

ATOMERŐMŰVEK KOCKÁZATÁNAK ÉRTÉKELÉSE

Holló Előd

szakigazgató, VEIKI Villamosenergiapari Kutató Intézet Zrt.
hollo@aed.veiki.hu

A veszély, biztonság és kockázat kapcsolata

A műszaki fejlődés nemcsak előnyökkel, hanem újabb kockázatokkal is jár. Érvényes ez a különböző energiatermelési módokra is, amelyek technikai eredetű veszélyeket jelentenek az emberek és a természeti környezet számára. E veszélyek egy része

- *permanens veszély*, amely hatása folyamatosan és biztosan érvényesül az általa okozott környezeti ártalmakon keresztül. A veszély realizálódása során általában ártalmas anyagok kerülnek a környezetbe, amelyek súlyosságát a veszélyes anyagok kibocsátásának intenzitása jellemez,
- *potenciális veszély*, amely az adott technológia normál üzemiállapotának megszűnésekor lép fel. A veszély realizálódása általában együtt jár nagymértékű energiafelszabadulással, amelynek súlyosságát az előidézett következmények nagysága és bekövetkezésének valószínűsége együttesen jellemez.

Az atomerőművekről megállapítható, hogy normál üzemiük során nincs káros hatásuk, és nem okozzák a környezet károsodását. Ugyanakkor potenciális veszélyforrások, mivel többszörös meghibásodások esetén akut veszélyhelyzetet idézhetnek elő.

Az atomerőművek minőségi sajátossága a *biztonság*, amely kizárja a személyzet és a lakosság életének, egészségének, valamint a létesítmény és a környezet épségének adott kockázati szinten felüli veszélyeztetését. Azaz a biztonság annak mértéke, hogy mennyire vagyunk védettek az atomerőmű üzeméből adódó potenciális, káros következményekkel szemben.

Az atomerőművek üzemeltetésének mennyiségi jellemzője a *kockázat*, amely a normál üzemtől eltérő üzemiállapotok lehetséges következményeinek és azok bekövetkezési valószínűségének a szorzata. Azaz a kockázat annak mértéke, hogy mennyire vagyunk kitéve a potenciális következmények hatásának.

Az atomerőművek tervezése és üzemeltetése során alapvető szempont a magasfokú biztonság elérése és fenntartása, ami egyidejűleg a kockázat alacsony szintjét is jelenti. Ezek biztosításának eszköze részben a technológiai rendszerek fizikai felépítésének megfelelő kialakítása, korszerű műszaki megoldások alkalmazása, másrészt az üzemeltetés, a szervezeti felépítés és munkaszervezés magas színvonalú megvalósítása.

Ezek az eszközök a kockázat mindkét összetevőjét kedvező irányban befolyásolhat-

ják, azaz egyrészt az atomerőmű működésével együtt járó potenciális veszélyek realizálódásának valószínűségét kis értéken tartják, másrészt a várható következményeket korlátozzák.

A kockázat értékelésének folyamata

Az atomerőművek biztonságának növeléséhez, kockázatának csökkentéséhez kiindulásként ismerni kell az ezeket meghatározó tényezőket, hiszen e tényezők befolyásolásán keresztül lehet biztosítani a megfelelő szintjüket. A műszaki fejlődés során a biztonság-, illetve kockázatértékelések két általános szemlélete (módszere) alakult ki, a mai korszerű biztonsági és kockázatelemzések a két megközelítést együttesen, egymást kiegészítve alkalmazzák:

- *a determinisztikus szemlélet*, amely a névlegestől eltérő üzemállapotokban kialakuló folyamatok fizikai jellemzőit vizsgálja és értékeli, s ezen keresztül bemutatja, hogy a biztonságot garantáló feltételek a tervezés körébe bevont esetekben teljesülnek. A determinisztikus biztonsági elemzések az üzemvitel engedélyezésének alapját képezik,
- *a valószínűségi szemlélet*, amely a fizikai folyamatok kialakulásának valószínűségét befolyásoló tényezőket vizsgálja és értékeli, s ez alapján bemutatja, hogy a potenciális veszélyhelyzetek bekövetkezésének valószínűsége az elfogadható tartományon belül van. A valószínűségi biztonsági elemzések kiemelt figyelmet fordítanak az operátori tevékenységek biztonságra gyakorolt hatásának elemzésére.

