

Onagawa vs. Fukushima, avagy az aktív biztonsági kultúra fontossága

Hegyi György¹, Temesvári Emese²

¹ AEMI

1121. Budapest, Konkoly-Thege M. út 29-33.

² HUN-REN EK, AEKI

1121. Budapest, Konkoly-Thege M. út 29-33.

A fukushimai és az onagawai telephelyek közötti különbség jól mutatja, milyen döntő szerepe van az aktív biztonsági kultúrának az atomerőművek üzemeltetésében. Fukushima alulbecsülte a külső veszélyeket, a szervezet reaktív, hierarchikus működése pedig késleltette a beavatkozást. Ezzel szemben Onagawa előrelátó, „legrosszabb esetre” tervező mérnöki szemlélettel és folyamatos kockázatfigyeléssel készült, így a 2011-es cunamit is biztonságosan átvészelte. A két telephely tapasztalata egyértelművé tette, hogy a nukleáris biztonság nem statikus állapot: csak a proaktív, tanuló és önjavító biztonsági kultúra képes megelőzni a súlyos baleseteket.

Bevezetés

Amint a 2011-es Tōhoku-földrengés keltette cunami elérte Onagawa japán halászfalut, helybeli lakosok százai menekültek az általuk ismert legbiztonságosabb helyre: a helyi atomerőműbe. Több mint két héttel később még mindig 240 ember élt ott: tévét néztek, labdázta a gyerekeikkel a három atomreaktor melletti épületben [1]. Ez éles ellentétben állt a 75 mérföldre délre található sérült Fukushimai erőművel, ahol a radioaktív kibocsátás miatt evakuálni kellett a helyi lakosokat.

Az Onagawa Atomerőmű közelebb volt az epicentrumhoz, mint a Fukushima Daiichi Atomerőmű. Mivel a földrengés és a cunami intenzitása növekszik az epicentrumhoz közeleltve, a természeti katasztrófa az Onagawa Atomerőművet súlyosabban kellett volna, hogy érintse. Az Onagawa Atomerőműnél mért szökőár magasabb is volt (14,3 m), mint a Fukushima Daiichi Atomerőműnél (13,1 m) a Japán Meteorológiai Ügynökség szerint.

A TEPCO (Fukushima üzemeltetője) azt állítja, hogy a vészhelyzeti műszaki védelmi eszközök elvesztésének oka a cunami volt. A szökőár azonban nem okolható teljes mértékben az összeomlásért, ha az Onagawa Atomerőműnek nagyobb erejű hatást sikerült túlélnie. A mérések szerint a földrengés szeizmikus intenzitása a két atomerőműben elhanyagolható mértékben különbözött, azaz ez sem magyarázza a változó áramú tápegységek teljes elvesztését. Valamint mindkét telepen forraló vizes blokkok (BWR) működtek, melyeknek életkora és típusa is azonos volt.

Akkor mi okozhatta a jelentős különbséget a két erőmű által elszenvedett katasztrófában? A következőkben ezt a kérdést járjuk körül.

Mi is a cunami?

A cunami olyan nagy hullámhosszú és energiájú vízmozgás [2-6], amelyet tipikusan nagyméretű tengerfenék-deformáció vált ki. A 2011-es Tōhoku-földrengés is ilyen mechanizmus révén hozott létre extrém méretű hullámokat.

A cunami keletkezése – tengerfenék deformációja

A cunami elsődleges forrása a tengerfenék hirtelen bekövetkező vertikális elmozdulása, amelyet leggyakrabban:

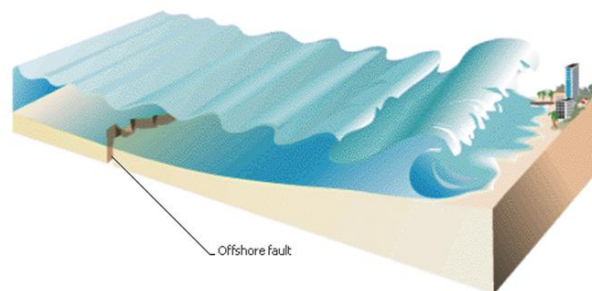
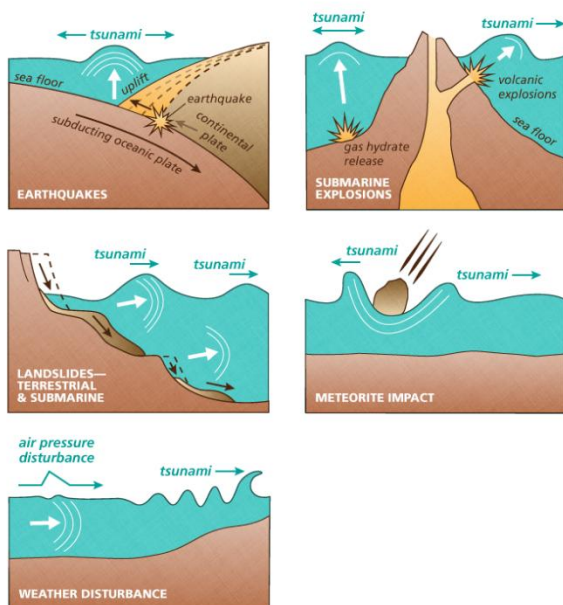
- nagy magnitúdójú alábukásos (szubdukciós) földrengés,
- víz alatti földcsuszamlás,
- vulkáni kitörés,
- vagy ritkábban meteor-becsapódás okoz.

