

2. ábra. A foton pályája széles és magas barrier határesetében.

időhöz szükségesek. Az időkorreláció-számításnál a barrier abban jelentkezik, hogy az elektromágneses mező módusai nem pontos, hanem a barrier által deformált síkhullámok, pontosan olyanok, mint a határozott energiájú részecskék alagutazásának a tárgyalásánál fellépő hullámfüggvények.

A 2. ábrán a két függőleges vonal a forrás és a detektor-atom világvonala,  $E_1$  a bomlási,  $E_2$  pedig a detektálási esemény. A két pontot összekötő szaggatott vonal a foton pályáját reprezentálja. A középső szakasz vízszintes, mert a számítás szerint az alagutazás nem vesz igénybe időt. Ennek ellenére a rajzon feltüntetett viszonyok mellett a kauzalitás nem sérül, mert az  $E_1$  esemény időpontja nem a kísérletező választásától függ. A kísérletező utoljára az  $E$  esemény,

az állapotpreparálás alkalmával avatkozik be a rendszerbe, ezért az információ  $E$  és  $E_2$  között terjed. Mivel  $E_2$  az  $E$  fénykúpján belül van, az információ terjedési sebessége kisebb a fénysebességnél.

Ez természetesen azon múlik, hogy a rajzon a bomlás a  $D/c$  időnél később következik be:  $t_1 > D/c$ . Amikor  $t_1 < D/c$ , az  $E_2$  az  $E$  fénykúpján kívülre kerül. A számítás azonban ezt az esetet nem öleli fel, mert Wigner–Weisskopf-közelítésben történt, amelyről ismertes, hogy a  $\hbar/T$  bomlási időnél sokkal kisebb időkre nem érvényes. Ezért, amikor arra a következtetésre jutunk, hogy  $E_2$  az  $E$  fénykúpján vagy azon kívül van, a Wigner–Weisskopf-közelítésnél pontosabb kiértékelési eljárás válik szükségessé, amely lényeges módosításhoz vezethet. Nagyon jó lenne tudni, hogy a pontosabb tárgyalás megengedi-e, hogy  $E_2$  az  $E$  fénykúpján kívülre kerüljön. Amikor azonban  $E_2$  kellő mértékben az  $E$  fénykúpján belül van ( $t_2 - z/c \gg \hbar/\text{fotonenergia}$ ), a Wigner–Weisskopf-közelítés elfogadható.

**Összefoglalva:** az alagutazási időt a fogalom definíciója alapján a foton emissziójának és abszorpciójának időkorrelációjából lehet meghatározni. A kvantumelmélet azonban jelenleg nem biztosít egy ilyen számításra fundamentális elveken alapuló eljárást; úgy látszik, ez a kvantumelmélet egyetlen még ma is megoldatlan problémája. Ha a kvantumoptika gyakorlatából indulunk ki, amely a naiv redukciós hipotézisen alapul, akkor a kísérletező utolsó beavatkozásának fénykúpján belül az alagutazási idő standard kvantumelektrodinamikával kiszámítható.

## AZ ATOMENERGIA JÖVŐJE FUKUSIMA UTÁN – 2/1

Aszódi Attila, Boros Ildikó  
BME, Nukleáris Technikai Intézet

Az atomenergia sohasem tartozott a könnyen megérthető és könnyen „eladható” technológiák közé. A II. világháborút lezáró, Japánra ledobott két amerikai atombomba hívta fel igazán a világ figyelmét az atomenergia létezésére, és ez a belépő nem tette egyszerűvé az atomenergia békés célú alkalmazásának elfogadását, még akkor sem, ha a hadiipari és a békés célú nukleáris alkalmazások sok évtizede és határozottan szétváltak. Az 1986 áprilisában bekövetkezett csernobili baleset történései tovább erősítették a laikus közönségben az atomenergiával szembeni félelmeket. Kétségtelen, hogy Csernobil óriási anyagi és – lokális – környezeti károkat okozott a Szovjetunióban, és az elhibázott kommunikáció, a lakosság nem megfelelő védelme is hozzájárult a szovjet politikai rendszer bukásához.

Ma egyértelmű konszenzus van arról a szakmában, hogy Csernobil az elhárításon dolgozók és a lakosság egy kisebb csoportja szempontjából nagy sugárdózist okozó esemény volt, ugyanakkor az európai lakosság

– ezen belül az orosz, fehérorosz és ukrán lakosság zöme – szempontjából kis dózissal járt, sugár-egészségügyi következmények nélkül. Mégis az ezzel kapcsolatos félelmek, a sajtóban fellelhető túlzások mélyen beépültek a társadalmi-politikai tudatba, és részét képezik a fejlett emberi társadalom hétköznapi szorongásainak.

A Csernobil utáni két évtizedben az amerikai és az európai kontinensen is több új atomerőművet helyeztek üzembe, ugyanakkor kétségkívül lassult a fejlődés üteme a 70-es és 80-as évekhez viszonyítva. Ebben az időszakban Ázsiában, ezen belül is Japánban, Dél-Koreában, Indiában és Kínában töretlen fejlődést mutatott az atomenergia-ipar. Két évtizeddel a csernobili baleset után lassú fordulat következett be, és a fejlett világban, többek közt az európai és az amerikai politikában újra higgadtan lehetett beszélni az atomenergiáról. Ebben egészen biztosan szerepet játszott az is, hogy a klímaváltozás elleni küzdelem szükségességét ekkorra értette meg a nagypolitika, és az atomenergia a kezünkben lévő kevés olyan technológia egyike, amellyel nagy

A cikk a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 támogatásával jött létre.

mennyiségben, stabilan tudunk alacsony áron, széndioxid kibocsátása nélkül villamos energiát termelni.

