



Atomerőművek súlyos balesetei kezelésére  
szolgáló létesítmények tervezési, minősítési  
elvei

Tézisfüzet

Vilimi András

Témavezető: Katona Tamás János Prof. Dr.

2019. május

## Bevezetés

Az atomerőművek extrém külső veszélyekkel – földrengés, szél, tornádó, repülőgép rázuhanás – szembeni biztonsága a Fukushima Dai-ichi Atomerőmű balesete okán a nemzetközi szakmai érdeklődés középpontjába került. A biztonság minden aspektusa kritika és továbbfejlesztés tárgyává vált; úgy a veszély jellemzése, különös tekintettel a  $10^{-4}$ /év-nél kisebb gyakoriságokra, mint a tervezés, a konstrukciós és technológiai megoldások, a balesetelhárítási eszközök és eljárások, valamint a biztonság kvantitatív elemzésének módszerei.

A biztonságra való tervezés a mélységi védelem elve alapján történik, amelynek öt szintje van. A fukushimai tragédia tanulsága alapján a negyedik és az ötödik szint, azaz a zónasérüléssel járó balesetek és a súlyos balesetek, valamint a komplex üzemzavarok, s a külső veszélyek tekintetében a tervezési alapot meghaladó hatások igen fontossá váltak, függetlenül rendkívül kis gyakoriságuktól. Azaz, legyen bármilyen kis valószínűsége egy katasztrófának, súlyos balesetnek, az sohasem zárható ki teljes bizonyossággal, tehát jó előre fel kell készülni az elhárításra, s nem elég biztonsági elemzésekkel igazolni, hogy az esemény, a baleset valószínűsége elhanyagolható.

A Fukushima Dai-ichi Atomerőmű katasztrófáját követő európai stressz-teszt fókuszában épp a súlyos balesethez vezető eseményláncok és a súlyos baleset elhárítására és kezelésére való felkészülés volt. Ez nem új követelmény. Magyarországon a súlyos baleset kezelés az ezredforduló óta a biztonságnövelés központi feladata, így például a baleset során keletkező hidrogén-kezelése már a fukushimai tragédia előtt jórészt megoldott volt a Paksi Atomerőműben. Ennek az előrelátásnak volt köszönhető, hogy a Paksi Atomerőmű megfelelt az EU által kezdeményezett Célzott Biztonsági Felülvizsgálaton, s teljesítette az üzemidő hosszabbításra vonatkozó biztonsági normákat is.

Az atomerőművet nagy biztonsági tartalékokkal tervezik a kis gyakoriságú ( $10^{-4}$ /év) eseményekre, szemben például az MSZ EN 1998-1 Eurocode 8 által előírt  $1/475$  év gyakoriságú földrengéssel. E tartalékok révén valósul meg a biztonság a még kisebb valószínűségű eseményeknél, amely tartalékot egzakt módszerrel minősíteni kell, hogy bizonyosak lehessünk, hogy a tervezési alapan szereplő igénybevételek bizonyos mértékű meghaladása esetén is megmaradnak a betervezett biztonsági funkciók, s a baleset-kezeléshez szükséges létesítmények, mint például a Védett Vezetési Pont. Az

ennél is súlyosabb következményekkel járó, és az ennél is valószínűtlenebb eseményekhez kellene a balesetkezelési létesítmények, mint például a súlyos baleseti dízelgenerátorok, a Tartalék Vezetési Pont, illetve baleset-kezelési eszközök és eljárások.

Az atomerőmű tervezési alapjába tartozó veszélyeket tekintve – úgy a figyelembe veendő hatások, mint a megfelelőség kritériumai tekintetében – a nukleáris biztonsági szabályozás és a nukleáris ipari szabványok egyértelmű útmutatást adnak a tervezéshez. Ugyanakkor, sem a tartalékok minősítése, sem pedig a súlyos balesetek kezelésére szolgáló létesítmények tervezése terén sincs kodifikált gyakorlat. Általános szabály az, hogy a tervezési alapba tartozó veszélyek hatásaira konzervatív, míg a tervezési alapot meghaladó extrém hatásokra best-estimate módszereket lehet alkalmazni, s a tervezési követelményeket és a megfelelőség kritériumait is egyedileg kell meghatározni. Nyilvánvaló, hogy a teljesen szélsőséges hatásokra való tervezésnek, a biztonsági funkció teljesítésén túl és amellet is, meg kell felelni a műszaki-gazdasági észszerűség követelményének.