A Tōhoku-földrengés esetében a Csendes-óceáni-lemez 20–40 méteres függőleges elmozdulása történt a Japán-árok mentén. Ez a deformáció nagy víztömeget emelt meg, amely gravitációs visszarendeződés során hullámként terjedt szét. A cunami fizikai jellemzői mély vízben:

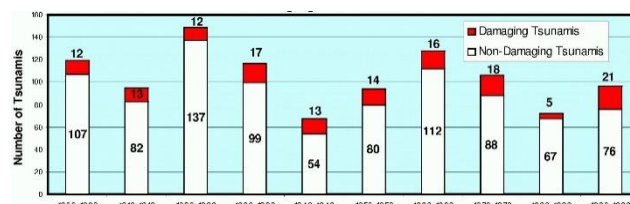
- hullámhossz: 100–200 km,
- hullámsebesség: $c=\sqrt{gh}$ (mélyvízi közelítésben, sekély vízben a fázissebesség változik), ahol c a fázissebesség, g a gravitációs gyorsulás, h a vízmélység. Így 4000–5000 m mélységben 700–800 km/h,
- hullámmagasság: nyílt tengeren csak párszor tíz centiméter, ezért nehezen észlelhető.

A cunami valójában nem a hullámmagasság, hanem a hatalmas hullámhossz és energia miatt veszélyes.

TSUNAMI GENERATION SOURCES



2. ábra: A hullám növekedése a part közelében. [2]



3. ábra: Cunami előfordulások [2]

1. ábra: Cunami okozó források. Credit: Washington Geological Survey, Department of Natural Resources partially modified from a diagram by Adam Switzer [4]

A hullámok átalakulása a part közelében

Ahogy a cunami sekélyebb vizekbe ér, a hullámdinamika drámaian megváltozik. A jelenség kulcsa a mélység csökkenése, amely több egymással összefüggő folyamatot indít el.

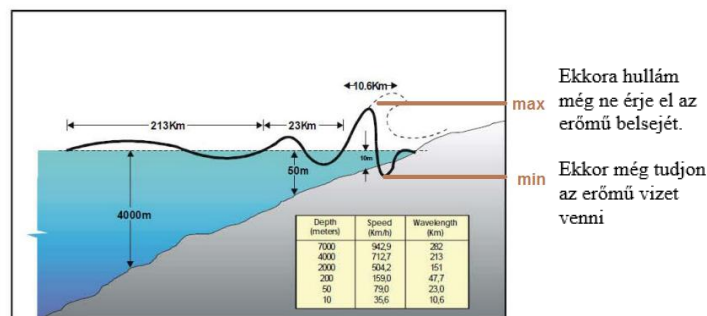
- Hullámsebesség csökkenése: A vízmélység csökkenésével a hullámsebesség is csökken, ami a hullám összerolódását okozza.
- Hullámhossz rövidülése: A lassuló hullám mögött érkező víztömeg „ráfut” az előre haladó részre, így a hullámhossz csökken, a hullámenergia pedig függőleges irányba koncentrálódik.
- Hullámmagasság növekedése (shoaling): A shoaling-hatás miatt a hullámmagasság többszörösére nőhet. A Tōhoku-cunami esetében:
 - nyílt tengeren: ~0,5–1 m,
 - part közelében: 10–40 m is lehetett egyes helyeken. Ez vezet a run-up jelenséghoz, amikor a hullám akár 10–30 m magasra is felcsap. Ez a jelenség okozta, hogy a Fukushima Daiichi telephelyen a 13 m-es hullám 5,5 m-es elárasztási mélységet eredményezett.
- A hullám törése és a bore-hatás: A partközeli sekély vízben a hullám:
 - instabillá válik,
 - „feláll”,
 - majd bore-hullámként (függőleges falhoz hasonló víztömeg) zúdul a partra. Ez a típusú hullám rendkívül romboló, mivel:
 - ✓ nagy víztömeget mozgat,
 - ✓ nagy sebességgel érkezik,
 - ✓ és hosszú ideig tartó beáramlást okoz.

A cunami hatása a part menti infrastruktúrára

A partközeli átalakulások miatt a cunami:

- nagy dinamikus nyomást fejt ki épületekre,
- elárasztja a mélyen fekvő területeket,
- képes berendezéseket, járműveket, tartályokat elsodorni,
- és a visszahúzódó víz további károkat okoz.

Atomerőművek tervezési kritériumai [7] cunami esetére látható a 4 ábrán:



4. ábra: A vízmélység hatása a hullám hosszára és sebességére. [2]

A Tōhoku-földrendés — más néven a Nagy Kelet-Japán Földrendés — 2011. március 11-én 14:46-kor következett be Japán csendes-óceáni partjai előtt. A Tōhoku-földrendés volt a legerősebb, műszerekkel valaha mért földrendés Japánban, és a negyedik legnagyobb a világon. A rengés magnitúdója elérte a 9,0 MW értéket, és rendkívül erős talajmozgást okozott, amely meghaladta az 1 g gyorsulást; helyenként 3 g nagyságú gyorsulásokat is regisztráltak. A földrendést követően egy hatalmas cunami keletkezett, amelynek magnitúdója (Mt) 9,1 volt. Ez a cunami mintegy 2000 km hosszú partszakaszt érintett, és több mint 400 km² területet árasztott el.

