

CÉLZOTT BIZTONSÁGI FELÜLVIZSGÁLAT A PAKSI ATOMERŐMŰBEN 2/1

Elter József, Eiler János
Paksi Atomerőmű Zrt.

A japán fukusimai atomerőmű balesetét követően az Európai Unió összes atomerőművében, így a paksi atomerőműben is a reaktorbaleset tanulságain alapuló biztonsági felülvizsgálatot hajtottak végre. Ezt a célirányos biztonsági felülvizsgálatot közkeletű szóval *stressz-teszt*nek nevezték. A felülvizsgálat igazolta, hogy a paksi atomerőmű blokkjai teljesítik a tervezési alaphoz tartozó követelményeket, beleértve a belső és külső hatásokkal szembeni védelemkritériumait. Az atomerőmű védetségének a fukusimaihoz hasonló, vizsgált kulcseményekkel szemben is jó.

Az első részben bemutatjuk a célzott biztonsági felülvizsgálat során alkalmazott módszert, értékeljük az atomerőmű földrengésbiztonságát, valamint a külső elárasztásokkal szembeni védelemkritériumait.

A cikk második részében sor kerül az atomerőmű ellenálló képességének vizsgálatára olyan eseményekkel szemben, mint a villamos betáplálás és végző hőelnyelő funkció tartós (több napos) elvesztése, valamint súlyos baleset miatt jelentős radioaktív kibocsátás vagy extrém intenzitású sugárzási tér kialakulása.

Bevezetés

A nukleáris iparban követett általános gyakorlat szerint a szokatlan eseményeket, üzemzavarokat, baleseteket eddig is részletesen megvizsgálták annak érdekében, hogy ezek újabb előfordulását kizárják vagy bekövetkezésük esélyét, lehetséges következményeit csökkentsék. Ezért jogosan merült fel a kérdés, hogy a fukusimai atomerőműben kialakult balesethez hasonló esetekben mi történne a világ különböző atomerőműveiben. A paksi atomerőmű felülvizsgálata során a hazai szabályozó hatóság, az Országos Atomenergia Hivatal az alábbi kérdésekre várt választ:

- A telephelyen lehetséges természeti eredetű külső hatásoknak megfelelően van-e megválasztva az atomerőmű tervezési alapja?
- Hogyan viselné el az atomerőmű a tervezési állapot meghaladó külső természeti hatásokat?
- Milyen módon következhet be tartósan a villamos betáplálás teljes elvesztése és mi lehet ennek következménye?

• Milyen módon következhet be a szükséges fűtőelemhűtés tartós kimaradása és mi lehet ennek következménye?

• Megfelelően felkészült-e az atomerőmű a reaktorok és a pihentető medencék súlyos balesetének elkerülésére, az esetlegesen bekövetkező súlyos balesetek következményeinek csökkentésére?

• Megfelelően felkészült-e az erőmű balesetelhárítási szervezete a fenti események kezelésére, beleértve a fenti események kombinációit, valamint az összes blokk reaktorára és pihentető medencéjére kiterjedő baleseti helyzeteket?

A biztonsági felülvizsgálatokra vonatkozóan jelentős korábbi tapasztalat halmozódott fel a paksi atomerőműben. Az első átfogó biztonsági felülvizsgálatra húsz évvel ezelőtt, nem sokkal az atomerőmű teljes üzembe helyezését követően került sor a közel három év (1991–94) munkájával megvalósított AGNES (Advanced New and General Evaluation of Safety) projekt keretében. A biztonságot, a biztonsági rendszereket, a biztonság szempontjából fontos technológiai elemeket a legújabb nemzetközi üzemi tapasztalatok és kutatási eredmények alapján azóta is rendszeresen újraértékeljük, és tízévente az időszakos biztonsági felülvizsgálatok során jelentésekben, elemzésekben mutatjuk be a felülvizsgálatokból levonható következtetéseket.

