restoration (Emergency Response Division Seattle, Washington).  
<https://docs.neb-one.gc.ca/ll-eng/llisapi.dll/fetch/2000/90464/90552/548311/956726/2392873/2449925/2450225/2786730/C89-19-6 - KMC TMEP Project Evaluation FINAL combined optimized 27 May-15 Part6 - A4Q1Q0.pdf?nodeid=2786641&vernum=-2>  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [54] Dr. Fleit Ernő egyetemi docens: *Környezeti haváriák fogalma, típusai. A szennyező anyagok osztályozása a környezeti viselkedés alapján*, egyetemi jegyzet, Pécsi Tudományegyetem, HEFOP/2004/3.3.1/0001.01.
- [55] [www.pollutionissues.com/Re-Sy/Smog.html](http://www.pollutionissues.com/Re-Sy/Smog.html)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [56] <http://files.abovetopsecret.com/files/img/ky4f389cc1.jpg>  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [57] United States Environmental Protection Agency: *Office of Air Quality Planning and Standards*, Publication No. EPA-456/K-07-001 (Research Triangle Park), NC April 2007, The Plain English Guide to the Clean Air Act.  
[www.epa.gov/airquality/peg\\_caa/pdfs/peg.pdf](http://www.epa.gov/airquality/peg_caa/pdfs/peg.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [58] [www.ubz-stmk.at/luft1/kapitel3.htm](http://www.ubz-stmk.at/luft1/kapitel3.htm)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [59] *Környezetmérnöki Tudástár*, sorozatszerkesztő: Dr. Domokos Endre, 11. kötet, Levegőtisztaság-védelem, szerkesztő: Radnainé Dr. Gyöngyös Zsuzsanna, 2. javított kiadás, 2011 (ISBN: 978-615-5044-36-6); 1. kiadás, Pannon Egyetem, Környezetmérnöki Intézet, Veszprém, 2008.  
<http://mkweb.uni-pannon.hu/tudastar/anyagok/11-Levegotisztasagvedelem.pdf>  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [60] [www.webapps.ccc.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/btex/btex.html](http://www.webapps.ccc.vt.edu/ewr/environmental/teach/gwprimer/btex/btex.html)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [61] WHO Library Cataloguing-in-Publication Data Manual for the public health management of chemical incidents, 2009. (ISBN 978-924-1598-14-9; NLM classification: WA 670)  
[www.who.int/environmental\\_health\\_emergencies/publications/FINAL-PHM-Chemical-Incidents\\_web.pdf](http://www.who.int/environmental_health_emergencies/publications/FINAL-PHM-Chemical-Incidents_web.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [62] *Guidelines for technical planning for on-site emergencies*, CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS, 345 East 47th Street, New York, New York 10017, American Institute of Chemical Engineers, 1995 chapter 1 and chapter 2.