Az atomerőművek biztonságát általánosságban a mélységben tagolt védelem biztosítja, ennek megfelelően a valószínűségi biztonsági elemzések (PSA – Probabilistic Safety

Assessment) a legsúlyosabb következményként a zónasérülést (1. szintű PSA) és a környezeti radioaktivitás-kibocsátást (2. szintű PSA) tekintik.

Az elemzések akkor tekinthetők teljes körűnek, ha a zónasérülés, illetve a radioaktivitás kibocsátás gyakoriságát az erőmű összes üzemállapotában (névleges teljesítményű üzem + leállás/visszaindulás különböző fázisai) feltételezhető valamennyi kezdeti esemény (technológiai meghibásodások, belső és külső veszélyek, például: tűz, elárasztás, földrengés) következményeként meghatározzák. A kibocsátások elemzése során a teljeskörűséghez hozzátartozik minden lényeges aktivitásforrás (elsősorban az aktív zóna és a pihentető medence fűtőelemei) hatásvizsgálata.

Az értékelések folyamatának lépéseit három fő csoportba lehet sorolni:

- eseménylogikai modellek kidolgozása, amely során először fel kell mérni azokat a veszélyhelyzeteket (kezdeti eseményeket), amelyek következményei zónakárosodáshoz, illetve aktivitás-kibocsátáshoz vezethetnek. Determinisztikus folyamatszimulációval meg kell határozni a kezdeti eseményt követően a biztonságvédelmi rendszerek meghibásodása esetén kialakulható üzemzavari és baleseti folyamatokat (eseményláncokat). A folyamatszimuláció során be kell azonosítani a rendszerek sikeres beavatkozásának szükséges és elégséges feltételeit (sikerkritériumokat). Rendszerelemzéssel fel kell tárnai a sikeres beavatkozásokat megakadályozni képes meghibásodásokat (hibaeseményeket) és azokat a logikai feltételeket, amelyek fennállása esetén a funkcióvesztés fellép (hibafák). Az eseménylogikai modellt a kezdeti eseményekhez tartozó eseményláncok ösz-

szességét grafikus formában tartalmazó eseményfák és hibafák képezik. A Paksi Atomerőmű technológiai eredetű kezdeti eseményeihez tartozó 1. szintű eseménylogikai modellje mintegy 53 db eseményfát, 600 db eseményláncot, 25 000 logikai kapuból és 5000 hibaeseményből álló hibafarendszert tartalmaz,

- meghibásodási adatok összeállítása, amely során az eseménylogikai modellben szereplő hibaeseményeket jellemző információkat kell meghatározni. Ez kiterjed a kezdeti események várható fellépési gyakoriságára [1/reaktorév], a hardver berendezések független és függő meghibásodásainak hibarátájára [1/óra], az emberi hibák elkövetésének valószínűségére, valamint az üzemeltetés és karbantartás egyes elemi tevékenységeinek időparamétereire (például javítási idő [óra], tesztelési ciklusidő és időtartam [óra]).
- A számítások bemeneti adatkészlete mind erőműspecifikus statisztikai adatokat, mind külföldi adatbázisokban található nemzetközi adatokat tartalmazhat. A két forrástípusból származó információkat a Bayes-elmélet összefüggései alapján kombinálva lehet az elemzések bemeneti adataiban rejlő bizonytalanságokat csökkenteni,
- számítások elvégzése, eredmények értékelése, amelynek során egyrészt feladat a zónakárosodás, illetve aktivitáskibocsátás valószínűsége pontértékeinek kiszámítása, másrészt az eredmények bizonytalansága mértékének a megbecslése. Ez utóbbit a valószínűségi pontértékek eloszlás- és sűrűségfüggvényei, illetve ezek paramétereire jellemzik.

Az eredmények értékelése a valószínűségi pontértékek megengedhető határértékekkel való összevetését és a bizonytalansági jel-

lemzők értéke elfogadhatóságának megítélését jelenti. Az értékelések emellett kiterjednek ezen eredményeket dominánsan meghatározó hatások, tényezők beazonosítására érzékenységi vizsgálatokon keresztül, amelyek információt szolgáltatnak az esetlegesen szükséges biztonságnövelő/kockázatcsökkentő intézkedések meghatározásához.

