

---

## Hatvan év reaktorbalesetei

Az első reaktort 1942. december 2-án indították el Chicagóban. Ezen demonstrálták, hogy a hasadások láncreakciója megvalósítható és szabályozható. Ezt követően sok kísérleti és kutatóreaktor, valamint atomerőmű és azokat kiszolgáló létesítmény (például fűtőelemgyár) épült. Az első baleset 1945. február 11-én történt az Egyesült Államokban, az – eddig – utolsó pedig Japánban 1999. szeptember 30-án. Szabó Zoltán 1985-ben készített egy alapos összeállítást az addig történt balesetekről [29]. Ebben a balesetek teljes száma 71, közülük 32 kísérleti reaktorban, 19 kutatóreaktorban, végül 20 atomerőműben vagy egyéb energetikai létesítményben történt. A kiadás évből következik, hogy ez az összeállítás még nem tartalmazhatta a Szovjetunióban történt baleseteket.

Az 1990-es években bevezették az INES-rendszert<sup>1</sup> (F.1. táblázat). A skála rendeltetése a lakosság azonnali, nemzetközileg egyeztetett formában való tájékoztatása a nukleáris létesítményekben történt események biztonsági jelentőségéről. A skála kidolgozói (a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség és az OECD Nukleáris Energia Ügynöksége) azt remélték, hogy helyes alkalmazása elősegíti a nukleáris közösség, a média és a lakosság közötti megértést.

Amikor egy nukleáris létesítményben a biztonságot érintő esemény történik, az üzemeltető feladata 24 órán belül értesíteni a biztonságot felügyelő hatóságot (hazánk-

<sup>1</sup> International Nuclear Event Scale = nemzetközi nukleáris esemény-skála.

F.1. táblázat. A nemzetközi nukleáris eseményskála főbb kritériumai\*

Fokozat	Hatás a telephelyen kívül	Hatás a telephelyen	Többszintű védelem sérülése	Példa
7. Nagyon súlyos baleset	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nagymértékű kibocsátás</li> <li>▪ Széleskörű egészségügyi és környezeti hatások</li> </ul>			Csernobil Ukrajna, 1986
6. Súlyos baleset	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Jelentős kibocsátás</li> <li>▪ Minden tervezett ellenintézkedésre szükség lehet</li> </ul>			Reprocesszáló üzem Oroszország, 1957
5. Baleset telephelyen kívüli kockázattal	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Korlátozott kibocsátás</li> <li>▪ Szükség lehet egyes tervezett ellenintézkedésekre</li> </ul>	Az aktív zóna, illetve a sugárzási gátak súlyos sérülése		Windscale-reaktor Anglia, 1957**  TMI-2, USA, 1979
4. Telephelyen kívül jelentős hatással nem járó baleset	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kismértékű kibocsátás</li> <li>▪ A lakosság sugárterhelése az előírt korlát közelében</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Az aktív zóna, illetve a sugárzási gátak jelentős sérülése</li> <li>▪ Egy dolgozó halálos sugárterhelése</li> </ul>		Windscale-reprocesszáló üzem Anglia, 1973**
3. Súlyos üzemzavar	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Igen kismértékű kibocsátás</li> <li>▪ A lakosság sugárterhelése az előírt korlát törtrésze</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Súlyos szennyeződés</li> <li>▪ Akut egészségügyi hatások egy dolgozónál</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Majdnem baleset</li> <li>▪ Nem marad biztonsági szint</li> </ul>	Paksi atomerőmű, 2003
2. Üzemzavar		<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Jelentős szennyeződés</li> <li>▪ Egy dolgozó többlet-sugárterhelése</li> </ul>	Üzemzavar a biztonsági intézkedések jelentős hibáival	
1. Rendellenesség			Az engedélyezett üzemi korlátokat meghaladó rendellenesség	
0. Skála alatti esemény	Nincs biztonsági jelentősége			

\* Az itt használt szakkifejezések magyarzatát lásd a könyv végén levő jegyzékben.