A célzott biztonsági felülvizsgálat módszere

A felülvizsgálat részeként vizsgáltuk a fukusimai atomerőművet ért külső természeti csapásokkal analóg események lehetőségét, azaz a telephely földrendezés-veszélyeztetettségét, a telephelyen lehetséges egyéb természeti eredetű veszélyforrások között a Duna áradása, illetve alacsony vízszintje miatti hatásokat, valamint a telephelyen jellemző időjárási hatásokat. Mindegyik természeti eredetű veszélyforrásra meghatároztuk a terhelési jellemzőket a tervezési alapon belül, valamint a tervezési alapon túlmutató esetekre.

A felülvizsgálat során a továbbiakban három – egymástól nem független – kulcseményt vizsgáltunk: (1) a villamos betáplálás tartós (több napos) elvesztése, (2) a végső hőelnyelő funkció tartós elvesztése és (3) súlyos baleset miatt jelentős radioaktív kibocsátás, vagy extrém intenzitású sugárzási tér kialakulása és tartós fennmaradása.

A felülvizsgálat kiterjedt a villamos betáplálás tartós elvesztésének bekövetkeztét megelőzni hivatott biztonsági rendszerek teljesítőképességének értékelésére mind az üzemelő reaktorok esetében, mind a leállított reaktorokban, illetve a pihentető medencékben lévő üzemanyagból származó maradványhő elvezetéséhez szükséges villamos betápláló rendszerek esetében. Ezért áttekintettük a 400 kV-os és a 120 kV-os állomások, a dízelgenerátorok, valamint a váltó- és egyenáramú belső energiaellátás rendszereit.

Az erőmű számos berendezésének működéséhez folyamatos vagy időleges vízűtésre van szükség. A reaktorokban és a pihentető medencékben keletkező maradványhő és a technológiai berendezésekben keletkező hő a hűtést biztosító rendszerek különféle útvonalakon keresztül vonják el. A hőelnyelő funkciót több rendszer láncolata valósítja meg, amelynek végső eleme a Duna. A fűtőelemek hőelvezetési lehetősége akkor veszhet el, ha az erőmű hűtőrendszerei és a Duna-víz közti kapcsolat megszűnik. Ezért a felülvizsgálat kiterjedt a reaktorból történő hőeltávolítást, valamint a pihentető medencék hűtését biztosító rendszerek teljesítőképességének értékelésére, illetve azokra a körülményekre, amelyek a maradványhő elvitelének megghiúsulását okozhatják. Ennek megfelelően áttekintettük mindazon rendszereket, amelyek ebben kulcsszerepet játszanak: a biztonsági hűtővíz rendszert, a sótalánvíz rendszert, az üzemzavari tápvízrendszert, a kiegészítő üzemzavari tápvízrendszert, valamint a pihentető-medence hűtőrendszert.

A felülvizsgálatra kiadott részletes hatósági követelményekkel [1] összhangban a kulcseményekre vonatkozóan az alábbi lépések szerint végeztük el és mutatattuk be a felülvizsgálat eredményeit:

– elemeztük a kulcsemények előfordulásának lehetséges belső vagy külső okait,

– bemutattuk a kulcsemények megelőzésének és elhárításának lehetséges módozatait,

– a bekövetkezési okoktól függetlenül bemutattuk, hogy milyen következményekhez vezet, ha a kulcseményeket nem sikerül megelőzni vagy elhárítani,

