

Újabb (3.) helyzetelemzés a japán földrengés atomeróművi következményeiről
Dr. Aszódi Attila, BME Nukleáris Technikai Intézet
2011. március 16.

Köszönöm a sok levelet, amelyeket a korábbi két^{1,2} elemzéssel kapcsolatban kaptam. Sajnálom, hogy csak most, két nappal a 2. elemzés után tudom elkészíteni a következő értékelést, de továbbra is Kanadában tartózkodom egy konferencián. Ez a helyzetelemzés hosszabb és szubjektívebb, mint a korábbiak. Ennek oka, hogy rengeteg dolog történt az elmúlt két napban, és a baleset technikai részletei még minden nagyon hiányosak. A leglényegesebb kijelentéseket kiemeléssel jelöltem meg.

Az elmúlt két napban a helyzet Japánban egyértelműen tovább romlott. A földrengés idején működő Fukushima atomerómű 1. számú telephelyének 1., 2. és 3. reaktorán robbanás történt, a 4. blokk pedig (ami karbantartáson állt a földrengés idején) egy súlyos tűzön esett át, és sérült a pihentető medencében lévő besugárzott kazetták hűtése. Az új helyzetet úgy lehet összefoglalni, hogy tervezési alapon túli, ún. súlyos baleseti folyamatok zajlanak az 1., 2., 3. reaktor zónájában, valamint vélhetően minimum a 4. blokk pihentető medencéjében, de véleményem szerint nem elképzelhetetlen, hogy az 1., 2., 3. reaktor pihentető medencéjében is veszélybe került a kazetták hűtése. Gondok vannak az 5. és 6. blokk pihentető medencéjében termelődő hő elvezetésével is.

1) A magyar közvélemény legfontosabb kérdése ebben a helyzetben, hogy mekkora a veszély a lakosságra nézve. Határozott válaszaim:

- **Magyarországra vagy Európára nézve nem jelentenek veszélyt a japán kibocsátások!** Nem került ki annyi sugárzó anyag, és az nem jutott fel olyan magasságba, hogy ezek az anyagok el tudjanak jutni releváns mennyiségben Európába. Az események kezdete után 6 nappal is azt mondom, hogy radiológiai következményei nem lesznek ennek az eseménynek Európában és Magyarországon sem.
- **Ázsia Japánon kívüli részén és Észak-Amerikában szintén nem lesznek radiológiai következmények.** Lehet, hogy Kínában vagy Oroszországban nyomokban ki fognak tudni mutatni a japán kibocsátásból származó izotópokat, de ennek egészségügyi kockázata nem lesz. Láttam ma a CNN adásában, hogy az USA nyugati partvidékén elkezdtek az emberek jódtablettát vásárolni. Rendkívüli módon ki kell hangsúlyozni, hogy **Japánon kívül jódtablettát bevenni nem csak nem indokolt, de kifejezetten veszélyes is.** Vannak emberek, akiknek a szervezete allergiás reakciót mutat nagy mennyiségű jódtól bevétel után, de ez az adott személy számára nem feltétlenül ismert. Ha az emberek nagy számban bevesznek jódot, ki fog derülni, hogy ki allergiás rá, és millió lakosonként 1-2 ember akár bele is halhat az allergiás reakcióba. Mivel a jódtabletta bevétel Japánon kívül nem indokolt, nem érdemes ezt a kockázatot felvállalni!
- Japánban ott kell jódtablettát bevenni, ahol a hatóságok azt elrendelik. Ez az a szűk terület, amire a szennyezés kiterjedhet. **Továbbra is tartom, hogy Japán egészének vagy nagy területének elszennyeződése nem valószínű.** Az erómű körüli 20 km-es körben jelentős szennyezés van már most is, és a helyzet ott valószínűleg még romlani fog. Nagyobb távolságban radiológiai következmények nagyon nem valószínűek!