Atomerőművek a Tōhoku-földrengés közelében

2011. március 11-én öt japán atomerőművet érintett közvetlenül a Tōhoku-földrengés és az azt követő cunami [8]. Ezek az erőművek Japán északkeleti partvidékén helyezkednek el. A telephelyeken összesen 15 reaktor található. A földrengés bekövetkezésekor 11 reaktor üzemelt, négy pedig karbantartás miatt le volt állítva. Az atomerőművek elhelyezkedése látható a 5. ábrán, az 1.-2. táblázatok mutatják az erőművek távolságát a földrengés epicentrumától és főbb jellemzőiket.



5. ábra: Japán Tōhoku régiójának térképe. Csillag jelöli a Nagy Kelet-Japán Földrengés hipocentrumát és a fejezetben tárgyalt 5 erőmű helyzetét [8]

Atomerőmű	Távolság a földrengés epicentrumától (km)	Reaktorok száma az erőműben
Higashidori	300	1
Onagawa	80	3
Fukushima Daiichi	150	6
Fukushima Daini	160	4
Tokai Daini	260	1

1. táblázat: Japán erőművek listája, amelyekre hatást gyakorolt a Nagy Kelet-Japán Földrengés és Cunami [8]

Atomerőmű	Becsült cunami-magasság (m)	Erőmű főmagasság (m)	Partfal- (betörő víz) magasság (m)	Dízel-generátorok magassága (m)	Hűtővíz-szivattyúk magassága (m)
Onagawa	13	14.8	14	14.8	14.8
Fukushima Daiichi	13	10 - 13	4 - 5.5	2	4
Fukushima Daini	9	12	4	3	4
Tokai Daini	5.4	8	6.1	8	

2. táblázat: A szökőár magasságának összehasonlítása a négy atomerőmű telephelyének magasságával [8]

Megjegyzés: A magasságok az Onahama Peil-hez (Onahama Port Construction Standard Surface) mérték (rövidítve OP) az Onagawa és Fukushima Daiichi és Daini erőművek esetében és az átlagos tengerszinthez képest a Tokai Daini esetén. A magasságokat nem korrigálták a koszeizmikus talajsüllyedés miatt.

Fukushimai Atomerőmű

A Fukushima Daiichi Atomerőmű (üzemeltető TEPCO) Fukushima prefektúra kelet-középső részén található (lásd 5. és 6. ábrák).

A telephely hat reaktora a földrengés idején az alábbi üzemi állapotban volt [8]:

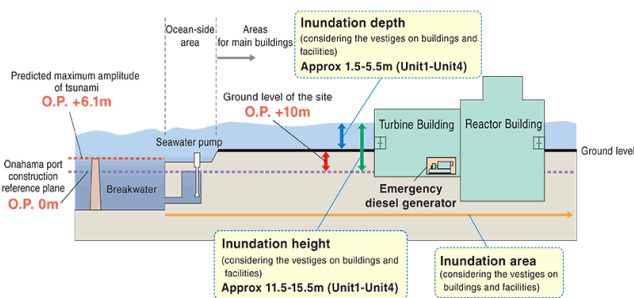
- az 1., a 2. és a 3. blokk engedélyezett teljesítményszinten üzemelt.
- A 4. blokk leállított állapotban volt a reaktortartály belső hengerének (core shroud) cseréje miatt. A 4. blokk teljes üzemanyagkészletét a reaktorépület kiégett fűtőelemek medencéjébe helyezték át.
- Az 5. és a 6. blokk karbantartási és ellenőrzési leállásban volt. Az üzemanyag a reaktortartályokban maradt, és a reaktorok aktív hűtés alatt álltak. Az 5. blokk konténmentje nyitott állapotban volt, és a primer kör nyomáspróbája zajlott.

A földrengés bekövetkezésekor az 1., a 2. és a 3. blokk automatikusan leállt. A földrengés következtében a telephely minden külső váltakozó áramú betáplálást elveszített, azonban a vészhelyzeti dízelgenerátorok automatikusan elindultak, és biztosították a szükséges tartalék villamos energiát.



6. ábra: Légi felvétel a Fukushima Daiichi Atomerőműről a 2011. március 11-i Nagy Kelet-Japán Földrengés és Szökőár előtt. A reaktorblokkok helyét számok jelzik (azaz 1-6. blokkok). A turbinaépületek, a partfal és a közös kiégett fűtőelem-tároló (medence és száraz) elhelyezkedése is feltüntetésre kerül. [8]

A fő cunamihullám – amelynek magasságát 13 méterre becsülték (6., 7. és 8. ábrák) – elárasztotta az 1-4. blokkok környezetét, helyenként akár 5,5 méteres vízmélységet okozva. A beáramló víz a reaktor- és turbinacsarnokok pincéibe több ponton keresztül jutott be: épületbejáratokon, a dízelgenerátorok levegőbeömlő rácsain, berendezés-nyílásokon, valamint kábel- és csőátöréseken át.



7. ábra: A szökőár és az elárasztás mértéke a Fukushima Daiichi Erőműben [8]

A beömlő víz szivattyúkat, villamos elosztóberendezéseket, tartalék akkumulátorokat és dízelgenerátorokat rongált meg, ami így a telephely villamosenergia-ellátásának döntő részét, valamint a végső hőelnyelőt is elveszítette.