- [63] Efthimia K. Mihailidou, Konstantinos D. Antoniadis, Marc J. Assael: *The 319 Major Industrial Accidents Since 1917*, International Review of Chemical Engineering (I.RE. CH.E.), Vol. 4., N. 6., November 2012. (ISSN 2035-1755)  
[www.researchgate.net/profile/Josefa\\_Fernandez3/publication/259564093\\_Structural\\_Changes\\_in\\_the\\_Preparation\\_or\\_Use\\_of\\_Desulfurant\\_Sorbents\\_Prepared\\_with\\_Ca\(OH\)2Smectite\\_Lignosulfonates/links/0c96052c88b6c653f5000000.pdf](http://www.researchgate.net/profile/Josefa_Fernandez3/publication/259564093_Structural_Changes_in_the_Preparation_or_Use_of_Desulfurant_Sorbents_Prepared_with_Ca(OH)2Smectite_Lignosulfonates/links/0c96052c88b6c653f5000000.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [64] James C. Belke: *Chemical accident risks in U.S. industry – A preliminary analysis of accident risk data from U.S. hazardous chemical facilities*, United States Environmental Protection Agency, Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office, 2000.  
[www.epa.gov/swercepp/pubs/stockholmpaper.pdf](http://www.epa.gov/swercepp/pubs/stockholmpaper.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [65] *HEALTH EFFECTS OF THE TOXIC GAS LEAK FROM UNION CARBIDE METHYL ISOCYANATE PLANT IN BHOPAL TECHNICAL REPORT ON*, Pathology and Toxicology (1984–1992), Bhopal Gas Disaster Research Centre Medico Legal Institute, Mahatma Gandhi Medical College Bhopal (MP) & INSTITUTE OF PATHOLOGY (Indian Council of Medical Research) New Delhi, INDIAN COUNCIL OF MEDICAL RESEARCH Ansari Nagar, New Delhi – 110 029 (INDIA), 2010.  
[www.icmr.nic.in/ncrp/Bhopal%20Gas%20Report.pdf](http://www.icmr.nic.in/ncrp/Bhopal%20Gas%20Report.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [66] <https://chssachetan.wordpress.com/2014/11/11/union-carbidedow-chemicals-pay-compensation-to-texan-workers/>  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [67] Christopher Hawley: *Hazardous Materials: Recognition and Identification*, Baltimore County Fire Department (Ret.).  
[www.potsdamfire.org/content/training/file/delmarhazmat.pdf](http://www.potsdamfire.org/content/training/file/delmarhazmat.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [68] [http://bilingualhistory.blogspot.hu/2013\\_10\\_01\\_archive.html](http://bilingualhistory.blogspot.hu/2013_10_01_archive.html)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [69] [www.sfgate.com/green/article/Time-bomb-in-ocean-oil-tanker-breaks-up-2752335.php](http://www.sfgate.com/green/article/Time-bomb-in-ocean-oil-tanker-breaks-up-2752335.php)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [70] Conclusions drawn from the Toulouse accident: application to loss estimation for explosions, Luis Bravo de la Iglesia Manager of the industrial safety area, ITSEMAP Servicios Tecnológicos MAPFRE.  
[www.mapfire.com/ccm/content/documentos/mapfrere/fichero/en/trebol-en-num23-2.pdf](http://www.mapfire.com/ccm/content/documentos/mapfrere/fichero/en/trebol-en-num23-2.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [71] [http://news.bbc.co.uk/2/hi/middle\\_east/3503447.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/middle_east/3503447.stm)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [72] [www.sfgate.com/news/article/Train-explosion-in-Iran-kills-200-Many-of-dead-2793948.php](http://www.sfgate.com/news/article/Train-explosion-in-Iran-kills-200-Many-of-dead-2793948.php)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)

- [73] Amy E. Smithson: *Rethinking the Lessons of Tokyo*, Chapter 3.  
[www.stimson.org/images/uploads/research-pdfs/atxchapter3.pdf](http://www.stimson.org/images/uploads/research-pdfs/atxchapter3.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [74] <http://chemistry.about.com/od/toxicchemicals/a/How-Sarin-Gas-Works.htm>  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [75] Appendix B DATA ON NERVE AGENTS.  
[www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monograph\\_reports/MR1018z5/MR1018.5.appb.pdf](http://www.rand.org/content/dam/rand/pubs/monograph_reports/MR1018z5/MR1018.5.appb.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [76] Source: Kyle B. Olson, “Overview: Recent Incident and Responder Implications”, in Proceedings of the Seminar of Responding to the Consequences of Chemical and Biological Terrorism, Office of Emergency Preparedness (Washington, DC: US Public Health Service, Department of Health and Human Services, 11–14 July 1995), 2–88.
- [77] [www.omfi.hu](http://www.omfi.hu) biztonsági adatlapok.  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [78] Pesticide Action Network Asia and the Pacific, A PAN AP Factsheet Series Highly Hazardous Pesticides.  
[www.pananz.net/wp-content/uploads/2013/04/1endosulfan-5-Web2.pdf](http://www.pananz.net/wp-content/uploads/2013/04/1endosulfan-5-Web2.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [79] ENDOSULFAN Hoja informativa y Respuestas a preguntas frecuentes, Thanal L-14 Jawahar Nagar, Kowdiar, Thiruvananthapuram – 695 003 Kerala, India.  
[www.rapaluruaguay.org/endosulfan/hoja\\_informativa.pdf](http://www.rapaluruaguay.org/endosulfan/hoja_informativa.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [80] Chemical Watch Factsheet A Beyond Pesticides/ NCAMP Factsheet, Endosulfan.  
[www.beyondpesticides.org/pesticides/factsheets/endosulfan\\_final.pdf](http://www.beyondpesticides.org/pesticides/factsheets/endosulfan_final.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [81] Agricultural and Biological Sciences „Applied Bioremediation – Active and Passive Approaches”, book edited by Yogesh B. Patil and Prakash Rao, (ISBN 978-953-51-1200-6), Published: October 2, 2013, under CC BY 3.0 license. © The Author(s), Chapter 13 Persistence and Bioaccumulation of Persistent Organic Pollutants (POPs), By Tomaz Langenbach. (DOI 10.5772/56418)  
[www.intechopen.com/books/applied-bioremediation-active-and-passive-approaches/persistence-and-bioaccumulation-of-persistent-organic-pollutants-pops-](http://www.intechopen.com/books/applied-bioremediation-active-and-passive-approaches/persistence-and-bioaccumulation-of-persistent-organic-pollutants-pops-)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [82] NASA Safety Center: SYSTEM FAILURE CASE STUDIES, Triple Threat, June 2009, Vol. 3., Issue 4.  
<https://sma.nasa.gov/docs/default-source/safety-messages/safetymessage-2009-06-01-honeywellchemicalrelease.pdf?sfvrsn=4>  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [83] [www.atsdr.cdc.gov/](http://www.atsdr.cdc.gov/)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)