¹ http://www.reak.bme.hu/fileadmin/user_upload/felhasznalok/aszodi/letoltes/Japan/20110312_Aszodi_Japan_v3.pdf

² http://www.reak.bme.hu/fileadmin/user_upload/felhasznalok/aszodi/letoltes/Japan/Aszodi_ISSCWR_Japan_20110314.pdf

2) A helyzet egészségügyi veszélyei a Fukushima I. atomerőmű dolgozóira, a mentesítésben résztvevőkre nézve

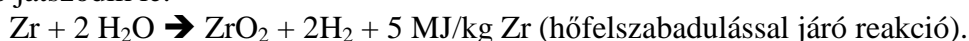
A mostani adatok szerint a telephely egyes részein 8-10 mSv/h a dózisteljesítmény (8-10 millisievert dózis óránként), vagy ekkora volt rövidebb-hosszabb ideig. Ennél magasabb értékek is elképzelhetőek ebben a helyzetben. Ez – ahogy korábban is írtam – egyértelműen korlátozza a dolgozók munkáját. A nemzetközi előírások szerint egy dolgozó 5 év alatt 100 mSv dózist kaphat a munkája során, éves szinten a korlát 20 mSv. (Egy adott évben ez az érték felmehet 50 mSv-re, de akkor is 100 mSv a korlát 5 évre.) A baleset elhárítása mint különös indok miatt egy kiválasztott dolgozói csoportra a dóziskorlátot megemelhették (a hírek szerint ez a határérték módosítás Japánban 250 mSv-ig megtörtént). **Ha fennmaradnak a telephelyen a mostani dózisviszonyok, vagy tovább romlanak, a helyreállításhoz sok dolgozóra és különleges intézkedésekre lesz szükség.**

3) A Fukushima I. atomerőmű blokkjainak állapota

A japán Yoshiaki Oka professzorral közösen részletesen elemeztük az interneten elérhető videofelvételeket. Arra jutottunk, amit a hivatalos közlések is tartalmaznak: **az 1. és a 3. blokkon a hidrogénrobbanás a reaktorcsarnokban történt** (az 1. ábrán (20) jelű tér), ami az épület tetejét rombolta le. Jól látható a videókon, hogy a robbanás felhője elsősorban vízszintesen terjed, kevéssé hatol felfelé. Az atomerőművet üzemeltető TEPCO cég azon közlése, hogy itt a hermetikus védőépület első gátja, az 1. ábrán (12) számmal jelölt acél fal nem sérült meg, minden bizonnyal helytálló. Úgy tűnik, hogy mostanra ezeket a reaktorokat elárasztották vízzel. Ha a keletkező gőzt egyszerűen kiengedik a környezetbe, a kazetták hosszú távú hűtése megoldott, így itt további üzemanyag-sérülés nem várható. A TEPCO közlése szerint mind az 1., mind a 3. reaktoron a zóna jelentős része (az egyik esetben kb. 2/3 része, másik esetben 1/3 része) megolvadhatott. Ha a reaktorokat azóta vízzel elárasztották, és a vízszintet most már tartják, további olvadás nem valószínű. A korábbi zónaolvadás elsősorban azért probléma, mert az olvadás hatására a keramikus urán-dioxid üzemanyag mátrixból a gáz halmazállapotú, illetve illékony hasadási termékek nagyobb mennyiségben tudtak kiszabadulni. Ez növelte az erőmű telephelyének szennyezettségét.

A felvételek elemzése alapján a robbanás a Fukushima I. atomerőmű 2. blokkján teljesen más természetű volt. A YouTube-on talált felvételen egyértelműen látszik, hogy a robbanás felhője felfelé törekszik (szerintem maximum 1000 méter magasra hatolhatott fel), majd nagy méretű, nehéz (véltetően) betondarabok hullanak alá. Az is egyértelműen látható, hogy a robbanás elején megindul egy szürke felhő felfelé, majd látszik egy narancssárga színű felvillanás, és a robbanás felhője még magasabbra hatol. A 2. ábra felhasználásával a következő magyarázat adható.