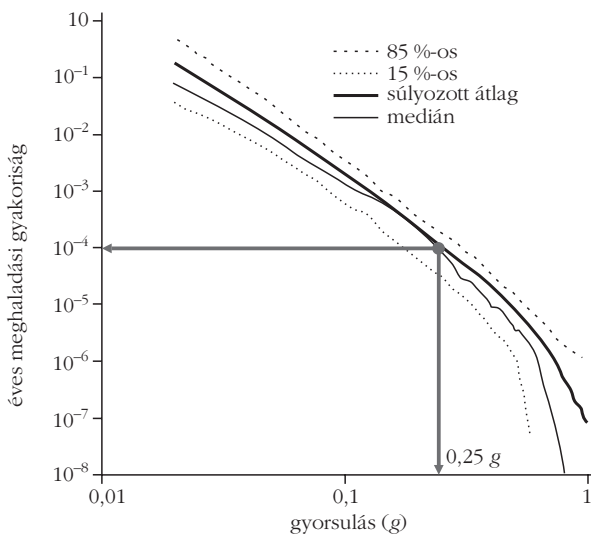
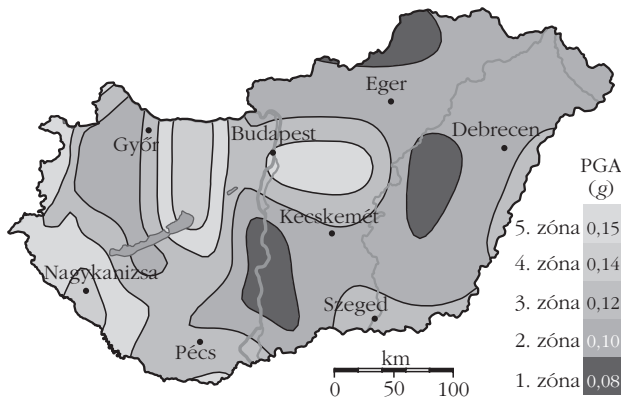
– ismertettük a kulcsemények következményei telephelyi kezelésének módozatait.

A felülvizsgálat a paksi atomerőmű mind a négy reaktorblokkjára vonatkozott, beleértve a pihentető-medencéket valamint a felülvizsgálat célja szempontjából fontos berendezéseket, létesítményeket, dokumentációt, műszaki és humán infrastruktúrát.

A felülvizsgálat eredményei alapján feltártuk azokat a pótlólagos intézkedéseket, amelyek lehetővé teszik, hogy a paksi atomerőmű egy, a fukusimaihoz hasonló baleseti szituációban helytálljon, a jelenleginél is nagyobb védettséget bizonyítson.

A felülvizsgálat eredményei

A felülvizsgálat eredményeit az atomerőmű két jelentésben foglalta össze. Először egy előrehaladási jelentés [2] készült, amelyet 2011. augusztus 11-én nyújtottunk be a nukleáris biztonsági hatóságnak. A végleges jelentést a végrehajtott vizsgálatokról [3] 2011. október 28-án, ugyancsak határidőn belül küldtük meg hatósági felülvizsgálatra. Az összes elkészült jelentés nyilvános, azok megtalálhatók a Paksi Atomerőmű Zrt. és az Országos Atomenergia Hivatal weblapjain. Az alábbiakban – a teljesség igénye nélkül – az említett jelentésekben részletesen ismertetett eredményekből mutatjuk be a fontosabbakat.



1. ábra. Magyarország földrengés-veszélyeztetettsége horizontális gyorsulás értékek 50 évre 10% meghaladási valószínűség mellett (felül), valamint a paksi atomerőmű telephelyére jellemző veszélyeztetettségi görbe, a talajfelszíni vízszintes gyorsulás értékekhez tartozó éves meghaladási gyakoriságok (alul).

Földrengésbiztonság

Nyilvánvaló volt, hogy az atomerőmű földrengésbiztonsága a külső környezeti hatásokkal szembeni biztonság kulcskérdése. Az 1. ábrán látható, hogy a paksi atomerőmű telephelye Magyarország legkevésbé földrengésveszélyes helyén található, ennek ellenére a nyolcvanas évek végén végzett geológiai és szeizmológiai vizsgálatok eredménye szerint az atomerőmű veszélyeztetettsége nagyobb, mint ahogy azt a tervezése során feltételezték. A paksi atomerőmű telephelyének földrengés-veszélyeztetettsége ma már a hazai követelményeknek, a nemzetközi normáknak és jó gyakorlatnak megfelelő geológiai, geofizikai, szeizmológiai és geotechnikai kutatások alapján, korszerű valószínűségi módszerrel meghatározott [4].