- [84] BUNCEFIELD MAJOR INCIDENT INVESTIGATION Initial Report to the Health and Safety Commission and the Environment Agency of the investigation into the explosions and fires at the Buncefield oil storage and transfer depot, Hemel Hempstead, on 11 December 2005, Buncefield Major Incident Investigation Board.  
[www.endsreport.com/docs/20060713d.pdf](http://www.endsreport.com/docs/20060713d.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [85] [http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk\\_news/4525504.stm](http://news.bbc.co.uk/2/hi/uk_news/4525504.stm)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [86] <http://tunza.eco-generation.org/resourcesView.jsp?boardID=air&viewID=22>  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [87] [www.ehatlas.ca/lead/human-impact/health-concerns](http://www.ehatlas.ca/lead/human-impact/health-concerns)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [88] [www.leadsafeworld.com/solutions/how-to-reduce-lead-poisoning-amongst-40000-preschool-children/](http://www.leadsafeworld.com/solutions/how-to-reduce-lead-poisoning-amongst-40000-preschool-children/)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [89] [www.gravitatechnomech.com/Lead-Metal/usesofLead.html](http://www.gravitatechnomech.com/Lead-Metal/usesofLead.html)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [90] [www.cdc.gov/nceh/lead/publications/lead-infographic-final-full.pdf](http://www.cdc.gov/nceh/lead/publications/lead-infographic-final-full.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [91] RVH Reststoffverwertungs GmbH – nem veszélyes hulladékok termikus hasznosítását szolgáló létesítmény Heiligenkreuz i.L. községben, környezeti hatásvizsgálati eljárás, szakvélemény, környezet-egészségügy Dr. med. Manfred Neuberger rendes egyetemi professzor.  
[www.kvvm.hu/cimg/documents/Kornyezet-egeszsegugy.pdf](http://www.kvvm.hu/cimg/documents/Kornyezet-egeszsegugy.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [92] [http://phc.amedd.army.mil/PHC%20Resource%20Library/Basic%20Facts%20Chem%20Standards%20and%20Guidelines%20July%202011%20agg\\_VH%20edits.pdf](http://phc.amedd.army.mil/PHC%20Resource%20Library/Basic%20Facts%20Chem%20Standards%20and%20Guidelines%20July%202011%20agg_VH%20edits.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [93] [www.aiha.org/get-involved/AIHAGuidelineFoundation/EmergencyResponsePlanningGuidelines/Documents/ERPGIntroText.pdf](http://www.aiha.org/get-involved/AIHAGuidelineFoundation/EmergencyResponsePlanningGuidelines/Documents/ERPGIntroText.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [94] [www.ehs.wisc.edu/chem/OccupationalExposureLimits.pdf](http://www.ehs.wisc.edu/chem/OccupationalExposureLimits.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [95] LEVEL 1 — FIRST RESPONDER COURSE NUMBER: 06007 AWARENESS PRESENTED THROUGH: NEW JERSEY STATE POLICE SPECIAL OPERATIONS SECTION HAZARDOUS MATERIALS RESPONSE UNIT, New Jersey Hazmat Emergency Response Course, Level 3, Hazardous materials.  
[www.njsp.org/divorg/homelandsec/pdf/hrmu/06007\\_mod1.pdf](http://www.njsp.org/divorg/homelandsec/pdf/hrmu/06007_mod1.pdf)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [96] [www.ilocis.org/documents/chpt30e.htm](http://www.ilocis.org/documents/chpt30e.htm)  
 (letöltés ideje: 2015. április 1.)

