

Jelentősebb környezeti hatással járó nukleáris és sugárforrással kapcsolatos balesetek

A Windscale-i reaktor baleset

A baleset 1957-ben Angliában történt egy plutónium termelő grafit moderátoros, gázhűtésű reaktorban. A grafit visszamaradó energiájának rutinszerű eltávolítása során operátori hiba miatt a fűtőelemek túlhevültek és a grafit meggyulladt, amit csak két nap késéssel vettek észre. A tűz elfojtása végül csak a vízzel történő teljes elárasztást követően sikerült.

A környezetbe kikerült radioaktív anyagok terjedési irányát hibás meteorológiai adatok miatt rosszul becsülték meg, emiatt kezdetben a környezeti mérések alapján lényegesen alábecsülték a kibocsátás hatását. Végeredményben a kibocsátás által érintett terület 750 km^2 volt, a kibocsátott jelentősebb izotópok és aktivitásuk: ^{133}Xe (1,2 PBq), ^{131}I (740 TBq), ^{137}Cs (22 TBq) és ^{210}Po (8,8 TBq). Az egyéni lakossági effektív dózisos középértéke 6,4 és 4 mSv volt gyermekekre és felnőttekre, amelyben legnagyobb járulékkal a ^{131}I , ^{210}Po (37-37 %) és a ^{137}Cs (15 %) radioizotópok szerepeltek. (A maximális pajzsmirigy dózis gyermekeknél 100 mGy nagyságú volt.) A balesetet követően jelentős mennyiségű (kerekén 3000 tonna) tejet kellett megsemmisíteni.

A Kistim-i plutónium feldolgozóban történt baleset

A baleset 1957-ben történt egy plutónium feldolgozó üzemben a Szovjetunióban, ahol egy nagyaktivitású folyékony hulladékot tároló tartály (összaktivitása kerekén 1000 PBq) kémiai robbanás következtében felrobbant. Az összaktivitás mintegy 10 %-a került ki a környezetbe (az aktivitás 91 %-át szerencsére a viszonylag rövid felezési idejű ^{144}Ce és ^{95}Zr tette ki). A robbanás során keletkezett radioaktív felhő 1 km-es magasságba emelkedett és kb. 15 ezer km^2 -területet szennyezett el. A területen 270 ezer ember lakott, akik közül több mint ezer főt kitelepítettek az első 10 nap alatt, további 10 ezer főt később. Az előbbi lakossági csoport átlagos effektív dózisa 520 mSv volt. A gyomor-, és bélrendszer sugárterhelése elérte az 1,5 Gy -t is.

A sugárterhelésben a meghatározó radionuklid a hosszú felezési idejű ^{90}Sr volt, a talajfelszíni kihullás elérte a $150 \text{ MBq} \cdot \text{m}^{-2}$ értéket. Az első két évben több mint 10 ezer tonna mezőgazdasági terményt semmisítettek meg.

Three-Mile Island-i atomerőművi baleset

A baleset az Egyesült Államokban 1979-ben történt. Egy nyomottvizes reaktorban bekövetkező üzemzavarnál operátori hiba miatt az aktív zóna hűtővizét részben leürítették. Az átmenetileg hűtés nélkül maradt zónában a kiszáradt fűtőelemek egy része (becslések szerint mintegy harmada) megolvadt. Az így felszabaduló radioaktív hasadványok környezetbe való kijutását szerencsére a reaktort körülvevő hermetikus burkolat (az ún. konténment) gyakorlatilag teljes egészében megakadályozta.

Súlyos környezeti szennyeződés emiatt nem történt, végül mintegy 370 PBq radioaktív nemesgáz és 520 GBq ^{131}I kikerült a környezetbe. A baleset következtében a lakosság átlagos effektív dózisa 0,017 mSv, a legmagasabb egyéni dózist pedig 1 mSv értékűnek becsülték (a környezetellenőrző hálózat által mért legnagyobb dózis 0,75 mSv volt).