\*\* A helység neve ma Sellafield.

ban ez az Országos Atomenergia Hivatal Nukleáris Biztonságtechnikai Igazgatósága, OAH NBI) és egyben javaslatot tenni az esemény besorolására. A végül nyilvánosságra kerülő besorolást a hatóság hagyja jóvá – esetleg az üzemeltető és a hatóság közötti egyeztetés eredményeképpen.

Az INES az eseményeket hét fokozatba sorolja be, amelyek közül az első háromba tartoznak az *üzemzavarok*, a többi balesetnek minősül. A pontos besorolásnak részletes kézikönyve van, amelyet országonként külön dolgoznak ki a helyi sajátosságok figyelembevételével. Az F.1. táblázatban a legfontosabb kritériumokat adjuk meg. A magasabb fokozatokra a táblázatban példát is adunk. Az 1. és 2. fokozat eseményei annyira gyakoriak, hogy ezekre felesleges példát hozni.

Az INES alapján különböző összeállítások látnak napvilágot, amelyek pontatlanságaik miatt ritkán használhatók komolyabb következtetések levonására. Például az internetről letöltöttük<sup>2</sup> a *Beszélgjenek a tények* című összeállítást, amely nem ismeri a Szabó-féle összeállítás számos balesetét, viszont meglehetősen pontatlanul közli, amit közöl: Csernobilt Mexikóba, a bulgáriai Kozlodujt Belgiumba teszi (Moxloduj néven) stb. Végül a Los Alamos Nemzeti Laboratórium (Új Mexikó, USA) összeállítását választottuk, mert ez a kritikussági balesetek (2.4. alfejezet) tekintetében pontos és megbízható [51]. A helyzet az, hogy a halálessel és súlyos, de nem halálos dózissal járó reaktorbalesetek mind ebbe a csoportba tartoznak. Fontos kihangsúlyozni, hogy ezek Csernobil kivételével nem atomerőműben történtek. A baleset szenvedő berendezések típusuk szerint a következő két fő csoportba oszthatók: urán- vagy plutóniumfeldolgozó üzemek, illetve kísérleti vagy kutatóreaktorok.<sup>3</sup>

<sup>2</sup> [www.prop1.org/2000/accident/facts1.htm](http://www.prop1.org/2000/accident/facts1.htm): *Let the Facts Speak*

<sup>3</sup> Egy kísérleti reaktorban egy újfajta reaktor tulajdonságait tanulmányozzák. Egy kutatóreaktor esetében a kutatás tárgya nem maga a reaktor, hanem a reaktor csak eszköze fizikai, kémiai, biológiai, metallurgiai és egyéb kutatásoknak.

F.2. táblázat. A feldolgozó üzemekben és reaktorokban történt balesetek adatai [51]

Ország	Berendezés	Haláleset	Súlyos dózis	Jelentős dózis
Argentína	feldolgozó	–	–	–
	reaktor	1	–	2
Belgium	feldolgozó	–	–	–
	reaktor	–	1	–
Japán	feldolgozó	2	–	1
	reaktor	–	–	–
Jugoszlávia	feldolgozó	–	–	–
	reaktor	1	5	–
Kanada	feldolgozó	–	–	–
	reaktor	–	–	3
Nagy-Britannia	feldolgozó	–	–	3
	reaktor	–	–	–
Szovjetunió	feldolgozó	5	4	16
	reaktor	4	6	–
USA	feldolgozó	2	–	11
	reaktor	5	–	15