- 
- [97] [www.osha.gov/dts/osta/otm/otm\\_viii/otm\\_viii\\_1.html](http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_viii/otm_viii_1.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [98] [www.osha.gov/dts/osta/otm/otm\\_toc.html](http://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_toc.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [99] [www.atsdr.cdc.gov/MHMI/mhmi-v1-c.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/MHMI/mhmi-v1-c.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [100] Section II. Emergency Medical Services Response to Hazardous Materials Incidents.  
[www.atsdr.cdc.gov/MHMI/mhmi-v1-2.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/MHMI/mhmi-v1-2.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [101] [www.remm.nlm.gov/osha\\_epa\\_ppe.htm](http://www.remm.nlm.gov/osha_epa_ppe.htm)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [102] [www.cseppportal.net/CSEPP\\_Portal\\_Resources/PPE\\_FactSheet.pdf](http://www.cseppportal.net/CSEPP_Portal_Resources/PPE_FactSheet.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [103] Guide for the Selection of Personal Protective Equipment for Emergency First Responders  
NIJ Guide 102-00, Volume I, Prepared for: National Institute of Justice Office of Science  
and Technology Washington, DC 20531.  
[www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/191518.pdf](http://www.ncjrs.gov/pdffiles1/nij/191518.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [104] [www.ilocis.org/documents/chpt7e.htm](http://www.ilocis.org/documents/chpt7e.htm)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [105] FIRST RESPONDERS HANDBOOK, Hazardous Materials CBRNE, National CBRNe  
Medical and Advisory Centre, Norwegian Directorate for Civil Protection (DSB),  
Norwegian Police, Oslo Fire & Rescue Service, Order No. MSB643, February 2014. (ISBN  
978-91-7383-412-4)
- [106] <http://nextbigfuture.com/2011/08/material-makes-hydrogen-gas-10-times.html>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [107] [www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017\\_22\\_ipari\\_gazok/ch01s04.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_22_ipari_gazok/ch01s04.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [108] [www.epa.gov/apti/ozonehealth/population.html](http://www.epa.gov/apti/ozonehealth/population.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [109] <http://migsz.hu/pdf/szabvany.pdf>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [110] [www.messer.hu/Infotar/Kulonleges\\_Gazok\\_Katalogusa/8\\_Kriogen-taroloeszkoezoek/  
KGK-8-fejezet\\_8\\_2.pdf](http://www.messer.hu/Infotar/Kulonleges_Gazok_Katalogusa/8_Kriogen-taroloeszkoezoek/KGK-8-fejezet_8_2.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [111] [www.essentialchemicalindustry.org/chemicals/hydrogen-chloride.html](http://www.essentialchemicalindustry.org/chemicals/hydrogen-chloride.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [112] [www.casafehomes.org/facts\\_about\\_co.html](http://www.casafehomes.org/facts_about_co.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [113] [www.e-inst.com/measuring-carbon-dioxide/](http://www.e-inst.com/measuring-carbon-dioxide/)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)