A telephelyre érvényes földrengés-veszélyeztetettségi görbe szintén az 1. ábrán látható, amely tartalmazza a tervezési alapba tartozó gyakoribb, de kisebb terhelést eredményező, valamint a tervezési alapon túli ritkább, viszont jelentősebb terhelést okozó földrengések éves meghaladási valószínűségeit különbö-

ző konfidenciaszinteken. A maximális szabadfelszíni vízszintes gyorsulás várható értéke 0,25 g a súlyozott átlag veszélyeztetettségi görbe szerint a 10^{-4} /év gyakorisági szintnél véve. A hazai szabályozással összhangban az atomerőmű tervezési alapjában a külső veszélyeket, így a földrengést is ekkora gyakorisági szintig kell figyelembe venni. Az ennél ritkábban bekövetkező természeti hatások kiszűrhetőek a tervezési alaptól, de az általuk okozott kockázat mértékét meg kell határozni.

A telephelyet az alapkőzet felett laza, vízzel telített, fiatal talajréteg borítja. Ezért a földrengés-veszélyeztettség vizsgálatát ki kellett egészíteni a telephelyi talajrétegek részletes in-situ és laboratóriumi geotechnikai vizsgálatával. Megállapítható volt, hogy telephelyet borító fiatal talajrétegek a 10-20 méteres mélységben talajfolyósodásra hajlamosak. A tervezési alapba tartozó földrengés esetén a talajfolyósodással szembeni tartalék – konzervatív módon számítva – relatíve kicsi. A talajfolyósodás nem vezet a stabilitás elvesztésére, hanem az épületek süllyedését okozhatja. Az épületsüllyedés és a talajfolyósodás jelenségének még további vizsgálata szükséges a tervezési alapot nem meghaladó esetekre és a tervezési alap esetében is a süllyedés által okozott meghibásodással szembeni tartalék meghatározása, s a meghibásodások azonosítása és azok kiküszöbölését szolgáló intézkedések megtervezése céljából.

Az évekkel korábban végrehajtott felülvizsgálat, megerősítések és minősítés eredményeként a földrengésre eredetileg nem tervezett paksi atomerőmű blokkjain a tervezési alapba tartozó földrengések esetén teljesülnek az alapvető biztonsági funkciók, így biztosított a reaktor leállítása, szubkritikus állapotban tartása, lehűtése és a reaktor tartós hűtése, továbbá a radioaktív közegek visszatartása.

Az atomerőmű földrengésbiztonságának növelése egyedülálló komplexitású feladat volt, hiszen egy lényegében földrengésre nem tervezett erőművet kellett egy jelentősebb megrázottságra megerősíteni és minősíteni. Ez a projekt a paksi atomerőmű legnagyobb és másfél évtizedig tartó biztonságnövelő programja lett. A könnyen végrehajtható, legsürgősebb megerősítések egy előzetes, felülbecsült (0,35 g) földrengésterhelésre történtek. Ekkor a kábeltálcák, a villamos- és irányítás-technikai keretek, szekrények, az akkumulátortelepek rögzítésének ellenőrzése, a főépület különböző helyiségeit elválasztó, nem szerkezeti válaszfalak állékonyosságának ellenőrzése, illetve mindezek megerősítésének megtervezése és kivitelezése történt meg.

A bonyolultabb, komoly előkészítést igénylő megerősítések tervezése és kivitelezése az időközben pontosított (0,25 g) terhelési jellemzők figyelembe vételével később zajlott. Két tipikus megerősítést mutat a 2. ábra. Az elvégzett munka jellemzésére elég egy számot ismertetni: több mint 2500 tonna acélszerkezetet építettek be az erőmű megerősítésére.