A csernobili atomerőmű baleset

1986. április 26-án következett be a korábbi Szovjetunióban, Ukrajnában az atomenergetika legsúlyosabb szerencsétlensége. A baleset egy grafit moderátoros, vízhűtésű reaktorban következett be, olyan típusban, amelyet a Szovjetunió kivül sehol sem építettek. A baleset közvetlen kiváltója egy biztonsági kísérlet volt, amelyet a tervezett és engedélyezett üzemi állapottól eltérően, igen kis teljesítményen hajtottak végre. A reaktor tervezési biztonsági hiányosságai következtében az előírások megsértése előbb a teljesítmény ugrásszerű megnövekedése miatt hőrobbanáshoz, majd rövid időn belül kémiai robbanáshoz vezetett. A robbanások a reaktorépületet teljesen lerombolták, a reaktor fedél felnyílt, a reaktorépület és a grafit moderátor kigyulladt, nagy mennyiségű radioaktív anyag kiáramlása kezdődött meg. A radioaktív anyagok kibocsátása csak 10 nap múlva szűnt meg, amikor a reaktor roncsot helikopterről leszórt 5000 t szilárd anyaggal (bórvegyületek, homok, ólom, stb.) sikerült lefedni. 1986 novemberére a reaktorblokk maradványait egy vasbeton burkolattal, az ún. szarkofággal vették körül.

A legközelebbi város, Pripjaty közel 50 ezer lakosát 48 órán belül kimenekítették. Május 4-ig összesen 130 ezer embert telepítettek ki az erőmű 30 km-es környezetéből. A baleset során kiszabaduló legnagyobb aktivitások a következők voltak: 6500 PBq ^{133}Xe , 1760 PBq ^{131}I , 1150 PBq ^{132}Te és 85 PBq ^{137}Cs . A további, viszonylag hosszú felezési idejű hasadványtermék között meg kell említeni a ^{134}Cs , ^{90}Sr , ^{106}Ru , ^{144}Ce radioizotópokat.

A tűz miatt a radioaktív felhő igen nagy magasságig emelkedett (az illékony jód és cézium izotópok közel 10 km-ig is), és a kibocsátás hosszú ideje alatt a meteorológiai

viszonyok nagymértékben változtak. Ezért a szennyeződés előbb Európában terjedt szét, majd gyakorlatilag az egész északi féltekén kimutatható volt.

A legnagyobb szennyezettséggű területek azonban a volt Szovjetunió területén alakultak ki. A kiülepedést a terjedési (diszperziós) viszonyokon kívül a részecske méretek és a csapadékviszonyok határozták meg. A legnagyobb részecskék, amelyek a fűtőelemből származtak, mintegy 100 km-en belül kiülepedtek. (Meg kell azonban említeni, hogy 10 μm körüli méretű, nagy aktivitású ún. forró részecskéket pl. hazánkban és Svédországban is találtak.) Mintegy 3100 km^2 területen a depozíciója meghaladta az 1500, további 7200 km^2 -en a 600 és 100 000 km^2 -en (magyarországnyi terület!) a 40 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ értékeket.

A volt Szovjetunió területén kívüli Európában a depozíció igen nagy különbségeket mutatott a csóva haladásától és az esőzéstől függően. Ausztriában, Svájcban, Németország déli részén és Skandináviában alakultak ki helyenként nagyobb, Spanyolországban, Franciaországban és Portugáliában az átlagosnál kisebb depozíciók (100 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ és 0,02 $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ ^{137}Cs felületi aktivitások jellemzik a két csoportot).

A baleset során kapott sugárterhelés alapján négy csoportot lehet megkülönböztetni:

1. az erőmű személyzete és a baleset lokalizálásában részt vevő tűzoltók, katonák és önkéntesek,
2. a 30 km-es zónából az első két hét során kitelepített lakosság,
3. a korábbi Szovjetunió lakossága (különös tekintettel a szennyeződött területen élőkre),
4. a többi európai ország lakosai.