- [114] EPA-456/R-95-002 Control and Pollution Prevention Options for Ammonia Emissions  
CONTROL TECHNOLOGY CENTER.  
[www.epa.gov/ttnca1/dir1/ammonia.pdf](http://www.epa.gov/ttnca1/dir1/ammonia.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [115] Atmospheric Ammonia: Sources and Fate A Review of Ongoing Federal Research and Future Needs Air Quality Research Subcommittee Meeting Report, Notes from the October 1999 meeting of the CENR Air Quality Research Subcommittee, Prepared by COMMITTEE ON THE ENVIRONMENT AND NATURAL RESOURCES AIR QUALITY RESEARCH SUBCOMMITTEE, June 2000.  
[www.esrl.noaa.gov/csd/AQRS/reports/ammonia.pdf](http://www.esrl.noaa.gov/csd/AQRS/reports/ammonia.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [116] Technical Support Document: *Toxicology Clandestine Drug Labs: Methamphetamine*, Vol. 1., No. 1. AMMONIA, Cal/EPA, Office of Environmental Health Hazard Assessment.  
[http://oehha.ca.gov/public\\_info/pdf/TSD%20Ammonia%20Meth%20Labs%2010'8'03.pdf](http://oehha.ca.gov/public_info/pdf/TSD%20Ammonia%20Meth%20Labs%2010'8'03.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [117] Timberline Ammonia-001 Determination of Inorganic Ammonia by Continuous Flow Gas Diffusion and Conductivity Cell Analysis, Prepared By: Dr. Edward F. Askew, 24 June 2011.  
[www.timberlineinstruments.com/wp-content/uploads/2011/10/TimberlineAmmoniaEPAMethod.pdf](http://www.timberlineinstruments.com/wp-content/uploads/2011/10/TimberlineAmmoniaEPAMethod.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [118] FACT SHEET FINAL REVISIONS TO THE NATIONAL AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS FOR NITROGEN DIOXIDE.  
[www.epa.gov/oaqps001/nitrogenoxides/pdfs/20100122fs.pdf](http://www.epa.gov/oaqps001/nitrogenoxides/pdfs/20100122fs.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [119] <http://science.howstuffworks.com/nature/climate-weather/atmospheric/acid-rain.htm/printable>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [120] [www.osha.gov/SLTC/hydrogensulfide/hazards.html](http://www.osha.gov/SLTC/hydrogensulfide/hazards.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [121] Federal Emergency Management Agency, United States Fire Administration: *Hazardous Materials Guide for First Responders*
- [122] [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/maps/ctof.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/maps/ctof.rxml)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [123] [www.messer.hu/Infotar/Ipari\\_Gazok\\_Katalogusa/1\\_a\\_gazokrol\\_altalaban/1\\_4\\_fejezet.pdf](http://www.messer.hu/Infotar/Ipari_Gazok_Katalogusa/1_a_gazokrol_altalaban/1_4_fejezet.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [124] [www.epa.gov/athens/learn2model/part-two/onsite/doc/Indoor%20Air%20Unit%20Conversions.pdf](http://www.epa.gov/athens/learn2model/part-two/onsite/doc/Indoor%20Air%20Unit%20Conversions.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [125] [www.atitest.com/html/commonconversions/commonconversions.html](http://www.atitest.com/html/commonconversions/commonconversions.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)

- [126] [www.esig.org/uploads/ModuleXtender/Publications/77/Best%20Practice%20Guidelines%203%20%28EN%29.pdf](http://www.esig.org/uploads/ModuleXtender/Publications/77/Best%20Practice%20Guidelines%203%20%28EN%29.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [127] [www.pavementcouncil.org/pavementcouncil/CEFIC.pdf](http://www.pavementcouncil.org/pavementcouncil/CEFIC.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [128] <http://ww2.unhabitat.org/wuf/2006/aqm/tool28.htm>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [129] [http://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat06/0502160851\\_Conversion\\_Factors\\_Between\\_ppb\\_and.pdf](http://uk-air.defra.gov.uk/assets/documents/reports/cat06/0502160851_Conversion_Factors_Between_ppb_and.pdf)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [130] [www.watertechtrading.com/disinfection-of-water/BacTerminator/disinfection-technology-for-water-bacterminator](http://www.watertechtrading.com/disinfection-of-water/BacTerminator/disinfection-technology-for-water-bacterminator)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [131] <http://haccpper.co.jp/e/aboutcomfosy/comfosy.html>  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)
- [132] Pór Gábor: *Atomenergetikai alapismeretek*, Készült a TAMOP-4.1.2.A/2-10/1, pályázati projekt keretében A kiadásért felel a(z): Edutus Főiskola  
[http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017\\_61\\_atomenergetikai\\_alapismeretek/ch06s09.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0017_61_atomenergetikai_alapismeretek/ch06s09.html)  
(letöltés ideje: 2015. április 1.)

#### *Borító*

Képletekhez felhasznált számítógépes program: ACD/ChemSketch (Freeware Version), ACD/Labs Release: 12.00, Product Version: 12.01 (Build 38526, 26 Feb 2010)

Fénykép/RID szerzők felvétele

Fénykép/vörösiszap internet

[http://mta.hu/mta\\_hirei/osszefoglalo-a-vorosizsap-katasztrofa-elharitasarol-a-karmentesitesrol-es-a-hosszu-tavu-teendokrol-125859/](http://mta.hu/mta_hirei/osszefoglalo-a-vorosizsap-katasztrofa-elharitasarol-a-karmentesitesrol-es-a-hosszu-tavu-teendokrol-125859/)

Fénykép/GHS-CLP symbols

<http://www.unece.org/trans/danger/publi/ghs/pictograms.html>