A feladat megvalósíthatósága érdekében a szerkezetek és a rendszerek dinamikai számításának módszerét és a minősítési eljárást azok biztonsági és földrengés-



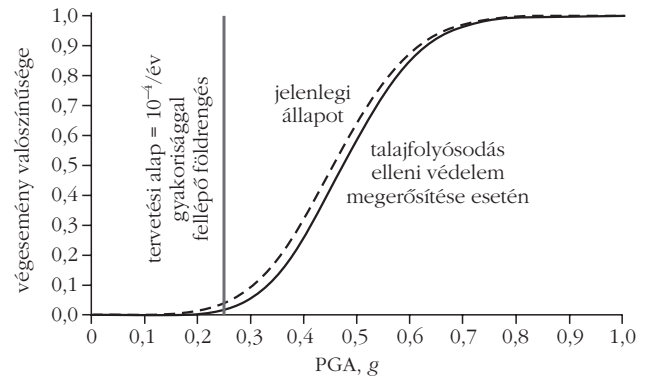
2. ábra. Tipikus megerősítések az épületszerkezetre (felül) és a csővezetékre (alul).

gés-biztonsági osztálya szerint differenciáltuk. Kombináztuk az atomerőmű tervezéséhez előírt, szabványos módszereket és az újraminősítéshez kidolgozott elemzési és empirikus minősítési módszertant. A módszertan kiválasztását egyedülálló robbantásos kísérletekkel, próbaszámitásokkal, numerikus kísérletekkel alapoztuk meg.

A program végén valószínűségi biztonsági elemzés igazolta, hogy az elvégzett intézkedések a biztonság megfelelő szintjét eredményezték.

A biztonsági földrengés elleni védelem jelenlegi, ismételt felülvizsgálata rámutatott a földrengésnek néhány olyan indirekt hatására, amelyek kiküszöbölésével a védettség szintje tovább növelhető. Az ezzel kapcsolatos javasolt intézkedések egy része olyan építmények, létesítmények földrengésre való minősítését célozza, amelyek nem rendelkeznek közvetlen nukleáris biztonsági funkcióval, de esetleges sérülésük gátolhatja egy nagyobb földrengés utáni helyzetben az általános mentési tevékenységet, vagy indirekt módon veszélyeztethet biztonsági szereppel bíró berendezést.

A felülvizsgálat során meghatároztuk, hogy a villamos betáplálás, illetve a végső hőelnyelő felé megvalósított hűtési lehetőség tartós elvesztését a tervezési alapon túli földrengések mely szintje milyen eséllyel képes kiváltani, vagyis meghatároztuk e funkciók tervezésen túli földrengésekre vonatkozó tartalékait. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy az érintett



3. ábra. A villamos betáplálás földrengés miatti elvesztésének átlagos valószínűsége a vízszintes talajfelszíni gyorsulás (alapközvetre meghatározott) maximumának (PGA) függvényében.

rendszerek egy tervezési alapon túli földrengés esetén sem feltétlenül sérülnek meg, bár sérülésük esélye a földrengés erősségével növekszik.

A 3. ábrán látható, hogy például az villamos betáplálási funkció elvesztésének átlagos valószínűsége 0,46 g vízszintes gyorsulásnál éri el a 0,5 értéket, amely gyorsulás viszont már a 10^{-5} /év körüli gyakorisággal előforduló, vagyis a tervezési alapnál egy nagyságrenddel ritkább földrengésekre lenne jellemző. A tervezési alapnál mintegy 20%-kal nagyobb terhelést okozó 0,3 g vízszintes szabadfelszíni gyorsulásnál a funkció elvesztésének valószínűsége kisebb, mint 10%.

Mint korábban említettük, az alacsonyabb gyorslástartományokban meghatározó szerepet játszó sérülési mód a főépület süllyedését okozó talajfolyósodás. Értékeljük, hogy egy ilyen talajfolyósodás elleni védelem kialakítása, megerősítése mennyiben növeli meg a tartalékokat. Azt találtuk, hogy a tervezési alapnál nem sokkal erősebb földrengésekre a tartalékok növekedésének mértéke számottevő. Erre vonatkozóan a védettséget fokozó javító intézkedést tűztünk ki. A tartalék várható növekedését mutatja a 3. ábrán vékony vonallal rajzolt görbe.