Az első csoportban a legnagyobb dózisokat a blokk személyzete és az oltásban résztvevő tűzoltók kapták. 237 személy került akut sugárbetegség tüneteivel kórházba, akik közül 26-an haltak meg a sugárbetegség következtében (négy további haláleset közvetlen okát égési és fizikai sérülések jelentették). 140-en kaptak 1-2 Gy, 55-en 2~ Gy, 21-en 4-6 Gy és ugyancsak 21-en 6-16 Gy közötti egésztest dózist. A 600-800 ezer közötti számú ún. likvidátor dózisaira kevés adat van. A csoport átlagos feljegyzett dózisa 1986-ban 170, 1987-ben 130, 1988-ban 30 és 1989-ben 15 mSv körüli volt.

A második csoportban a főként a ^{131}I radioizotóp belégzéséből származó átlagos pajzsmirigy terhelés elérte az 1,4 Gy (3 évnél fiatalabb gyermekekre) és 0,07 Gy értékeket (16 év felettiekre). Az egésztest dózisokban már jelentős súllyal szerepelt a kiülepedett gamma-sugárzó izotópok járuléka is. Az átlagos dózist 15 mSv körülire becsülték.

A 30 km-es zónán kívül a legnagyobb pajzsmirigy dózist a Fehéroroszországi Gomel területen élő, 7 évnél fiatalabb gyermekek kapták. A becslések szerint 3000 gyermek kapott 2-10 Gy közötti, 300 gyermek 100 Gy közötti pajzsmirigy dózist. Ezen a területen elsősorban a szennyezett tej és zöldségfélék fogyasztása okozta a sugárterhelést. Az egészséges dózist már legnagyobb részben a szennyezett talajtól származó külső, és az élelmiszerrel elfogyasztott radiocézium által okozott belső sugárterhelés határozta meg. A becslések szerint az 1986-89 közötti egészséges dózis közel 10000 embernél haladta meg a 100 mSv-et (kerekén 700 lakosra becsültek 200 mSv feletti dózist), míg 130 000 ezer lakos dózisa csupán 5-20 mSv közötti volt.

A többi európai országban a dózisok lényegesen kisebbek. Az első, kizárólag a mért depozíciókon alapuló, óvatosan konzervatív becslések szerint az országokénti átlagos pajzsmirigy dózis (csecsemőkre) az első évre a 0,01-25 mSv tartományban, az effektív dózis a 0,002-0,67 mSv tartományban mozgott (hazánkra ezek a becslések 6 és 0,23 mSv értékeket adtak). A teljes dózis lekötését az első évi dózishoz mintegy 3-szorosára becsülték.

Az elszennyezett egészségkárosodásról az akut sugárbetegségben elhunytaknál már részben szóltunk. 1991 óta mindhárom elsősorban érintett volt szovjet tagköztársaságban a fiatal gyermekek körében a pajzsmirigy-rák előfordulása szignifikánsan emelkedett. Májig közel 500 esetet regisztráltak, akik közül 10 beteg meghalt. Ugyanakkor mindmáig nem tapasztalták a leukémiás esetek számának emelkedését. A rákos esetek számának emelkedését (a konzervatív lineáris dózis-hatás összefüggés feltételezésével) a korábbi Szovjetunió területén az elkövetkező 70 évre a becslések 10000-re teszik, míg világszerte 25000-re. Ugyanezen idő alatt azonban várhatóan 40-70 millió ember fog rákban egyéb okok miatt meghalni, az emelkedést tehát statisztikai módszerekkel lehetetlen kimutatni.