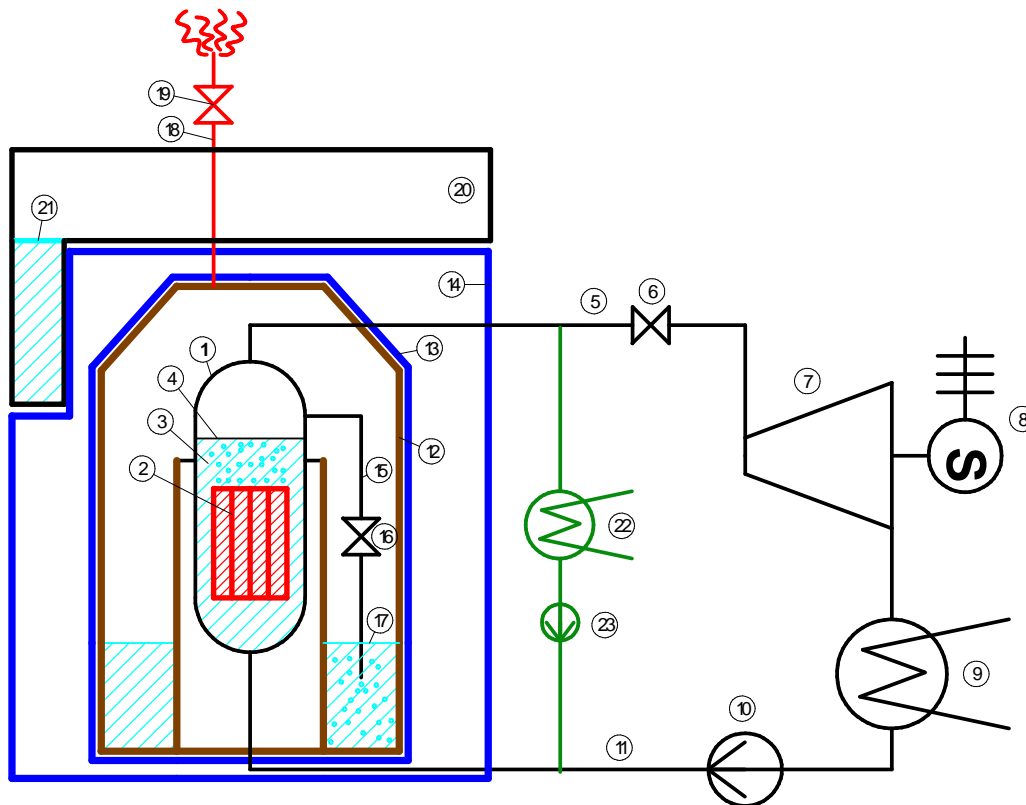
A 2. reaktor hűtése hosszabb időre kimaradt. Ennek hatására a reaktorzóna szárazra került, a kazetták túlhevültek, ami az elárasztás után jelentős hidrogénfejlődéshez vezetett, mert 1200 °C fölött az üzemanyag cirkónium burkolata és a vízgőz között a következő kémiai reakció játszódik le:



A reaktorok hermetikus terét nitrogénnel töltik fel, hogy ha keletkezik hidrogén ebben a reakcióban, az ne tudjon berobbanni (a robbanáshoz oxigén is kell, ami a cirkónium-vízgőz reakcióban nem keletkezik). A 2. reaktorban sem keletkezett oxigén, és nem valószínű, hogy tömörtelenségeken beszökött volna, hiszen az üzemeltetők folyamatosan azzal küzdöttek, hogy túl magas a nyomás a hermetikus védőburkon belül. Adatok hiányában csak vélelmezni lehet, hogy a tengervíz bejuttatása során a szivattyúk nem tisztán vizet, hanem a mostoha körülmények között víz-levegő keveréket nyomtak be a hermetikus térbe. Ez az oxigén elegendő lehetett ahhoz, hogy a 2. ábra tórusz alakú terében vagy a reaktortartályon kívül, a tartály körül a primer konténmenten belül a hidrogén egy része berobbanjon. Ez megemelte a reaktortartály fölötti beton fedelet (jól látszik a 2. ábrán), a gőz és a maradék hidrogén ki