Az F.2. táblázatban összesítettük azokat a kritikussági baleseteket, amelyek személyi sérüléssel (esetleg halálessel) jártak. A feldolgozó üzemekben tehát összesen 7 haláleset, 4 súlyos és 30 jelentős sugársérülés történt. Ugyanez a reaktorokban: 12 haláleset, 12 súlyos és 20 jelentős sugársérülés. A halálesetek száma tehát összesen 19. A táblázatban nem szerepelnek azok a balesetek, amelyek nem jártak jelentős személyi sérüléssel. Emiatt maradtak ki a Franciaországban és Svájcban történt balesetek. Az [51] összeállítás összesen 60 kritikussági balesetet ismertet. Mint már említettük, nem szerepel itt a baleseteknek egy fontos osztálya: az atomerőművekben történtek olyan balesetek, amelyek nem jártak személyi sérüléssel, továbbá azok, amelyeknek nincs közük a reaktorhoz. Emiatt maradt ki – például – a Bohunicében (Szlovákia) már bezárt, nehézvízzel moderált és szén-dioxidral hűtött A-1 atomerőmű balesete: itt az álló reak-

torból karbantartási hiba miatt kitört szén-dioxid ölt meg két embert. Egyik csoportba sem soroltuk egy szovjet atom-tengeralattjáró 1961-ben bekövetkezett balesetét, amelyben több személy kapott 10 és 50 Gy közötti dózist. Közülük nyolc ember halt meg.

Befejezésül érdemes néhány balesetet külön is kiemelni, mert vagy nagy publicitást kaptak, vagy ugyan nem váltak közismertté, de tanulságaik nagyban hozzájárultak a reaktorbiztonság elméletének fejlődéséhez. Mindekenelőtt ilyen Csernobil. Egész könyvünk erről szól, tehát itt már nem foglalkozunk vele. A többi azonban számot tarthat az Olvasó érdeklődésére.

A kísérleti és kutatóreaktorokban történt balesetek tanították meg a tervezőket a helyes irányítástechnikára, műszerezésre és szabályzatokra. A legdrámaibb tanulságokkal járt a két legsúlyosabb baleset, az amerikai SL-1 kutatóreaktor, továbbá a jugoszláv kísérleti reaktor balesete, amelyek együtt négy halálesetet és öt súlyos sugársérülést okoztak. Mindkét esetben egy leállított reaktoron végeztek az operátorok valamilyen műveletet. Alapvető tanulság, hogy kikapcsolt irányító- és mérőrendszer mellett minden műveletet műszaki intézkedésekkel le kell tiltani.

Az angliai Windscale-ben egy grafitmoderátorú, levegővel hűtött reaktor működött plutóniumtermelés céljából. (A hely nevét később Sellafielldre változtatták.) Az ott történt baleset azóta is vita tárgya. Az ún. *Wigner-effektus*<sup>4</sup> következtében a grafit felrobbant, megroncsolta a reaktor fűtőelemeit, majd a grafit és az urán meggyulladt. A baleset következtében sok radioaktív anyag szóródott szét: zömmel nemesgázok, jód és tellúr, cézium és stroncium. Ezek közül már csak a <sup>137</sup>Cs, <sup>89</sup>Sr és <sup>90</sup>Sr aktivitása maradt meg. Kibocsátott mennyiségük rendre:

<sup>4</sup> A neutronok a grafit kristályrácsában nagyszámú rácshibát hoznak létre, amelyek szobahőmérsékleten tartósan fennmaradnak, de megszűnnek, amikor a grafitot elég magas hőmérsékletre melegítik. Mikor ezt a grafit hőmérséklete eléri, a rácshibák gyorsan megszűnnek, és hirtelen nagy mennyiségű energia szabadul fel.

$2 \cdot 10^{13}$  Bq,  $3 \cdot 10^{12}$  Bq és  $3 \cdot 10^{12}$  Bq. Ha ezeket a számokat a 6.1. táblázattal összevetjük, látható, hogy ennek a balesetnek a súlyossága ezerszer kisebb, mint Csernobilé. Az ír környezetvédők azóta is azzal vádolják az angolokat, hogy elszennyezik az Ír-tengert.