Hazánkat a szennyezett légtömegek először a baleset után 3 nappal érték el, majd az ország északi, északnyugati részén az esők hatására helyenként jelentős depozíciók alakultak ki. A következő nagyobb radioaktív felhő május 1-én érte el az országot, majd a május 8-i esők a szennyeződést nagyrészt kimosták. A külső gamma-dózisteljesítmény maximuma Budapesten $400 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$ értéket ért el (a természetes háttér kerekén $100 \text{ nGy} \cdot \text{h}^{-1}$), ám 1986 végére már megközelítette a korábbi alapszintet. A szennyezettség szempontjából az országot két nagy részre lehetett osztani, a Szombathely-Debrecen vonaltól északra és délre eső területre, amelyek depozíciója között átlagosan háromszoros a különbség az északi régió javára. A ^{137}Cs jellemző felületi szennyeződése az országban $1-10 \text{ kBq} \cdot \text{m}^{-2}$ közötti volt (ez az európai átlagot tekintve közepes értéknek mondható).

Az élelmiszerekben mérhető fontosabb radionuklidok országos átlagos aktivitás koncentrációi a következők voltak: tejben $400 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1} \text{ }^{131}\text{I}$ (1986. május), $20 \text{ Bq} \cdot \text{l}^{-1} \text{ }^{137}\text{Cs}$ (1986); sertés és marhahúsban $18\text{-}26 \text{ Bq} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ }^{137}\text{Cs}$ (1987).

A belégzésből származó hazai sugárterhelés a teljes dózisonak csak néhány százalékát tette ki. Az élelmiszerfogyasztásból származó sugárterhelés az 1986. évi felvételtől 1 éves gyermekekre $570 \mu\text{Sv}$, felnőttekre $180 \mu\text{Sv}$, az 1986-95 közötti felvételtől származó 620 , illetve $240 \mu\text{Sv}$ értékre volt becsülhető. Az átlagértékek körüli szóródás általában 10-szeres tartománnyal volt jellemezhető. A dózisokban az 1 éves gyermekeknél a meghatározó radioizotóp a ^{131}I volt (80 % körül), míg felnőtteknél a ^{137}Cs izotóp (40 % körül). Minden korcsoportnál a tejfogyasztás jelentette a legnagyobb járulékot.

Megjegyezzük, hogy más európai országokhoz hasonlóan az élelmiszerfogyasztásból számolt dózis hazánkban is mintegy két-háromszorosán felülbecsülte a közvetlenül az emberi szervezet szennyeződéséből becsülhető dózisokat. Utóbbi szerint a lekötött effektív dózisegyenérték gyermekekre $106 \mu\text{Sv}$, felnőttekre $92 \mu\text{Sv}$ nagyságú.

Ha az előbbi értékhez hozzávesszük a külső sugárzásból származó átlagosan $120 \mu\text{Sv}$ dózis lekötést, akkor azt mondhatjuk, hogy a hazai lakosságnak a csernobili balesetből származó átlagos lekötött dózisa $220 \mu\text{Sv}$ nagyságú volt, és bizonyosan nem haladta túl az 1 mSv értéket. A hazai lakosság körében epidemiológiai módszerekkel mindmáig nem lehetett kimutatni a csernobili baleset miatt bekövetkező egészségkárosodást.

Környezetszennyezés Ciudad Juarezben (Mexikó)

1983-ban Mexikóban egy terápiás sugárforrás tartót vashulladékként értékesítettek, miközben a 17 TBq aktivitású ^{60}Co forrást tévedésből nem távolították el belőle. Szállítás közben a forrás valószínűleg eltört. A szállító jármű, a szállítási útvonal és több tonna fém szennyeződött el, amit azután főleg betonvasként értékesítettek és építettek be. Közel 1000 ember kapott sugárterhelést, heten $3\text{-}7 \text{ Gy}$, 73 -an $0,25\text{-}3 \text{ Gy}$ közötti dózist. Szerencsére a baleset résztvevői közül a kapott sugárterhelés következtében senki sem halt meg.