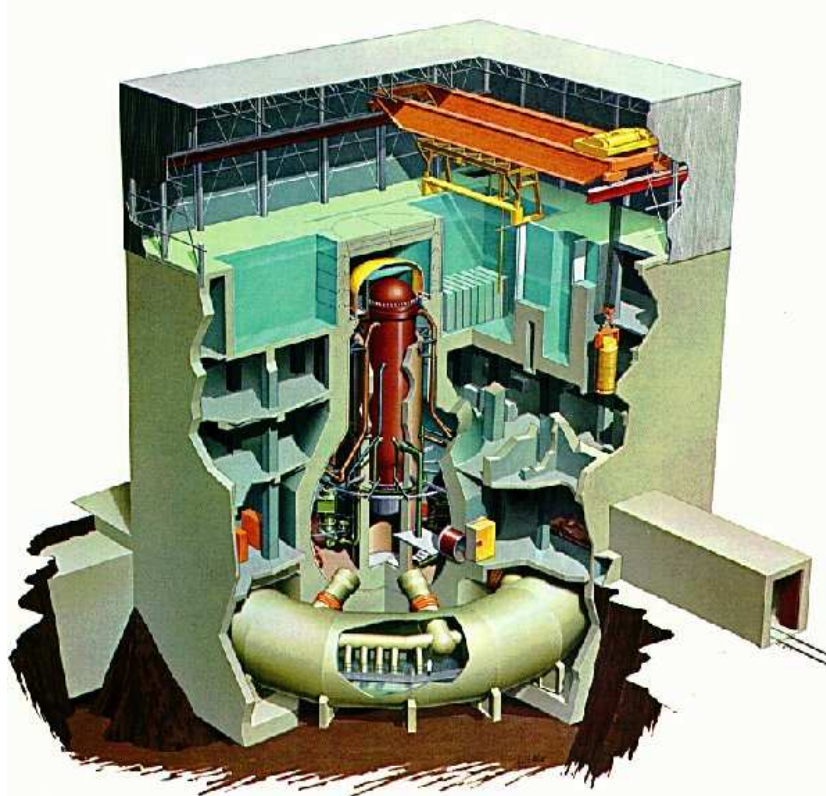
tudott áramlani a szabadba, ahol a maradék hidrogén be tudott robbanni a környezetben lévő oxigénnel. Ez okozhatta a videókon látható „kísérő” felvillanást. **Az üzemeltető cég azt közölte, hogy a 2. reaktor tartálya nem sérült meg. A fent leírt eseménysorban ez lehetséges.**

Felmerülhetne, hogy a zónaolvadás során keletkezett olvadék a reaktortartály aljára érkeve gőzrobbanást válthatott ki, és esetleg ez okozhatta a 2. blokkon a robbanást. Ez azért nem valószínű, mert akkor sokkal több aktivitás került volna ki a környezetbe, a mostaninál sokkal nagyobb dózisteljesítmények lennének a telephelyen.



1. ábra: A Fukushima-Daiichi 1. blokk sematikus rajza

- (1) reaktortartály; (2) üzemanyag-kazetták; (3) reaktor hűtővíz; (4) vízszint a reaktorban; (5) frissgőzvezeték; (6) főgőzszelep; (7) turbina; (8) generátor; (9) kondenzátor; (10) tápszivattyú; (11) tápvízvezeték; (12) hermetikus védőépület acél fala; (13) hermetikus védőépület első beton fala; (14) hermetikus védőépület külső beton fala; (15) reaktortartály üzemzavari lefúvató vezeték; (16) reaktortartály üzemzavari lefúvató szelep; (17) vizes akna; (18) konténment lefúvató vezeték; (19) konténment lefúvató szelep; (20) reaktorcsarnok; (21) pihentető medence



2. ábra: A BWR Mark I. blokkok hermetikus védőépületének felépítése

4) **A Fukushima I. atomerőmű blokkjainak pihentető medencéi**

Korábbi elemzésemben írtam, hogy ha a víz nem folyt el a földrengés vagy az azt követő események hatására a pihentető medencékből, akkor az ott tárolt kiégett kazetták sérülésének kisebb a valószínűsége. Sajnos a „ha” itt eldőlt rossz irányba, mert több blokkon is rossz hírek érkeztek a pihentető medencékről. Tovább árnyalja a képet, hogy a földrengés idején álló 4. blokkon is hűtési problémák léptek fel a pihentető medencénél. **Arra kell számítani, hogy az 1., 2., 3., 4. blokkokon is lehetett (vagy lehet a jövőben) üzemanyag sérülés a pihentető medencékben. Ez növelheti a telephelyi kibocsátást, és a közvetlen környék szennyezettségét. Innen sem várható azonban olyan kibocsátás, ami messzire eljuthatna.**

A 4. blokk pihentető medencéjének problémája újra felhívja arra a figyelmet, amiről a korábbi elemzésekben írtam: az alap infrastruktúra nagyon súlyosan megsérült (elsősorban nem a földrengésben, hanem a cunami miatt), ezért alapvető feladatok elvégzése is nehezzé vált. Lehet, hogy itt is tüzelőanyag ellátási problémák keletkeztek a szivattyúknál vagy a szivattyúkat hajtó motorok üzemanyaga vízzel szennyeződött, ami hosszabb idejű hűtés kieséshez vezetett. Az 1., 2., 3. blokki robbanások mechanikai hatása is okozhatott problémát a reaktorépületek tetején lévő (az 1. ábrán (21) számmal jelölt) pihentető medencék integritásában vagy hűtőrendszerében. A legutolsó jelentések szerint gondok léptek fel az 5. és 6. blokk pihentető medencéjében termelődő hő elvezetésével is.