Az *energetikai berendezésekben* történt balesetek az előbbieknél nagyobb hatást fejtettek ki, és jobban magukra vonták a közvélemény figyelmét. Ennek oka, hogy itt súlyos balesetéről is szó van. Csernobil mellett a legtöbbit emlegetik a *TMI-2-reaktor*<sup>5</sup> balesetét (1979. március 28). Az egészzet az indította el, hogy egy látszólag jelentéktelen szelepet zárva felejtettek. Ennek hatására – bonyolult áttételeken keresztül – a reaktorban nőni kezdett a nyomás, a térfogat-kompenzátor<sup>6</sup> biztonsági szelepe rendben kinyílt, de a nyomás csökkenését követően nem zárt vissza. Az operátor a vezénylőben számos jelzést helytelenül értelmezett, és kikapcsolta az automatikusan, szabályszerűen megindult üzemzavari szivattyúkat. Végeredményben lejátszódott az addig csak elméletileg elképzelt *hűtőközeg-elvesztéses üzemzavar* (2.4 alfejezet). A reaktor aktív zónája megolvadt, és nagy anyagi kár keletkezett. A konténment lokalizálta a reaktorból kiáramló radioaktív gőzt. Konstruktív hiba folytán kikerült  $7 \cdot 10^{11}$  Bq  $^{131}\text{I}$  és  $10^{17}$  Bq nemesgáz. Ezek azonban gyorsan lebomlottak, így nem lehet beszélni a környezet jelentős radioaktív szennyezéséről. Személyi sérülés nem történt, a lakosság többletsugárterhelése elhanyagolható. Az erőmű 8 km-es körzetében bezárták az iskolákat, és javasolták a terhes nők és kisgyermekek ideiglenes kitelepítését. Ez a baleset voltaképpen igazolta a vízzel moderált és hűtött atomerőművek biztonsági alapelveit. Mivel azonban konstruktív hibákra is fény derült, továbbá emberi tévedések történtek, a TMI-2-baleset hatására az egész világon alaposan megszigorították a biztonsági előírásokat, és átszervezték a biztonsági felügyeletet.

<sup>5</sup> A Three Mile Island (USA, Pennsylvania) atomerőmű 2. reaktora.

<sup>6</sup> A 2.2. ábra (5) jelű eleme.

*Tokai Mura* Japán egyik legjelentősebb nukleáris központja. Többek között ott készülnek a Joyo kísérleti gyors reaktor<sup>7</sup> fűtőelemei. A baleset egy uránátalakító berendezésben történt. A baleset napján feldolgozott urán dúsítása<sup>8</sup> 18,8% volt. Ilyen dúsítás esetében a feldolgozóanyagban levő uránmennyiség – a megszaladás elkerülése érdekében – nem lehetett (volna) több mint 2,4 kg. Ezzel szemben 16 kg uránt tartalmazó oldat került a berendezésbe, amelyben ennek hatására megindult a láncreakció. A baleset oka, hogy elmulasztották az urán dúsításának ellenőrzését. A berendezést korábban 5% dúsítású urán feldolgozására is használták. A 16 kg urán ennél a dúsításnál még biztonságos volt, és a berendezés kezelői nem vették figyelembe, hogy ezúttal nagyobb a dúsítás, tehát csak 2,4 kg-ot lett volna szabad betölteni.<sup>9</sup> A baleset végső oka tehát az *üzemviteli utasítás megszegése* volt. A baleset következtében három alkalmazottat ért jelentős sugárdózis. Közülük kettő meghalt. Rajtuk kívül mintegy 46-an kaptak kisebb mértékű sugáradagot. A Tokai Mura központ 150 m-es környékéről 150 embert telepítettek ki, továbbá a központ 10 km-es körzetében élő lakosságnak a lakásukban való elzárkózást javasolták. Másnap lezárták azt az épületet, ahol a baleset történt, de minden más baleset-elhárítási korlátozást feloldottak.

Ha a fentieket összesítjük, azt kapjuk, hogy – Csernobilt nem számítva – a megtörtént balesetekben meghalt 19 ember, súlyos többletdózist kapott 16, jelentőset mintegy 50. Sok ez vagy kevés? Erre csak akkor kaphatunk választ, ha egyéb energiatermelési módok kockázatával összevetjük. Természetesen mindegyik villamosenergia-

<sup>7</sup> A *gyors reaktor* olyan reaktor, amelyben a hasadásban keletkező neutronokat nem engedik lelassulni, így bennük a láncreakciót ún. *gyors neutronok* tartják fenn. A világon csak néhány ilyen berendezés működik – kísérleti jelleggel.