A Goiania-i ¹³⁷Cs forrással történt környezetszennyezés

Egy lebontott terápiás besugárzó elhagyott 51 TBq aktivitású ¹³⁷Cs forrását Brazília Goiania nevű városában szétszerelték, majd egy hulladéktelep tulajdonosához jutott. Itt az ismerősök csodájára jártak a sötétben kék fényel világító sugárforrásnak, egy részét el is ajándékozták. A cézium szennyeződés így 100 km távolságban élő lakosokhoz is eljutott. A baleset során külső és belső sugárterhelést kapott közel 250 személy, akik közül 50-en mutattak akut egészségt vagy helyi besugárzásra utaló tüneteket., vagy jelentős ¹³⁷Cs külső vagy belső szennyeződést. 14 személynél középestől súlyosig terjedő csontvelő szindróma lépett fel, akik közül négyen meghaltak. 28 betegnél észleltek a besugárzás által okozott bőrsérüléseket. 129 személynél végeztek el citogenetikai módszerrel történő dózisbecslést. Ennek eredménye szerint 24 fő kapott 0,5 Gy, 5 fő 3 Gy feletti dózist (a legnagyobb sugárterhelés 5,3 Gy volt).

A város beépített részének 80 %-át átvizsgálva több mint 85 házat találtak szennyezettnek, amiből 41-nek a lakóit ki kellett telepíteni. Házak lebontásából és dekontaminálásából közel 3000 m³ radioaktív hulladék keletkezett.

Környezetszennyezés nukleáris fegyverekkel történt balesetek és műholdak visszatérése miatt

Máig 14 nukleáris fegyverrel, vagy a fegyverzetet hordozó légi járművel történt balesetről tudunk. A legismertebbek a Spanyolországban, Palomaresnál és Grönlandon történtek. 1966-ban Spanyolországban mintegy 2 km² terület szennyeződött el Pu izotópokkal. A jelentős szennyezettséget mutató (1,2 MBq·m⁻² talaj felületi aktivitás felett) 100-150 méteres körzetben a növényzetet és a talaj felső rétegét eltávolították és radioaktív hulladékként kezelték. A legnagyobb becsült egyéni lekötött dózis 240 mSv volt.

Grönlandon 1986-ban jelentős, mintegy 10 TBq aktivitású Pu szennyezte el néhány száz méter kiterjedésű területen a hótakarót, amelynek mintegy 10 %-a a jégbe fagyott. A tavaszi olvadáskor az óceánban több tíz kilométeres távolságban is kimutatható alfa-sugárzó szennyezettséget okozott.

A tengereken és óceánokon történt hajóbalesetek miatt 50-hez közeli számú nukleáris fegyver és 12 atomreaktor fekszik a víz alatt. A legsúlyosabbak a két, nukleáris fegyvert is hordozó atommeghajtású tengeralattjáróval 1986-ban és 1989-ben történt balesetek. A jegyzet írásakor még nem volt egyértelmű, hogy a 2000. augusztusában a Barents tengeren elsüllyedt orosz tengeralattjárón valóban nem voltak-e atomfegyverek. Ezeknek a

baleseteknek feltehetően egyelőre nincs jelentős környezeti hatásuk, azonban a tengervíz okozta korrózió miatt a helyzetet folyamatos ellenőrzés alatt kell tartani.

1964-ben egy ^{238}Pu energiaforrással rendelkező műhold semmisült meg a Föld légterében, kb. 600 TBq nagyságú atmoszferikus szennyeződést okozva. 1978-ban egy hasadási izotópokat közel 2 PBq összaktivitásban tartalmazó műhold semmisült meg, az aktivitás negyed része Kanada lakatlan északi területére hullott ki. Az atmoszférába kerül radioizotópok által okozott lakossági dózisek világátlagát mindkét balesetnél nSv nagyságrendűnek becsülték.

A radioaktív hulladék ellenőrizetlen kibocsátása

Elsősorban az atomfegyverkezéssel, bombagyártással kapcsolatban keletkezett radioaktív hulladékot az 50-es, 60-as években több országban is ellenőrizetlenül bocsátották ki pl. folyókba, vagy helyezték el nem eléggé biztonságos csomagolásban tengerekben, óceánokban. Az USA-ból a Csendes-óceáni partok közelébe, a Szovjetunióból a Jeges-tengerbe, az angol és francia reprocesszálókból az Északi- és Balti-tengerbe kerültek a radioaktív hulladékok. Ezek dóziszáruléka jelenleg kicsinek mondható, azonban a folyamatos környezeti ellenőrzés indokolt.