5) **Kikezdi-e a nukleáris biztonsági alapelveket a japán események?**

Az atomerőműveket a mélységi védelem elve alapján az üzemzavarok széles körére méretezik. Az üzemzavarok kiinduló eseménye között minden, az adott telephelyen elképzelhető külső hatást figyelembe kell venni. Az összes atomerőművet méretezni kell szélsőséges időjárási körülményekre, földrengésre, árvízre, nagy hőségre vagy extrém hidegre. **A tengerparti telephelyeknél a méretezési alapon szerepelnie kell a szökőárnak is.**

A méretezés során az atomerőmű biztonsági elemzését végző mérnökök kikérik a geológusok, hidrológusok, meteorológusok véleményét, akik megadják, hogy adott valószínűségi szintek mellett milyen extrém terhelések várhatóak a környezetből.

A Fukushima atomerőmű blokkjait is méretezték földrengésre és szökőárra is. A mostani földrengés Japán történetének legnagyobbika. A földrengés utáni cunami Japán történetének legextrémebb szökőárja. Ilyen hatásokra nem méretezték ezeket a blokkokat!

A most rendelkezésemre álló adatok alapján meg vagyok róla győződve, hogy **a blokkok a földrengést jól viselték, működésképesek maradtak (a 9-es magnitúdó ellenére), mivel a földrengésre való méretezés igen nagy biztonsági tartalékokkal történik.** (Oka professzortól tudom, hogy kisebb biztonsági tartalékokkal méretezték a távvezetékek oszlopait, így a mértékadó földrengést meghaladó erősségű rengések hatására a villamos hálózat összeomlott, így a telephely külső áramellátás nélkül maradt.)

A villamos hálózat összeomlására is méretezik az atomerőművet: emiatt építenek be több, egymástól függetlenül működni képes dízelgenerátort, melyek azonnal elindulnak a blokk generátorának villamos hálózatról való leszakadásakor és 40-60 másodperces indulási idejük után a biztonsági rendszereket el tudják látni árammal.

A Fukushimai blokkok azonban nem voltak felkészülve ilyen extrém cunamira. A blokkok a 10 méter magas szökőár rombolása következtében sérültek meg ilyen súlyosan! Tönkrement az alpinfrasztruktúra, és a végső hőnyelő biztonsági hűtővíz blokkokra történő bepumpálása lehetetlenné vált. **A cunami olyan közös okú hibák sorozatát indította el, amit az üzemeltetők már nem tudtak lekezelni.** (Esetleges emberi tényezőkről lást a 7. pontot.) Ezek után a súlyos balesetek kezelésére szolgáló írott utasításokat, balesetelhárítási terveket kellett alkalmaznia a japán mérnököknek, amelyekkel a szabályoknak megfelelően rendelkeztek is.

A japán események bizonyítják, hogy a munka, amit a csernobili baleset után az atomenergetikai mérnökök végeztek, nem volt hiábavaló. Csernobil után ugyanis alapos elemzések készültek azokra a kis valószínűségű eseményekre, amelyek nem szerepelnek a tervezési alapban. A mélységi védelem elve szerint a kis valószínűségű, de a reaktorra nézve súlyos – adott esetben végzetes – következményekkel járó események elemzése alapján az atomerőművekre súlyosbaleset-kezelési utasításokat dolgoztak ki. Az elemzések továbbá információkkal szolgáltak arról is, mi történhet a zónaolvadékkal, mennyi hidrogén keletkezhet, hogyan lehet azt kezelni, stb. Ezeket az ismereteket és kezelési utasításokat lehetett itt alkalmazni (további részletek a súlyos balesetekről elérhetőek habilitációs előadásomban a weblapomon³).