<sup>8</sup> A dúsítás megadja, hogy az urán hány százalékát teszi ki az <sup>235</sup>U-izotóp.

<sup>9</sup> 18,8% dúsítás esetében a kritikussághoz vezető mennyiség 5,5 kg körüli értékre tehető.

termelési mód esetében figyelembe kell venni az összes kockázatot, nem csak azokat, amelyek az erőművek üzemeltetése közben történő balesetekre vonatkoznak. A legfőbb kockázatot az energiahordozó bányászása és szállítása jelenti. Az F.3. táblázatban összegeztük négy energiahordozó esetében a mutatkozó kockázatokat az OECD adatai alapján. Minden adat 1 Gwa villamos energia<sup>10</sup> termelésére vonatkozik. A kései kockázat a szén esetében szilikózist, az atomenergia esetében pedig késleltetett rákot jelent. Az adatok azt mutatják, hogy a legnagyobb kockázatot a szén jelenti. Az atomenergia kockázata gyakorlatilag megegyezik a földgázéval. Ha azonban levonjuk a bányászat kockázatát, a legbiztonságosabbnak az atomenergia látszik. Objektívan értékelve tehát – a könyvünk tárgyát képező csernobili balesetet is figyelembe véve – az összes villamosenergia-termelési módok közül az atomenergia okozza a legkisebb üzemi és lakossági ártalmakat.

F.3. táblázat. Üzemi ártalmak az OECD-országokban [32]

Energiahordozó		Halálos kimenet/Gwa		Nem halálos kimenet/Gwa	
típusa	kitermelési módja	azonnali	kései	baleset	betegség
szén	mélyművelés külfejtés	0,4–3,2 0,16–1,7	0,13–1,1 0,02–0,15	60	3
olaj	szárazföldi tengeri	0,2–0,85 0,2–1,35		30	2
földgáz	szárazföldi tengeri	0,1–5 0,17–1		15	0
atom	mélyművelés külfejtés	0,09–0,5 0,07–0,4	0,13–0,37 0,07–0,33	15	0,1

Befejezésül érdemes megjegyezni, hogy voltak halálos balesetek, amelyek orvosi célra használt radioaktív sugárforrással kapcsolatban történtek. Ezek azonban nem

<sup>10</sup> Az az energia, amelyet egy GW (= 1000 MW) teljesítményű villamos erőmű egy év alatt termel, ha végig maximális teljesítményen üzemel.



sorolhatók a reaktorbalesetek közé, tehát kimaradtak az F.2. táblázatból. A teljesség kedvéért Makai könyvéből [57] átvesszük a legsúlyosabb esetek néhány adatát. 1996-ban Costa Ricában tévesen alkalmazott sugárterápia miatt meghalt 40 ember. Hasonló okból történt 11 haláleset Spanyolországban (1990). Marokkóban (1984) és Mexikóban (1962) helytelenül alkalmazott sugárforrás nyolc, illetve négy ember halálát okozta. Nevezetes a braziliai Goianában leszerelt kórházban *felejtett*  $^{137}\text{Cs}$ -sugárforrás esete (1987): gyerekek találták meg, játszottak vele, és négyen kaptak halálos sugársérülést. Hasonló sugár-balesetek öltek meg további 22 embert Algériában, Fehéroroszországban, Bulgáriában, Észtországban, az Egyesült Államokban, Izraelben, Kínában, Németországban, Norvégiában, Olaszországban, Svájcban, a Szovjetunióban. Az áldozatok száma összesen 89.

Viszonyítási alapként érdemes a következő adatra emlékeztetni: csak Magyarországon évente 1200–1300 ember hal meg közlekedési balesetben.