A Tokai Mura-i uránfeldolgozó üzemben történt baleset (1999. szeptember 30.)

HÁTTÉR INFORMÁCIÓK

A baleset helyszíne a JCO Company Ltd. telephelye Tokai városában. A város Tokió közelében található, sűrűn lakott település, a JCO telephelyétől 100 méterre már lakóházak állnak.

A JCO Company tokai-i telephelyén atomerőművi és kísérleti reaktorok fűtőelemeinek alapanyagául szolgáló urán-dioxidot gyártanak.

A baleset a telephely kísérleti feldolgozó üzemében történt. A baleset bekövetkezésében szerepet játszott, hogy az üzemben elsősorban néhány százalékos, gyengén dúsított urán-dioxidot gyártanak, és a nagyobb dúsítású kísérleti üzemanyag gyártására viszonylag ritkán kerül sor.

A BALESET RÖVID LEÍRÁSA

Három év szünet után kezdték el újra a kísérleti gyors szaporító reaktor közepesen dúsított (18,8% ^{235}U részarányú) üzemanyagának a gyártását. Az urán-dioxid gyártás kémiai eljárásának egyik fázisában a műveletet végző dolgozók az egyik tartályba közel 16 kg urán

tartalmú oldatot öntöttek, amely csaknem hétszer több, mint a megengedett 2,4 kg mennyiség. A tartály alján a kiülepedő urán és a tartályt körülvevő hűtővíz hatására létrejött a szabályozatlan láncreakció elindulásának feltétele. A láncreakció csak addig a pillanatig tartott, amíg a felszabaduló energia hatására a kiülepedett urán fel nem keveredett a tartály aljáról, és a kritikus tömeg szétszóródásával a láncreakció le nem állt. Az újra leülepedő csapadék hatására aztán ismét elindult a szabályozatlan láncreakció, így egy önmagát ki- és bekapcsolgató láncreakció sorozat jött létre, ami 17 órán keresztül működött. Végül a baleset-elhárításában dolgozók a tartály hűtővizét leengedték és beavatkozás hatására a láncreakció sorozat megszakadt.

A BALESET KÖVETKEZMÉNYEI

A baleset következtében a műveletet végző három dolgozó 17 Sv, 10 Sv és 3 Sv-re becsült sugárterhelést kapott. A legnagyobb sugárterhelést kapott két dolgozót nem sikerült megmenteni, a harmadik túlélte a balesetet.

A baleset elhárítási időszakban még 46 ember, 33 dolgozó, 3 tűzoltó és 10 polgári személy kapott kisebb-nagyobb sugárterhelést, aminek a szintje nem érte el a sugárbetegség küszöbdózisát.

A baleset környezeti hatásai nagyon mérsékeltek maradtak, mivel a hasadás során keletkező radioizotópok közül csak kis mennyiségű nemesgáz került a környezetbe. A baleset emiatt a Nemzetközi Nukleáris Esemény Skálán 4-es fokozatú besorolást kapott (jelentős baleset, ami telephelyen kívüli hatással nem jár).

BALESET ELHÁRÍTÁSI INTÉZKEDÉSEK

A telephely környezetében megnövekedett sugárzási szintek miatt, óvintézkedésként, az üzem 350 m-es körzetéből a lakosságot (150 embert) kitelepítették, továbbá az üzem 10 km-es övezetében elrendelték a lakosság elzárkózását (kb. 310 ezer ember).