A Paksi Atomerőmű kockázatának jellemzői

Az atomerőmű kockázata megítélésének egyik szempontja az, hogy mértéke mennyiben felel meg a nemzetközi elvárásoknak. Ez utóbbit a *Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) ajánlásai* testesítik meg, melyek szerint üzemelő blokkokra a zónasérülés valószínűsége egyéves üzemidő alatt ne haladja meg a $1,0 \times 10^{-4}$ értéket, tervezett újabb blokkokra az $1,0 \times 10^{-5}$ értéket (INSAG, 1988).

A Paksi Atomerőmű kockázatának mértékét illetően a jelenlegi tényhelyzet az, hogy teljesül a fenti nemzetközi elvárás, az atomerőmű négy blokkjának a kockázati (biztonsági) szintje közel azonosnak tekinthető. A blokkok kiegyenlített műszaki konstrukciójúak, azaz nincs olyan berendezés, rendszer, illetve tényező, amely aránytalan mértékben járulna hozzá az erőmű kockázatához.

A Paksi Atomerőmű az elmúlt években jelentős biztonságnövelő intézkedéseket (BNI) valósított meg. Ezek hatására a biztonság színvonala számottevően javult, a kockázat mértéke fokozatosan csökkent, és jelenleg azonos nagyságrendű a vele azonos korú nyugati atomerőművekével. A BNI-k kedvező hatását illusztrálja a zónasérülési valószínűség időbeli változása (Bareith et al., 2005).

A Paksi Atomerőmű stratégiai célkitűzéseit úgy valósítja meg, hogy az üzemeltetés biztonságát elsődleges fontosságúnak tekinti.

A megvalósítás fázisában levő, kb. 8 %-os teljesítménynövelés hatása a zónakárosodás valószínűségére gyakorlatilag elhanyagolható (~1 % növekedés). Az előkészítés alatt álló mintegy húszéves üzemidő-hosszabbítás időszaka alatt az erőművet úgy kell működtetni, hogy a biztonság színvonala ne csökkenjen, az üzemeltetésből származó kockázat ne növekedjen. Ezt a berendezések és rendszerek szisztematikus élettartamgazdálkodásával, öregedéskezelésével és hatékony karbantartásával tervezik biztosítani.

A jövő atomerőművei kockázatának jellemzői

Az atomerőművek üzemeltetésének távlati, globális biztonsági célkitűzése, hogy a potenciális balesetek kockázata ne növekedjen, sőt csökkenjen a beépített nukleáris kapacitás bővülése ellenére is. E célkitűzés elérésének módja az, hogy a már üzemelő atomerőművek biztonságát – dinamikus minőségi jellemzőként kezelve – megfelelő intézkedé-

sekkel növeljék (lásd: BNI programot a Paksi Atomerőműben), az újabb atomerőművek esetén pedig szigorúbb kockázati kritériumokat is kielégítő műszaki megoldásokat alkalmazzanak. Ez utóbbi elvet veszik figyelembe

- a kiviteli tervezés fázisában levő harmadik generációs (evolúciós) atomerőművek, ahol a szigorodó tervezési követelményeket passzív védelmi megoldások és az eddigieknél nagyobb megbízhatóságú rendszerelemek alkalmazásával elégítik ki, valamint
- a koncepcionális tervezés fázisában levő negyedik generációs (innovatív) atomerőművek, ahol újabb reaktortechnológiák kifejlesztésével törekszenek a kockázati szintek további, jelentős mértékű csökkentésére.

Kulcsszavak: *veszély, kockázat értékelés, valószínűségi biztonság elemzés*

IRODALOM

Bareith Attila – Holló Előd et. al. (2005): *Összefoglaló a Paksi Atomerőmű biztonságának aktuális megítéléséről a valószínűségi biztonsági elemzések szemszögéből*. 22.21-803/14 számú VEIKI jelentés.

INSAG – International Nuclear Safety Advisory Group (1988): *Basic Safety Principles for NPPs*. Safety Series No. 75-INSAG-3, IAEA, Vienna