8. ábra: A fénykép 2011. március 11-én készült, és északi irányba tekint a Fukushima Daiichi Atomerőmű felé. A felvételen látható, amint a cunamihullám eléri az erőmű tenger felőli oldalát. A kép előterében szintén megfigyelhető az elárasztás.

Forrás: TEPCO (http://photo.tepco.co.jp/library/110409/110409_1f_tsunami_1f.jpg)

Megjegyzés: A „végső hőelnyelő” fogalmát az amerikai nukleáris hatóság, – U.S. NRC – a Regulatory Guide 1.27-ben definiálta: olyan vízforrások és kapcsolódó létesítmények együttese, amelyek az atomerőmű hűtőrendszere számára biztosítják a hőelvezetést. A Fukushima Daiichi telephely végső hőelnyelője a Csendes-óceán.

A teljes feszültségvesztést követő 72 órában az 1., a 2. és a 3. blokk aktív zónája – hűtés hiányában – megolvadt, amely során hidrogén és radioaktív anyagok szabadultak fel. A hidrogén felgyülemzése robbanásokat okozott az 1., a 3. és a 4. blokk reaktorépületeiben, súlyos szerkezeti károkat eredményezve (9. és 10. ábrák).



9. ábra: Fénykép a Fukushima Daiichi Atomerőmű területén kialakult elárasztásról, a Radioaktív Hulladék Kezelő Létesítmény (Radiation Waste Treatment Facility) északi oldalán, 2011. március 11-én. A méretarányt a fémajtónak támaszkodó jármű hátulja szemlélteti.

Forrás: TEPCO (http://photo.tepco.co.jp/library/110519_2/110519_1_4.jpg).

A 6. blokkon egy léghűtésű vészhelyzeti dízelgenerátor és annak villamos elosztóberendezése nem sérült meg a cunami okozta elárasztás során. Ezt a dízelgenerátort használták az 5. és 6. blokk tápellátására, amelyeket így március 20-án sikerült hideg leállított állapotba hozni.

A külső váltakozó áramú betáplálás helyreállítására irányuló munkálatok közvetlenül a földrengés után megkezdődtek. A földrengés és a cunami által okozott kiterjedt károk miatt az első külső betáplálást azonban csak március 18-án sikerült visszakapcsolni a telephelyre.



10. ábra: 2011. március 21-én készült fénykép a súlyosan megromgálódott 3. (középen) és 4. (jobbra) blokk reaktorépületeiről. A 2. blokk a kép bal szélén látható.

Forrás: TEPCO (<http://photo.tepco.co.jp/en/date/2011/201103-e/110321-01e.html>)

Aunami által okozott károk az Onagawa telephelyen lényegesen kisebbek voltak, mint a Fukushima Daiichi erőműben bekövetkezett pusztítás.



13. ábra: Felborult nehézolaj-tartály [9]

Forrás: Tohoku-Electric Power Co., Inc. (az erőmű 2011. júniusi keltésű levele)

Kiemelendő, hogy az Onagawa Atomerőműben tapasztalt minimális szeizmikus károsodás a tervezés, építés és üzemeltetés teljes életciklusán át végrehajtott folyamatos szeizmikus fejlesztéseknek köszönhető. Az üzemeltetés során fennálló biztonsági kultúra szintén hozzájárult a rendszerek folyamatos karbantartásához és korszerűsítéséhez.

Az Onagawa Atomerőmű csekély károsodása Hirai Yanosukénak köszönhető. Hirai az 1960–70-es években, az Onagawa Atomerőmű tervezésekor nem fogadta el a hivatalosunami-becsléseket, mert túl alacsonynak tartotta őket. A korabeli japán ipar és szabályozás szerint elegendő lett volna egy 9 m-es védelmi szint. Hirai azonban:

- 14,8 méteres telephelyi magasságot követelt,
- megerősített tengerfalakat,
- magasabbra helyezett biztonsági rendszereket,
- és redundáns hűtővíz ellátást írt elő.

A döntéseit sokan túlzónak, „irracionálisan óvatosnak” tartották – innen ered a róla szóló nemzetközi cikkekben használt kifejezés: „heroism of unreasonableness” (az „irracionalitás hősiessége”). Bár életében nem kapott széles körű nemzetközi figyelmet, a 2011-es események után a szakma világszerte elismerte:

- a telephelybiztonság fontosságát,
- a determinisztikus legrosszabb eset („worst-case”) megközelítés szükségességét,
- és azt, hogy a mérnöki óvatosság gyakran életet ment.

Ezenkívül Hirai korszerű biztonsági kultúrát valósított meg az erőműben. Költséges, de fontos szeizmikus és szökőkőrkorszerűsítéseket hajtottak végre, kiképezték a személyzetet a teljes feszültségvesztés (Station Blackout, SBO) vészhelyzeti eljárásaira. Elvárásait később is követték.

Aktív biztonsági kultúra

Az USA nukleáris hatóságának (Nuclear Regulatory Commission, NRC) elnöke, Dr. Allison M. Macfarlane szerint: Fukushima Daiichi Atomerőműben nem természeti katasztrófa történt, hanem emberi hibák sorozata. A fejlett országok számára hangsúlyozottan fontos a biztonsági kultúra, amire figyelni kell, és a szabályait be kell tartani. Ez egy „Made in Japan” jellegű katasztrófa volt: a japán nukleáris iparnak „sikerkült” a Three Mile Island és Csernobil tanulságait figyelmen kívül hagyni.