A BALESET OKAINAK ÖSSZEFOGLALÁSA

1. JCO Company a műveleti utasításában figyelmen kívül hagyta a hatósági előírásokat;
2. a három dolgozó, akik először végezték ezt a műveletet, nem voltak kiképezve. nem tudtak a láncreakció elindulásának veszélyéről, amellet a műveleti utasítást sem tartották be;
3. a balesethez tehát a biztonsági előírások durva megsértése vezetett. amelynek létrejöttében közrejátszott az urán szokatlan dúsítási foka és a dolgozók tapasztalatlansága.

Jelentősebb környezetszennyezéssel járó reaktorbalesetek

A BALESET DÁTUMA	A BALESET HELYSZÍNE, A LÉTESÍTMÉNY TÍPUSA, A BALESET JELLEGE	KISZABADULT RADIOAKTÍV ANYAGOK ÉS AKTIVITÁSUK, BQ	
1957.10.08	Windscale, Sellafield, Anglia plutónium termelő reaktor urán- és grafitűz	nemesgázok ^{131}I ^{132}Te ^{137}Cs ^{89}Sr ^{90}Sr	$1,3 \cdot 10^{16}$ $7,4 \cdot 10^{14}$ $7,4 \cdot 10^{14}$ $2,2 \cdot 10^{13}$ $2,9 \cdot 10^{12}$ $3,3 \cdot 10^{12}$
1961.01.03	Idaho Falls, Idaho, USA kisteljesítményű (3MW) szállítható, katonai erőmű prototípusa, fűtőelemolvadás	nemesgázok ^{131}I ^{137}Cs ^{90}Sr	$3,7 \cdot 10^{14}$ $3 \cdot 10^{12}$ $1,8 \cdot 10^{10}$ $3,7 \cdot 10^9$
1969.01.21.	Lucens, Svájc kísérleti atomerőmű (30 MW) fűtőelemolvadás	3H hasadási gázok	$3,7 \cdot 10^{12}$?
1978.06.18	Brunsbüttel, Schleswig-Holstein, NSZK energiaszolgáltató (2290 MW) vízforraló típusú atomerőmű, gázkitörés	nemesgázok ^{131}I	$1,4 \cdot 10^{12}$ $1,8 \cdot 10^8$
1979.03.28.	Harrisburg, Pennsylvania, USA energiaszolgáltató (2270 MW) nyomottvízes típusú atomerőmű, aktív zóna „szárazra futása” és túlmelegedés	nemesgázok ^{131}I	$4,4 \cdot 10^{17}$ $7,4 \cdot 10^{11}$
1986.04.26.	Csernobil, Ukrajna, Szovjetunió grafitmoderátoros, vízhűtésű energiaszolgáltató (1000 MW) atomerőmű. Tervezési hibák és az előírások durva megsértése a teljesítmény ugrásszerű növekedéséhez, majd gyors egymásután hőrobbanáshoz és kémiai robbanáshoz vezettek	^{133}Xe ^{131}I ^{132}Te ^{137}Cs	$6,5 \cdot 10^{18}$ $1,76 \cdot 10^{18}$ $1,15 \cdot 10^{18}$ $8,5 \cdot 10^{16}$

Halálos kimenetelű sugárbaesetek, amelyek legfeljebb néhány személyt érintettek

Típus	Év	Helyszín	Forrás	Haláleset
KRITIKUSSÁ VÁLÁS	1940-88	-		9
	1999	Japán		2
ZÁRT SUGÁRFORRÁSOK	1960	Sz.U.	¹³⁷ Cs	1
	1962	Mexikó	⁶⁰ Co	4
	1963	Kína	⁶⁰ Co	2
	1972	Kína	⁶⁰ Co	3
	1972	Bulgária	¹³⁷ Cs	1
	1975	Olaszország	⁶⁰ Co	1
	1978	Algéria	¹⁹² Ir	1
	1981	USA	¹⁹² Ir	1
	1982	Norvégia	⁶⁰ Co	1
	1984	Marokkó	¹⁹² Ir	8
	1987	Brazília	¹³⁷ Cs	4
	1989	San Salvador	⁶⁰ Co	1
	1990	Izrael	⁶⁰ Co	1
	1991	Beloruszia	⁶⁰ Co	1
	1994	Észtország	¹³⁷ Cs	1
1997	Costa Rica	⁶⁰ Co	3+(4)	
REAKTOROK	1986	Sz.U.		31