A külső veszélyek – s itt a földrengést, mint nem előjelezhető és hirtelen eseményt lehet kiemelni – fontos sajátosság az, hogy a vizsgált létesítményben közös okú meghibásodásokat okozhat, sőt a telephelyen és a telephelyen kívül is kifejti hatását, miáltal a balesetkezelés blokkon belüli, telephelyi és telephelyen kívüli szintjeit egyaránt érinti. Ennek megfelelően a balesetkezelésnek három fontos eleme, szintje van:

1. Az atomerőművi technológia részét képező, vagy ahhoz kötött rendszerek, berendezések és eszközök szükségesek a létesítményen/blokkon belül.
2. Megfelelő mobil vagy rögzített eszközöknek kell lenni a telephelyen, melyekre szükség lehet a baleset-elhárítási feladatok elvégzéséhez.

Fentiek kapcsán a kérdés az, mi legyen ezek tervezési alapja, milyen tartalékokkal rendelkezzenek a külső veszélyek, jelesen a földrengés hatásaival szemben, hogy olyan esetben is rendelkezésre álljanak, amikor a balesethez vezető eseménysort épp egy tervezési alapot meghaladó külső hatás, például egy tervezési alapot meghaladó földrengés, indította el. A szükséges eszközöknek, berendezéseknek túl kell élniük, azt az eseményláncot, míg alkalmazásuk megtörténik.

3. Megfelelő infrastruktúrára van szükség regionálisan/országosan, ami biztosítja a hosszú távú baleset-elhárítási feladatok végrehajtását, eszközök pótlását, üzemanyag biztosítását, csere személyzet beszállítását.

Itt az is fontos kérdés, milyen hatása van a földrengésnek az atomerőmű környezetére, s ez mennyiben befolyásolja a fentieket. Az infrastruktúrának biztosítani kell a szállítási útvonalakat, mind a csere személyzet mind a szükséges eszközök telephelyre szállításához.

Nem foglalkozunk a fentiekkel kapcsolatban az eljárásrendek, balesetkezelési eljárások és a személyezt felkészítésének kérdésével, jóllehet nyilvánvaló, a telephelyi személyzetnek megfelelően képzettnek, gyakorlottnak és pszichológiailag felkészültnek kell lennie a rendkívül nehéz helyzet kezelésére.

Jelen dolgozat középpontjában a fenti problémák vizsgálata és kezelése áll. A téma multidiszciplináris. Mérnökszeizmológiai, építészeti, építőmérnöki, gépészeti és nukleáris-technológiai ismeretek integrálására van szükség. A vizsgálatok jellegüket tekintve elméletiek, de magukban foglalták a műszaki koncepciók kritikai, összehasonlító elemzését és az elérhető nemzetközi példák értékelését is. A tézisekben megfogalmazott következtetések – a szerző legjobb szándéka szerint – gyakorlatiak.

A nukleáris biztonsági követelmények, helyénvaló, de általános, értelmezést igénylő jellege miatt, megvizsgáltam, miként célszerű megválasztani a súlyos balesetkezelés során használandó rendszerek és létesítmények tervezési alapjába tartozó külső veszélyeket, valamint a tervezésnél alkalmazható szabványok körét.