Elárasztás elleni védettség

A helyi vízmércék segítségével gyűjtött jellemzők statisztikai feldolgozása alapján megállapítottuk, hogy az atomerőmű telephelyének környezetében a 10^{-4} /év gyakoriságú jegesárvíz szintje Bf 96,07 m, a jégmentes árvíz szintje Bf 95,51 m lehet.¹ Mivel a telephely terepszintje mind a két említett árvízszintnél magasabb, árvíz eredetű elárasztással az atomerőmű és alkotó rendszereinek tervezési alapjában nem kellett számolni.

Ismert, hogy az árvízvédelmi töltés a felvízi szakaszon alacsonyabb, mint a telephely feltöltési szintje, valamint az árvízvédelmi töltés magassága az atomerőművel szemben a Duna túlsó partján is alacsonyabb. Így a 10^{-4} eset/év gyakoriságnál ritkábban előforduló árvizek esetén a telephelytől északra lévő, valamint a túloldali alacsonyabb gátszinteken már mindenképp

¹ A „Bf” jelölés a Balti-tenger szintje fölötti magasságot jelenti.

pen számítani lehet arra, hogy a gát mögötti területeket is elönti a folyó. Mindezek alapján viszont feltételezhetjük, hogy extrém árvizek a paksi telephelyhez nem juthatnak el.

A lehetséges legnagyobb, a bekövetkezési gyakoriságtól független jégmentes árvízszint kiszámítását a valós mederviszonyokat és az árvízvédelmi töltések kialakítását figyelembe vevő egydimenziós áramlási modell segítségével is meghatároztuk, ennek értéke Bf 96,14 m [5].

A legkedvezőtlenebb árvízi esemény alapjául egy, a múltban kialakult legkedvezőtlenebb tartós nagyvízi helyzet, a Duna pozsonyi szelvényében 1965-ben levonult árhullám időszora szolgált. Mivel az akkor ott tapasztalt árvízhozam a helyi árvízvédelmi töltések koronaszintje alatt maradt, az alapul vett árhullám vízhozamait úgy módosítottuk, hogy az árhullám vízhozamcsúcsa az árvízvédelmi töltés koronaszintjével legyen azonos szinten. Majd ezt az árhullámot megterheltük a bőszi duzzasztómű lehetséges legkedvezőtlenebb (alvízi additív hullámot eredményező) módon történő tönkremenetelének lehetőségével. A legkedvezőtlenebb árhullám hatásának további fokozására feltételeztük, hogy ezzel egy időben a jelentősebb mellékfo-

lyók maximális árhullámmal terhelik a Dunát, ekkor a mellékfolyók legnagyobb vízhozama éppen a Duna tehető vízhozama idején lép be a Dunába.

A modellel történt számítások szerint az atomerőmű alatt esetleg kialakuló jégtorlasz vagy jégdugó által előidézett nagy vízszintemelkedés hatására kialakuló helyzetben sem várható Bf 95,90 m-t meghaladó vízszint.

Mindez azt jelenti, hogy az erőmű felőli töltéskorona szintjét meghaladó, vagy az annál magasabban elhelyezkedő atomerőművi terepszintet elérő vízszint kialakulása még extrém nagyvízi terhelések vagy jégtorlaszok kialakulása esetében sem lehetséges.

Irodalom

1. *A Paksi Atomerőmű Céltartalmi Biztonsági Felülvizsgálatának (CBF) tartalmi követelményei.* OAH, Budapest, 2011. május 24.
2. *Céltartalmi Biztonsági Felülvizsgálat, Előrehaladási Jelentés.* Paksi Atomerőmű Zrt. Paks, 2011. augusztus 15.
3. *Céltartalmi Biztonsági Felülvizsgálati Jelentés.* Paksi Atomerőmű Zrt., Paks, 2011. október 31.
4. *Földrengés kockázat meghatározás a Paksi Atomerőmű telepelyén.* GeoRisk Kft, Budapest, 2000.
5. *A szélsőséges helyzetekben kialakuló magas és alacsony vízállások, valamint nagy és kis vízhozamok lehetséges hatásának meghatározása, 721/31/8614-01.* VITUKI Kft., Budapest, 2011. október 20.