Sugárbaesetek, amelyek a lakosság nagyobb csoportjait érintették

- 1. LÉGKÖRI KIHULLÁS ATOMFEGYVER KÍSÉRLETI ROBBANTÁSA UTÁN**
Bikini Szigetek, 1954, Marshall Szigetek, (239 lakos + 28 amerikai) japán halászok
(23 fő)
- 2. NUKLEÁRIS HULLADÉK KÉMIAI ROBBANÁSA**
Kishtim, Urál hegység, 1957.
Kb: 10-12.000 evakuált lakos
- 3. TERÁPIÁS KOBALT FORRÁS NYITOTTÁ VÁLÁSA ÉS BEOLVASZTÁSA**
Ciudad Juarez, Mexikó, 1983.
kb. 4000 lakos (120.000 ellenőrzött lakos)
- 4. ATOMREAKTOR KÉMIAI ROBBANÁSA, ZÓNAOLVADÁS**
Csernobil, 1986.
135.000 lakos (30 km-es zónán belül)
- 5. TERÁPIÁS CÉZIUM FORRÁS NYITOTTÁ VÁLÁSA ÉS SZÉTHORDÁSA**
Goiania, Brazília, 1987.
kb. 85 elszennyezett ház és 200 sugársérült / beteg lakos

A CSERNOBILI REAKTORBALESET FŐBB OKAI

- A reaktor és az üzemzavar elhárító rendszer súlyos tervezési hiányosságai;
- Elégtelen program a technikai biztonság ellenőrzésére;
- Hiányosságok és tehetetlenség abban a visszacsatoló rendszerben amelyik kijavítja azokat a lényeges hiányosságokat, amelyekről a balesetet megelőzően is évek óta tudtak;
- A 4. reaktor leállításával összekapcsolt olyan (nem engedélyezett) kísérlet, amelyet a tervezett és engedélyezett üzemi állapottól nagyon eltérő körülmények között kívántak elvégezni;
- A kísérlet során az operátorok a biztonsági előírásokat végzetesen megsértették, hibát hibára halmoztak.

A CSERNOBILI REAKTORBALESET FŐBB KÖRNYEZETI HATÁSAI

- Nagy aktivitású („forró”) fűtőelem részecskék
kiülepedés < 100 km-en belül;
<10 μm méretű - elvétve még hazánkban is;

- ¹³⁷Cs szennyezés kiterjedése
 - evakuált (10 km-es) zóna: max. 60.000 kBq/m²;
 - kb. 3100 km² (1500-5400) kBq/m²;
 - kb. 7200km² (600-1500) kBq/m²;
 - kb. 100000km² (40-600) kBq/m²;

Európa más országai:(0,02-100) kBq/m².

Magyarország: (1-10) kBq/m².

A CSERNOBILI REAKTORBALESET FŐBB EGÉSZSÉGÜGYI KIHATÁSAI

AKUT SUGÁRBETEGSÉG

- halállal végződő: 26
- felgyógyult: 203

„LIKVIDÁTOROK” (600000 ember)

- max. néhány száz mSv egésztest dózis

KÉSŐI RÁKOK

Gyermekek pajzsmirigy sugárterhelése:

- 300 gyermek: (10 - 40) Gy
- 3000 gyermek: (2 - 10) Gy

Következmény: pajzsmirigyrák szignifikáns növekedése

Lakossági csoportok egésztest sugárterhelése

(1986-1989) kb. 700 lakos > 200 mSv effektív dózis

kb. 10.000 lakos (100-200) mSv

kb. 130.000 lakos (5-20) mSv

Magyarországi lakosok

- pajzsmirigy dózis csecsemőkre: átlagosan 6 mSv
- lekötött effektív dózis: (0,4-1) mSv