## **1. tézis**

**Megmutattam, hogy a konzervatív tervezési szabványok alkalmazása esetén, illetve a  $10^{-4}$ /év meghaladási valószínűségi szinten vett hatásokkal számolva a rendszerek, létesítmények betervezett, beépített tartalékai elégségesek ahhoz, hogy a tervezési alapot meghaladó hatások esetén se következzen be hirtelen funkcióvesztés.**

**Megmutattam, hogy - a külső természeti veszélyek paksi telephelyre jellemző veszélyeztetettségi görbéit figyelembe véve - az ilyen eljárással történő tervezés elégséges ahhoz, hogy nagy megbízhatósággal a  $10^{-5}$ /év gyakoriságú események esetén sem következnek be a biztonsági funkciók hirtelen elvesztése, azaz a szakadékszél jelenség.**

Megvizsgáltam a Paksi Atomerőmű praktikus szempontokra és konzervatív megfontolásokra épülő azon gyakorlatát, mely szerint a súlyos baleset kezelésére szolgáló rendszerek és létesítmények tervezésénél a tervezési alapba tartozó külső veszélyeket a  $10^{-5}$ /év gyakorisági szinten veszik és szabvány szerinti tervezést végeznek.

## **2. tézis**

**Megmutattam, hogy a  $10^{-5}$ /év gyakorisági szintű hatások tervezési alapként való meghatározása és a szabványos tervezési eljárás - figyelembe véve a paksi atomerőmű telephely-specifikus veszélyeztetettségi görbéit - elégséges tartalékot biztosít a funkciók megőrzéséhez a  $10^{-5}$ /év gyakoriságú esemény hatásait 50%-kal meghaladó hatások esetén is. [I2, 3].**

A fenti vizsgálatok keretében megvizsgáltam, hogy az eredetileg földrengés-biztonsági elemzésekénél, igazolásoknál alkalmazott eljárás milyen eredményre vezet az egyéb veszélyek esetében. Ezt több közlemény is javasolta, de számszerű igazolás nélkül.

### 3. tézis

**Megállapítottam, hogy a módszer a Paksi Atomerőmű esetében alkalmazható, s igazolható, hogy a külső természeti veszélyek esetében a földrengés-biztonságra vonatkozó, megnyugtató megállapításhoz vezet a beépített tartalékok tekintetében. [I2,3]**

Megvizsgáltam, miként hat az atomerőmű környezetében lévő településekre, infrastruktúrára a tervezés alapját képező biztonsági földrengés abból a célból, hogy felmérhető legyen, a környező településeken a lakóépületekben és az infrastruktúrában bekövetkező károk miként befolyásolhatják az atomerőműben folyó súlyos balesetkezelési eljárás logisztikai kiszolgálását. Ez a vizsgálat értelemszerűen a katasztrófa következményei elhárításának tervezését is segíti. A vizsgálati módszert egy a Paksi Atomerőmű telephelyétől É-K-re, 10 kilométerre kipattanó (Dunapataj), a  $10^{-4}$ /év gyakoriságú biztonsági földrengéssel azonos telephelyi maximális vízszintes gyorsulást okozó rengésre végeztem, majd pedig egy a telephely alatt közvetlenül kipattanó biztonsági földrengésre.

### 4. tézis

**Kidolgoztam egy egyszerűsített, a vizsgálat céljához igazított sérülés-becslési módszert, amely az Európai Makroszeizmikus Skálára alapul. Bemutattam, hogy a vizsgálat céljainak ez a módszer megfelel.**

A telephelyétől 10 kilométerre, Dunapataj térségében kipattanó földrengés esetén megállapítható, hogy Bács-Kiskun megye VIII intenzitású területein az épületsérülések szinte minden lakást sújtanak az érintett területeken, és az egyéb infrastruktúrát érő elkerülhetetlen károk 5-7000 embert érintenek. Ekkor a Duna nyugati oldalát (Paks és a közeli települések) érő károk kevésbé súlyosak mivel ezek a területek a VII intenzitású térségben vannak. [I1]

## 5. tézis

**Felmértem a telephely alatt kipattanó földrengés esetére a környező teleüléseken a lakóépületekben és az infrastruktúrában várható károkat. Az adatok felhasználhatók az atomeróműben folyó tevékenység logisztikai kiszorgálásának tervezésénél, továbbá az atomerómű környezetében végzendő katasztrófa elhárítási munkák tervezésénél.**