6) Politikai következmények

Az atomenergiában alapelv, hogy ha a tudományban új ismeretek merülnek fel, akkor az alapján a létesítmények biztonságát újra kell értékelni. A japán események ismeretében feltétlenül szükséges az európai atomerőművekben megvizsgálni a dízelgenerátorok működőképességét és a súlyosbaleset-kezelési utasítások érvényességét. Ezt a vizsgálatot Pakson is el kell végezni. Az európai atomerőművi blokkok leállítása azonban erre a vizsgálatra hivatkozva nem indokolt! Ahogy fentebb írtam, a japán földrengés ugyan rendkívüli erejű volt, ez magában nem okozta volna a fukushimai blokkok tönkremenetelét. Az európai atomerőművekben is nagy konzervatívizmussal tervezték meg a földrengésvédelmi rendszereket, így nem várható, hogy európai atomerőmű súlyosan

³ <http://www.reak.bme.hu/index.php?id=768>

http://www.reak.bme.hu/fileadmin/user_upload/felhasznalok/aszodi/letoltes/Japan/Aszodi_TH_sulyosbaleset_Habil_2010nov18_v5.pdf

károsodna egy – a tervezési alapot meghaladó – földrengésben. (Ettől még az újabb vizsgálatot nem kell elvetni; át kell tekinteni, mit tanulhatunk a japán földrengésből!)

A Fukushima I. telephely blokkjainak biztonságos lehűtését nem a földrengés, hanem az azt követő szökőár sodorta veszélybe. A német kancellár nemrégiben bejelentette, hogy a német reaktoroknál biztonsági felülvizsgálatot rendelnek el. Ez rendben is van, de azt is mondta Angela Merkel, hogy a legrégebbi blokkokat le kell állítani a vizsgálatok idejére. Szubjektív kérdés, de vajon Németországban (pl. Bajorországban, a kontinens belsejében) miféle cunamitól féltik a reaktorokat? A német kancellár bejelentése nem nukleáris biztonsági, hanem politikai célzatú: a jövő hét végén több német tartományban választásokat tartanak. A kancellár attól tart, hogy politikai cunami sodorja el a pártját. Ennek semmi köze a nukleáris biztonsághoz!

Sokat fogunk tanulni a japán eseményekből, mint ahogy tanultunk az amerikai Three Miles Island (TMI) atomerőmű 1979-es, és a szovjet csernobili atomerőmű 1986-os balesetéből is. De óriási különbség TMI, Csernobil és a japán balesetek között, hogy az amerikai és szovjet balesetek alapvető oka emberi hibák sorozata volt, míg a mostani japán esemény olyan óriási természeti csapások sorozatából indult ki, amire a tervezők nem számítottak, nem számíthattak.

Rendkívül fontos hangsúlyozni: japán egy nagyon fegyelmezett, földrengésveszélyben élő ország. Az építési szabványok, az emberek képzése, folyamatos tréningje mind figyelembe veszik az állandó földrengésveszélyt. Az épületek, az ipari létesítmények jelentős része – benne az atomerőművekkel – jól vizsgáztak történelmük legnagyobb földrengésében. A nagy szökőárra azonban még ők sem voltak felkészülve.

Egyes gazdasági elemzők szerint a közvetlen kár 180 milliárd USD is lehet. Azonnal tönkrementek lakóházak, utak, villamos- és gázvezetékek, termelőüzemek, gyárak, repterek, repülők, hajók, vonatok, autók. A kár összege a cunami levonuláskor kialakult, ahogy a halálos áldozatok száma is. A cunami után a 180 milliárd dolláros veszteséglistán nem voltak reaktorok, mert azok sokkal robusztusabbra voltak méretezve, mint a többi civil létesítmény. Néhány napig küzdöttek az atomerőmű szakemberei, hogy a Fukushima I erőmű blokkjai ne kerüljenek a veszteséglistára. Sajnos nem voltak sikeresek, nem tudták megmenteni a blokkokat attól, hogy rákerüljenek a veszteséglistára. Ma már 4 blokkot elveszítettnek lehet tekinteni, a 180 milliárd dolláros összeget meg kell növelni 10 vagy 20 milliárd dollárral.

De az atomerőmű balesete nem önmagában történt, hanem egy súlyos természeti katasztrófa következtében. Még akkor is így van ez, ha a hírekben túlsúlyban vannak az atomerőmű küzdelmével kapcsolatos jelentések. Amikor ezeket a sorokat írom, már hivatalosan 4.000 fölötti halottja és 8.000 fölötti eltűntje van a földrengés-cunami kettősnek. Ez összesen vélhetően 10.000 fölötti halálos áldozatot fog jelenteni. Nem kizárható, hogy az atomerőmű mentesítési munkái halálos áldozatokkal is járnak majd a dolgozók körében, de ezen áldozatok száma 4 nagyságrenddel fog elmaradni a teljes természeti katasztrófa áldozatainak száma alatt. A japán lakosság széles köreiben a sugárzás nem fog áldozatokat szedni, mert megvannak a mérőrendszerek, működnek a hatóságok, a kitelepítési tervek, stb. A lakosságot meg fogják óvni. Az atomerőmű telephelyén, szűk környezetében néhány évre sugárvédelmi korlátozások lesznek érvényben.