Az atomerőművi biztonság alapelve [12–14], hogy a technológiát olyan ritka, rendkívül kis valószínűségű eseményekre is fel kell készíteni, amelyek bekövetkezése statisztikailag elhanyagolható, következményeik azonban potenciálisan katasztrofálisak. A nukleáris biztonság lényege tehát nem (csak) a következmények mérséklése, hanem a balesetek bekövetkezési valószínűségének drasztikus csökkentése. A fukushimai baleset ismételtén rávilágított arra, hogy a tervezés során a legvalószínűtlenebb külső veszélyeket – például extrém földrengéseket, cunamit, meteorológiai szélsőségeket – is figyelembe kell venni, és fel kell készülni az ezekből eredő súlyos balesetek kezelésére is.

A biztonságra való tervezés a telephelyi veszélyek, a technológiai meghibásodások és a belső veszélyek (tűz, elárasztás) együttes figyelembevételével történik. Mindez elkerülhetetlenül növeli a beruházási költségeket, ugyanakkor a nukleáris technológia gazdaságos működésének feltétele, hogy a biztonsági követelmények és a műszaki megoldások egyensúlyban legyenek. Jelenleg a Paksi Atomerőműre vonatkozó tervezési alapot olyan külső veszélyek adják, amelyek éves gyakorisága legfeljebb 10^{-4} , míg emberi eredetű veszélyek esetén 10^{-7} .

A nukleáris biztonság alapja a mélységi védelem elve, amely több, egymástól független és egymást kiegészítő védelmi szintet foglal magában. A fukushimai baleset nyomán különösen felértékelődött az ötödik szint, vagyis a súlyos balesetek kezelésére való felkészülés. Bár a súlyos balesetek valószínűsége extrém kicsi, teljes bizonyossággal nem zárhatók ki, ezért a kezelési stratégiákat, a szükséges eszközöket és a független energia- és hűtővízellátást előre biztosítani kell. Magyarországon a Paksi Atomerőműben a súlyosbalesetkezelés (SBK) már az ezredforduló óta kiemelt feladat, így a 2006-ban kialakított súlyosbaleset-kezelési stratégia alapján 2011-ben az 1. blokkon elkészültek az SBK átalakítások (SBK dízelek, reaktortartály külső hűtés, dedikált súlyos baleseti mérőrendszer, súlyos baleseti rekombinátorok, stb.). A fukushimai baleset hatására a súlyos baleseti rekombinátorok telepítése 2011 végére minden blokkon megtörtént. Ennek köszönhetően a létesítmény sikeresen teljesítette az EU Célzott Biztonsági Felülvizsgálatát és az üzemidő-hosszabbítás biztonsági követelményeit.

A fukushimai baleset egyik tanulsága, hogy a tervezés mindig az adott kor ismereteire épül, ezért a biztonságot folyamatosan fejleszteni kell. A nukleáris létesítmények működése szigorú hatósági engedélyezéshez és folyamatos felügyelethez kötött. A biztonság rendszeres értékelésének talán legfontosabb eszköze az időszakos biztonsági felülvizsgálat (IBF), amely Magyarországon tízévente kötelező. Az IBF célja annak igazolása, hogy az erőmű aktuális állapota megfelel az aktuális magyar Nukleáris Biztonsági

Szabályzatokban (NBSZ) foglaltaknak és ez a megfelelés várhatóan a következő 10 évre is igaz marad. Az egyes nemzeti szabályzatoknak általában meg kell felelniük az aktuális NAÜ előírásoknak. Európában a nemzeti nukleáris hatóságokat tömörítő WENRA gondoskodik arról, hogy a NAÜ előírások változásai WENRA ajánlások formájában eljussanak a nemzeti hatóságokhoz. Magyarországon ezen ajánlások alapján az Országos Atomenergia Hivatal (OAH) módosítja az NBSZ-t és az ennek való megfelelést igazolja a Paksi Atomerőmű az IBF során. Így biztosított, hogy a Paksi Atomerőmű megfelel, vagy szabott határidőn belül meg fog felelni az aktuális nemzetközi biztonsági követelményeknek. A nemzeti hatóság (OAH) a jelentős projektek (ld. első üzemidő-hosszabbítás) feltételeként előírhat olyan biztonság-növelő intézkedéseket, mint pl. a SBK stratégia kidolgozása és az átalakítások megvalósulása, aminek a teljesülését aztán a következő IBF során is vizsgálja.

Japánban a fukushimai baleset előtt nem volt kötelező az IBF, és bár vizsgálták a cunami- és földrengésbiztonságot, a szabályozás nem volt kellően szigorú. A hidrogénrobbanások egyik oka az volt, hogy nem alkalmazták a konténment-lefűtést nemzetközi tapasztalatokon alapuló korszerűsítéseit. A japán hatóságok és az ipar a súlyos baleseteket gyakorlatilag kizártak tekintették, ami hozzájárult a tragédia súlyosságához.

A legfontosabb tanulság: a súlyos balesetek valószínűségét minimalizálni kell, de a kezelésükre való felkészülés elengedhetetlen, és a biztonságot a technika mindenkorai szintjén folyamatosan növelni kell.