A telephely alatt kipattanó biztonsági földrengést tekintve megállapítható, hogy a Paksi Atomerómű tervezési alapjában figyelembe vett földrengés hatására a paksi épületek 2/3-a továbbá Dunaszentgyörgy épületeinek 80%-a is súlyosan megsérül így a személyzet lakóhelyei nagymértékben érintettek. Kérdéses a személyzet váltásának, cseréjének megoldhatósága. Ennek vizsgálata azonban túlmutat jelen vizsgálaton. [I1] Az általam vizsgált események egyéb infrastruktúrát érintő hatásairól megállapítható, hogy néhány nem rögzített lösz fal, eltorlaszolhatja a 6. sz. főutat. A laza, telített homokos talaj rendkívül hajlamos talajfolyósodásra, ami számottevő károkat okozhat a civil épületeknek ugyanis ezek elviselésére nem tervezték és tervezik a polgári létesítményeket. Tovább rontják a földrengés utáni helyzet kezelését a másodlagos hatások. A földrengés következtében a talajfolyósodás és a kisebb-nagyobb lejtők, támfalak megcsúszása miatt a gázvezetékek sérülése reális kockázat. A földrengés utáni tűz és annak hatása sok esetben súlyosabb, mint maga a rengés által okozott károk összesége. [I1]

A tapasztalatok és a tudományos elméletek, prognózisok egyaránt azt igazolják, hogy a klímaváltozás hatására gyakoribbá és súlyosabbakká válnak a meteorológiai szélsőségek. Megjelenhetnek a szélsőségek eloszlásában az igen ritka, ám katasztrófálisan súlyos események. Nyilvánvaló ugyanakkor, hogy a meteorológiai folyamatok relatíve jól prognosztizálhatók, lehetőség van a felkészülésre. A meteorológiai szélsőségek atomeróműre gyakorolt hatása vizsgálatánál konzekvensen meg kell különböztetni a termelés-biztonság és a nukleáris biztonság veszélyeztetését.

## 6. tézis

**A klímaváltozás hatásainak konzervatív elemzése alapján megállapítottam, hogy a nukleáris biztonság szempontjából az új atomerőmű biztonsági szempontból releváns rendszereire működőképességét a hatvan év üzemidő alatt sem veszélyezteti. [N1]**

A klímaváltozás hatásainak a Paksi Atomerőmű négy működő blokkja teljesítményét érintő elemzésekor arra a következtetésre jutottam, hogy csökkentett villamos teljesítményre akkor lesz szükség, ha a meleg nyári napok egybe esnek az alacsony Duna vízszinttel. Ennek valószínűsége nagy, ahogy azt a 2018-ban kialakult helyzet is mutatja, de a prognosztizálható 1-2 °C-os átlag hőmérséklet emelkedés a visszalévő üzemidő alatt, még akkor is, ha a szélsőséges alacsony vízállás és kánikula egybeesik, kevesebb, mint 1-2% teljesítmény csökkenést okozhat. [N1]



## Saját publikációk

### Idegen nyelvű folyóirat cikk

[I1] András VILIMI, László TÓTH, Tamás János KATONA, „*Analysis Of Consequences Of A Design Basis Earthquake For The Region Around A Nuclear Power Plant*”, POLLACK PERIODICA, DOI: 10.1556/606.2016.11.2.4, Vol. 11, No. 2, pp. 43–54, 2016

[I2] KATONA, TAMÁS JÁNOS; VILIMI, ANDRÁS „*Design of Severe Accident Management Systems for Beyond Design Basis External Hazards at Paks NPP*” Paper: V004T13A021, 7 p. In: 24th International Conference on Nuclear Engineering (ICONE24) New York, Amerikai Egyesült Államok: American Society of Mechanical Engineers (ASME), 2016

[I3] KATONA, TAMÁS JÁNOS; VILIMI, ANDRÁS „*Design of Severe Accident Management Systems for Beyond Design Basis External Hazards at Paks Nuclear Power Plant*” JOURNAL OF NUCLEAR ENGINEERING AND RADIATION SCIENCE 4: 2 Paper: UNSP 020907 , 6 p. 2018