A japán események ellenére az atomenergiának hosszú távon is szerepe marad a széndioxidkibocsátás-mentes villamosenergia-termelésben.

7) Lehetséges emberi hibák

7/a) Esetleges tervezési hibák

Jogosan merül fel a kérdés, hogy hibáztak-e a Fukushima I üzemeltetői vagy tervezői.

A Fukushima tervezési cunami méretét nem sikerült kiderítenünk, de találtunk adatot az északabbra fekvő Higashidori telephelyre: ott a tervezők a jegyzett történelem legnagyobb cunamiját, az 1856-osat vették. Ennek elemzése azt mutatta, hogy ha ugyanaz a cunami megtörténne, az a Higashidori telephelyen +5,12 m maximális és -3,23 m minimális vízszintet okozna. Ebből kiindulva a Higashidori telephely úgy készült el, hogy -5 m vízszintváltozásnál még működjön a vízkivételi mű, és a kritikus berendezések +10 m magasan legyenek. **Tehát nagy konzervatív ráhagyással vették fel a tervezési alapértékeket a történelmi cunami vízszintadataiból kiindulva.** Ha így tervezték volna a Fukushima I telephelyet (erről most még nincs adatunk), a víz valószínűleg akkor is elérte volna a kritikus komponenseket. **Ha tudták volna, hogy ilyen magas szökőár jöhet, vélhetően erre is fel tudtak volna készülni.**

7/b) Kommunikációs hibák

Az események kezdete óta az a véleményem, hogy **nem megfelelő a japán fél kommunikációja. Egyszerűen túl kevés adatot közöltek az első napokban, és most is túl kevés technikai részlet ismert.** A személyes beszélgetésekből kiderült számomra, a TEPCO-nak nincs olyan kommunikációs csapata, akik a külföldi szervezetek felé tudnának üzeneteket, elemzéseket továbbítani.

A tartós áramszünet is nehezítette a kommunikációt. Információim szerint az erőművi irányítóközpont még mindig áram nélkül van, pedig innen működnek a hivatalos kommunikációs vonalak a TEPCO vállalat központja felé.

Rontott a kommunikáción, hogy a japán kormánynak is szerepe van ilyen helyzetekben. A japán társadalom nagyon bürokratikus és hierarchikus, a fontos bejelentések a kormányra tartoznak még akkor is, ha az atomerőművet üzemeltető TEPCO egy tőzsdei magáncég. Attól tartok, a kormánnyal való folyamatos egyeztetés az első napokban sok információt késleltetett vagy egyszerűen kiszűrt a rendszerből.

7/c) Üzemeltetői hibák

Az üzemeltetők az első napokban feltehetően arra törekedtek, hogy biztosítsák az áramellátást és elkerüljék a radioaktív kibocsátást. Ha a biztonsági hűtővízrendszer elvesztése után bátran lefúvatják többször a hermetikus védőépületet (a primer konténmentet), az üzemanyag-sérülést késleltetni lehetett volna. Vélelmezem, hogy a környezet és a lakosság védelme érdekében ezzel a döntéssel kivártak. Az is lehet, hogy ezt a döntést a kormányra bízták, aki kompetencia hiányában késlekedett a kellemetlen döntést meghozni. Ha a hermetikus térben felgyülemlett gőzt az 1., 2., 3. reaktornál hamarabb lefúvatják, a zónasérülés időben kitolható lett volna, esetleg arra az időre is, amikor már megoldható a reaktorok külső hűtése.

Az is lehet azonban, hogy fizikailag nem volt lehetséges a szelepek nyitása a dízelek működésképtelensége és a teljes áramkimaradás miatt. (Nem tudhatjuk, hogy áram hiányában lehetséges-e a szükséges szelepek manuális nyitása.) Úgy értesültem, hogy március 16-án még mindig nincsen áram a telephelyen, annyira súlyosan károsodott a villamos hálózat a földrengés és a szökőár következtében.

Vancouver, Kanada, 2011. március 16. 22:15

Dr. Aszódi Attila
igazgató, BME Nukleáris Technikai Intézet