Az „aktív biztonsági kultúra” a nukleáris iparban az a szervezeti működés, amelyben a biztonság nem csupán szabályok és eljárások betartását jelenti, hanem proaktív, kezdeményező, önreflektív és folyamatosan fejlődő magatartást is magában foglal. A fogalom szorosan kapcsolódik a NAÜ által meghatározott biztonsági kultúra modelljéhez, de annál tovább megy: nem csak a biztonság fenntartását, hanem annak aktív fejlesztését tekinti alapvető feladatnak.

1. A biztonsági kultúra alapjai

A NAÜ meghatározása szerint a biztonsági kultúra „az egyének és szervezetek jellemzői és attitűdjei, amelyek elsőbbséget biztosítanak a nukleáris biztonság” [15]. Az aktív biztonsági kultúra ezt a definíciót kiterjeszti: a biztonság nemcsak prioritás, hanem folyamatosan fejlesztendő érték, amelyhez minden szervezeti szinten hozzájárulnak.

2. A reaktív és az aktív biztonsági kultúra különbsége

A reaktív biztonsági kultúra:

- események után reagál,
- a szabályok betartására fókuszál,
- a hibákat egyéni mulasztásként kezeli.

Ehhez képest az aktív biztonsági kultúra:

- előre azonosítja a kockázatokat,
- folyamatosan figyeli a gyenge jeleket (weak signals),
- a hibákat tanulási lehetőségeknek tekinti,
- ösztönzi a beavatkozást, ha valami „nem tűnik helyesnek”,
- támogatja a nyílt kommunikációt és a visszajelzést.

Ez a megközelítés összhangban van a nagy megbízhatóságú szervezetek (High Reliability Organizations, HRO) működésével.

3. Az aktív biztonsági kultúra kulcselemei

A szakirodalom alapján [16-18] az aktív biztonsági kultúra fő jellemzői:

a) Proaktív kockázatkezelés

A szervezet nem várja meg, hogy egy probléma bekövetkezzen, hanem:

- trendeket elemez,
- előrejelzéseket készít,
- stressztesztet végez,
- feltárja a „mi lenne, ha” típusú forgatókönyveket.

b) Nyílt kommunikáció és hibajelentés

A hibák bejelentése nem büntetést, hanem tanulást eredményez. A szervezet támogatja a „just culture” elvet.

c) Folyamatos tanulás

Az aktív biztonsági kultúra része:

- a nemzetközi tapasztalatok beépítése,
- a jó gyakorlatok átvétele [17],
- a rendszeres képzés és gyakorlatok.

d) Vezetői elkötelezettség

A vezetők példamutatása nélkül nincs aktív biztonsági kultúra. A vezetés feladata:

- a biztonság elsődlegességének demonstrálása,
- a megfelelő erőforrások biztosítása,
- a biztonsági kérdésekben való személyes részvétel.

e) Szervezeti rugalmasság

A szervezet képes gyorsan alkalmazkodni váratlan helyzetekhez, és nem ragaszkodik mereven a rutinokhoz, ha azok veszélyt jelentenek.

4. Fukushimai tanulságok az aktív biztonsági kultúra szempontjából

A [19] és a [16] jelentések egyaránt megállapították, hogy a TEPCO és a japán szabályozó hatóság nem rendelkezett aktív biztonsági kultúrával. A problémák:

- a súlyos baleseteket kizártak tekintették,
- a külső veszélyek (cunami) alulbecsültek voltak,
- a szervezeti hierarchia akadályozta a gyors döntéshozatalt,
- a hibajelentés és a transzparencia hiányos volt.

A fukushimai baleset egyik legfontosabb tanulsága éppen az, hogy a nukleáris biztonság nem lehet statikus: a biztonsági kultúrát aktívan fejleszteni kell, és a legvalószínűleg nagyobb eseményekre is fel kell készülni.

Japán nukleáris biztonsági intézkedései a fukushimai baleset után

A 2011-es Fukushima Daiichi baleset után Japán radikális és rendszerszintű reformokat hajtott végre a nukleáris biztonság területén. A változások nemcsak műszaki jellegűek

voltak, hanem szabályozási, szervezeti és kulturális szinten is új alapokra helyezték az iparágat. Japán a világ egyik leg-szigorúbb nukleáris biztonsági rendszerét hozta létre. A reformok során új, független hatóságot hoztak létre, radikálisan szigorították a műszaki és szervezeti követelményeket, megerősítették a telephelyi védelmet, fejlesztették a biztonsági kultúrát nemzetközi standardok alapján [16,17,20-23]. A 3. táblázat mutatja a baleset előtti és utáni japán szabályozást.

Terület	Fukushima előtt (2011 előtt)	Fukushima után (2012-)
Szabályozó hatóság	METI* alá rendelt NISA (Nuclear and Industrial Safety Agency). Nem volt teljesen független, ipari érdekek befolyásolták.	NRA – Nuclear Regulation Authority , teljesen független, parlament által létrehozott szerv (2012). A világ egyik legszigorúbb hatósága.
Biztonsági filozófia	Súlyos baleseteket gyakorlatilag kizártnak tekintették. A tervezési alapot történelmi adatokra korlátozták.	Súlyos baleseteket nem lehet kizárni . Kötelező a determinista és valószínűségi megközelítés együttes alkalmazása.
Cunami- és földrengésvédelem	A telephelyek többsége alul becsült cunami-magasságra volt tervezve. A földrengésmoდეlek elavultak voltak.	Kötelező új hazard-elemzés minden telephelyen. Extrém (történelmi maximum feletti) cunami- és földrengés-szintekre kell tervezni.
Súlyosbaleset-kezelés (Severe Accident Management, SAM)	Nem volt jogszabályban kötelező. A TEPCO-nál több SAM-elem hiányzott vagy elavult volt.	Kötelező , részletesen szabályozott SAM-rendszer: hidrogén rekombinátorok, konténment-szellőztetés, alternatív vízbefecskendezés, mobil eszközpark.