[I4] KATONA, TAMÁS JÁNOS; VILIMI, ANDRÁS „*Seismic Vulnerability Assessment of Site-Vicinity Infrastructure for Supporting the Accident Management of a Nuclear Power Plant*”, SCIENCE AND TECHNOLOGY OF NUCLEAR INSTALLATIONS Paper: 2929353 , 7 p., 2017

## Nemzetközi konferencia kiadvány

[N1] KATONA, TAMÁS JÁNOS; VILIMI, ANDRÁS „*Vulnerability, safety and response of nuclear power plants to the hydroclimatic hazards*”, GEOPHYSICAL RESEARCH ABSTRACTS 18 Paper: EGU2016-1708, 2016

[N2] KATONA, TAMÁS JÁNOS; POCZIK, ISTVÁN; VILIMI, ANDRÁS „*Vulnerability, safety and response of nuclear power plants to the hydroclimatic hazards*” pp. 57-64., 8 p. In: 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConferences SGEM 2016: BOOK 4: ENERGY AND CLEAN TECHNOLOGIES Sofia, Bulgária: SGEM, 2016

[N3] VILIMI ANDRÁS „*NACp Implementation due to Post-Fukushima Measures*” IAEA Technical Meeting on Operational Experience with Implementation of Post-Fukushima Actions in Nuclear Power Plants, Vienna, Austria, 27-29 March 2017

[N4] VILIMI ANDRÁS „*Analisis of consequences of a design basis earthquake for the region around a nuclear power plant*” IAEA Technical Meeting on Operational Experience with Implementation of Post-Fukushima Actions in Nuclear Power Plants, Vienna, Austria, 27-29 March 2017

[N5] KATONA, TAMÁS JÁNOS; VILIMI, ANDRÁS „*Design of Severe Accident Management Systems for Beyond Design Basis External Hazards at Paks NPP*” pp. 588-596. , 9 p. In: Proceedings of the 4th International Scientific Conference on Advances in Mechanical Engineering (ISCAME), Debrecen, Magyarország: University of Debrecen Faculty of Engineering, 2016

## Hazai konferencia kiadvány

- [H1] VILIMI ANDRÁS „*A Célzott Biztonsági Felülvizsgálat (CBF) intézkedési tervének aktuális helyzete*”, Magyar Nukleáris Társaság : XII. Nukleáris Technikai Szimpózium Budapest, Magyarország pp. 1-27. , 27 p., 2013
- [H2] VILIMI ANDRÁS „*A biztonsági földrengés következményeinek értékelése az atomerőmű közvetlen környezetében*” In: XIV. Nukleáris Technikai Szimpózium: Program, előadások, pp. 1-1. , 1 p., 2015
- [H3] KATONA, TAMÁS JÁNOS ; VILIMI, ANDRÁS „*A súlyos balesetek kezelésére szolgáló rendszerek, létesítmények tervezési alapja a Paksi Atomerőműben*” XIV. Nukleáris Technikai Szimpózium : Program, előadások pp. 2-2. 1 p., 2015
- [H4] KATONA, TAMÁS JÁNOS; VILIMI, ANDRÁS „*Analisis of consequences of a design basis earthquake for the region around a nuclear power plant*”, p.71, In: Iványi, Péter Eleventh International Miklós Iványi Phd & DLA Symposium: Abstract Book Pécs, Magyarország: University of Pécs Pollack Mihály Faculty of Engineering and Information Technology, 128 p., 2015
- [H5] KATONA, TAMÁS JÁNOS; VILIMI, ANDRÁS „*Vulnerability, safety and response of nuclear power plants to the hydroclimatic hazards*” p. 70, In: Iványi, Péter (szerk.) 12th Miklós Iványi International PhD and DLA Symposium: Architectural, Engineering and Information Sciences: Abstract Book Pécs, Magyarország: Pollack Press, 2016