*Ministry of Economy, Trade and Industry

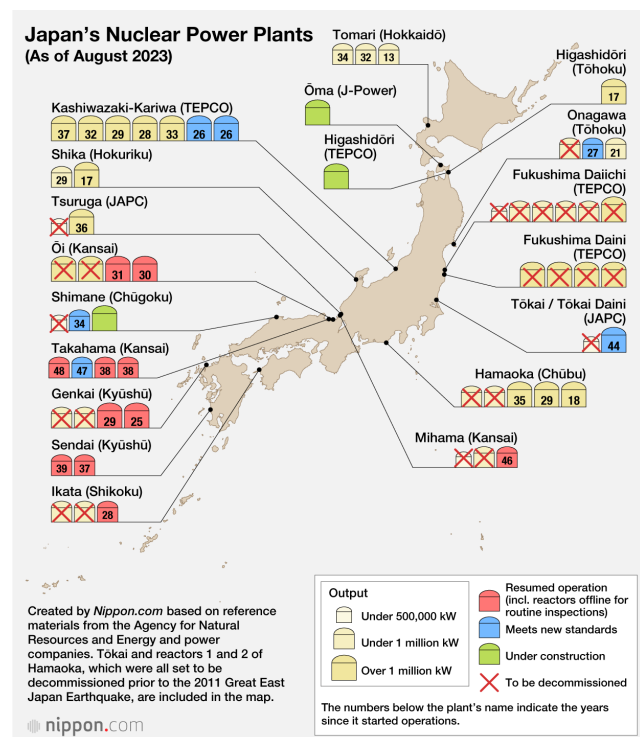
Terület	Fukushima előtt (2011 előtt)	Fukushima után (2012-)
Vészhelyzeti áramellátás	Dízeldizgenerátorok (DG) gyakran pincében, elárastásnak kitett helyen. Nem volt független tartálék.	Kötelező magasabbra helyezett , vízálló DG-k, mobil DG-k, független kábelezés, több redundáns energiaforrás.
Végso hőelnyelő (Ultimate Heat Sink, UHS)	A Csendes-óceánra támaszkodtak, alternatív UHS nem volt.	Kötelező alternatív UHS , mobil szivattyúk, független vízforrások, elárastásálló vízbevételek.
Telephelyi fizikai védelem	Tengerfalak alacsonyok voltak, vízzáró ajtók hiányoztak.	Megemelt tengerfalak, vízzáró ajtók, elárastásálló gátak, kábelalagút-védelem.
Vészhelyzeti irányítás	A vezénylőközpontok nem voltak földrengés- és cunamiállók.	Kötelező megerősített, független vészhelyzeti irányítóközpont minden telephelyen.
Biztonsági kultúra	Hierarchikus, reaktív, hibajelentéstől tartó szervezeti kultúra.	Kötelező biztonsági kultúra önértékelés , transzparencia, hibajelentési rendszer, humánfaktor-képzés.
Időszakos biztonsági felülvizsgálat (Periodical Safety Review, PSR)	Nem volt kötelező. A TEPCO több területen elmaradt a nemzetközi gyakorlattól.	Kötelező 10 évenkénti PSR , NAÜ-standardok szerint.
Nemzetközi felülvizsgálatok	Korlátozott részvétel, kevés OSART/IRRS misszió.	Rendszeres NAÜ-missziók, WANO-értékelések, nemzetközi transzparencia.
Reaktorok újraindítása	A szabályozó engedélyezte, ha a minimális követelmények teljesültek.	Újraindítás csak az új NRA-szabályok teljesítése után , telephelyenként több éves vizsgálat.

3. táblázat: Japán nukleáris szabályozása Fukushima előtt és után

Az intézményes szabályozás és érvényesítés felőleli az atomerőmű esetében a telephely kiválasztását és jellemzését, a tervezést, a létesítést, az üzemeltetést, beleértve a leszerelést és a radioaktív hulladékok biztonságos elhelyezését egyaránt. Mindez nem kell, hogy kizárja a politikai és civil szervezetek általi ellenőrzést, s feltételezi a transzpareniciát.

A 14. ábra a japán erőműveket mutatja 2023-ban [24]. A fukushimai baleset után az összes erőművet leállították, és csak teljes átvizsgálás és engedélyezés után indították el a megfelelőket.

A Fukushima Daiichi Atomerőmű összeomlását nem természeti katasztrófa okozta, hanem a TEPCO több olyan döntése, amely szerint nem volt proaktív a biztonság terén még a blokkok építésének idején. Mivel a legtöbb egyéb tényező hasonló, a Tohoku Electric általános szervezeti gyakorlata és biztonsági kultúrája mentette meg Onagawa helyzetét. Ha a biztonságot és a katasztrófaelhárítást megfelelően felismerték volna, kezelték volna és végrehajtották volna a Fukushima Daiichiben – ahogyan a Tohoku Electric vállalati biztonsági kultúrájában is történtek –, akkor a katasztrófális összeomlások talán megelőzhetőek lettek volna. [10]



14. ábra: Japán erőművek 2023 [24]

Összefoglalás

„A 2011. március 11-i földrengés és szökőár olyan nagyságú természeti katasztrófák voltak, amelyek az egész világot megrázták. Bár ezeket kataklizmikus események váltották ki, a Fukushima Daiichi Atomerőműben bekövetkezett későbbi balesetet nem lehet természeti katasztrófának tekinteni. Igenis ember okozta katasztrófa volt, ...amit meg lehetett volna, és meg is kellett volna előzni.” szolt az „Üzenet az elnöktől”, a fukushimai nukleáris baleseteket vizsgáló független vizsgálóbizottság hivatalos jelentésében [25].

A NAIIC-jelentés [21] a fukushimai balesetet japánspecialistaként írta le, mivel a japán nukleáris ipar nem tudta felhasználni a Three Mile Island és Csernobili Atomerőművekben történt balesetek tanulságait. A NAIIC elnöke, Kiyoshi Kurokawa szavaival élve: „Ez a gondolkodásmód vezetett a katasztrófához.” A biztonsági kultúra a csernobili baleset elsődleges okaként is szerepel.

Irodalomjegyzék

- [1] <https://woody.com/blog/2012/05/07/not-losing-to-the-rain/>
- [2] Jánosi Imre: A cunami, Fizikai Szemle 2006/1. B3.o.
<https://fizikaiszemle.elft.hu/archivum/fsz0601/janosi0601.html>
- [3] M.N.A. Halif and S.N. Sabki: The Physics of Tsunami: Basic understanding of the Indian Ocean disaster, American Journal of Applied Sciences 2 (8): 1188-1193, 2005, ISSN 1546-9239
- [4] NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration Tsunami Science and Hazard Assessment
<https://www.noaa.gov/explainers/science-behind-tsunamis>
- [5] Synolakis, C. & Kanoglu, U. (2015) The Physics of Tsunamis – Annual Review of Fluid Mechanics
<https://toweracademic.com/how-tsunamis-form-detailed-explanation>
- [6] Niklas Baumert et al., Guideline for Tsunami Risk Assessment in Indonesia Scientific Proposal for Practitioner and End Users, Indonesian – German Working Group on Tsunami Risk Assessment
https://www.researchgate.net/figure/The-effect-of-water-depth-on-wave-height-and-velocity-Source-Tsunami-Glossary-UNESCO_fig4_336375308
- [7] National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2014. Lessons Learned from the Fukushima Nuclear Accident for Improving Safety of U.S. Nuclear Plants. Washington, DC: The National Academies Press.
<https://www.nationalacademies.org/read/18294/chapter/6#89>
- [8] Responses to the Tohoku–Pacific Ocean Earthquake and Tsunami at the Onagawa Nuclear Power Station and Tokai No.2 Power Station (report), August 2013, Japan Nuclear Safety Institute, https://www.genanshin.jp/english/archive/disastersitereaction/data/report_OnTk.pdf
- [9] Airi Ryu, Najmedin Meshkati: Onagawa: The Japanese nuclear power plant that didn't melt down on 3/11, Bulletin of the Atomic Scientist, March 10, 2014
<https://thebulletin.org/2014/03/onagawa-the-japanese-nuclear-power-plant-that-didnt-melt-down-on-3-11/>
- [10] IAEA Mission To Onagawa Nuclear Power Station, 2012
<https://www.iaea.org/sites/default/files/iaeamissiononagawa.pdf>
- [11] Fenyvesi Csaba: A biztonsági kultúra megjelenése egy nukleáris erőmű mindennapjaiban, Gradus Vol 3, No 1 (2016) 23-37, ISSN 2064-8014
- [12] Katona Tamás János: Nukleáris biztonság és társadalom Fukusima után – Nukleáris biztonság, társadalmi érdek és a jog, Magyar Tudomány 2015/2
- [13] Kerstan S. Cole, Susan M. Stevens-Adams, & Caren A. Wenner: A Literature Review of Safety Culture, SANDIA REPORT SAND2013-2754, Unlimited Release, Printed March 2013
- [14] IAEA (1991): INSAG 4: Safety Culture.
- [15] IAEA (2015): The Fukushima Daiichi Accident. Technical Volume 1-5
- [16] WANO (2013): Principles for a Strong Nuclear Safety Culture.
- [17] OECD/NEA (2016): Safety Culture: A Report by the NEA Working Group on Human and Organisational Factors.
- [18] NAIIC (2012): The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission.
- [19] OECD/NEA (2016): Five Years After Fukushima – Nuclear Safety Improvements
- [20] NAIIC (2012): The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission
- [21] Kingston, J. (2012): Natural Disaster and Nuclear Crisis in Japan: Response and Recovery after Japan's 3/11
- [22] Samuels, R. (2013): 3.11: Disaster and Change in Japan
- [23] Japan's Nuclear Power Plants in 2023
<https://www.nippon.com/en/japan-data/h01752/>
- [24] The National Diet of Japan: The official report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission
https://www.nirs.org/wp-content/uploads/fukushima/naaic_report.pdf