Az ezredforduló utáni években a fejlett országok sorra jelentették be, hogy újra tervezik atomerőmű kapacitások építését. Finnországban, Franciaországban ténylegesen újblokk-építések indultak meg, az USA komoly állami ösztönzőkkel segíti az építeni szándékozó cégeket, Litvánia, Lengyelország, az Egyesült Királyság, Bulgária, Csehország, Szlovákia, Magyarország, Oroszország érdemi gazdasági és politikai lépéseket tett ilyen projektek előkészítésére. Még a törvényben deklaráltan antinukleáris Németország és Olaszország is az atomenergia jövőbeli alkalmazásának revízióját fontolgatta. Ebben a helyzetben történt 2011 márciusában a japán fukusimai atomerőmű balesete, ami a második legsúlyosabb az iparág történetében. Jelen cikk a szerzők [1] alatti írása alapján készült.

## A fukusimai baleset

2011. március 11-én Japán keleti partjaitól körülbelül 130 km távolságban, az óceán alatt egy rendkívüli erejű, sekély fészű földrengés történt. A Richter-skálán 9-es magnitúdójú földrengés a felszabadult energia nagysága szempontjából a világon mért földrengések közül a 4. legnagyobb volt [2]. A földrengés hatására az ország északi részén található atomerőművek – automatikus biztonságvédelmi működések hatására – rendszerben, biztonságosan leálltak és megkezdődött az egységek lehűtése. Japán északi részén ugyanakkor a villamosenergia-rendszer összeomlott, mert a távvezetékben a földrengés számos súlyos károsodást okozott, továbbá a leálló hő- és atomerőművek kieső kapacitását más forrásokból nem lehetett pótolni.

Az országos villamosenergia-rendszer összeomlása kezdeti eseményként szerepel az atomerőművek méretezési alapjában, azaz ezt a helyzetet az atomerőművek biztonságosan kezelni tudják. A földrengés által okozott vízszintes talajszint gyorsulás ugyan kismértékben meghaladta a japán északkeleti partvidéken lévő atomerőművek (Onagawa, Fukushima-1, Fukushima-2, Tokai) tervezési alapjában szereplő méretezési biztonsági földrengés vízszintesgyorsulásértékét, de nem tudunk arról, hogy ez érdemi technológiai károsodáshoz vezetett volna. Ez érthető is, mert a földrengés mechanikai hatásaira való méretezés megfelelő mérnöki tartalékkal történik.

Az óceán alatt kis mélységben bekövetkező nagy földrengés nem várt, rendkívüli méretű cunamit váltott ki. A nyílt óceánon 5–6 méter magas hullámok a partvidéken 15–30 méter magasra erősödtek, és az épített infrastruktúrában óriási pusztítást okoztak. A cunami körülbelül 500 km<sup>2</sup> területen rombolta le a településeket, sodorta el a házakat, utakat, hidakat, vasutakat (1. ábra). A cunami áldozatainak száma megközelíti a 20 000 főt. Közülük sokan azon a mintegy száz cunami óvóhelyen veszítették életüket, amelyeket ilyen esetre építettek, de a méretezésük során a mostaninál jóval kisebb cunamival számoltak.



foto: Yomiuri Shimbun

1. ábra. Az Iwate prefektúrában található Otsuchi várost teljesen lerombolta a cunami.

A Fukushima-1 atomerőmű ugyanezen okból került fel a veszteséglistára: az 1970-es években üzembe lépett, hat atomerőművi blokkot tartalmazó telephelyen a mérnöki építményeket maximum 5,7 m magas cunamihullámokra készítették fel (2. ábra), amelyet jelentősen meghaladott a telephelyet 15 m magas hullámokkal elérő tényleges külső behatás. A cunami elpusztította az erőmű hűtővíz-ellátásáért felelős vízkivételi művet, valamint az árhullám behatolt a turbínacsarnokokba, egyéb épületekbe, és működésképtelenné tette a villamos berendezéseket, ezen belül is az üzemzavari dízelgenerátorokat.

Az atomreaktorok fontos alaptulajdonsága, hogy azokat a láncreakció leállítását után is feltétlenül hűteni kell, mert a nukleáris üzemanyagban felhalmozódott hasadási termékek radioaktív bomlása (nem az urán hasadása!) annyi hőt termel, hogy aktív hűtés nélkül az üzemanyag-kazetták néhány óra elteltével megolvadnának. Ezért létfontosságú az energetikai reaktoroknál a leállítás után a hűtővíz-ellátás és megfelelő üzemzavari áramellátás biztosítása. Ha az atomerőmű külső villamoshálózati feszültség nélkül marad, és a telephelyen lévő összes blokk leáll, az áramellátás csak vészhelyzeti aggregátokról (tipikusan dízelgenerátorokról) biztosítható. A cunami azonban a Fukushima-1 atomerőműnél mind a hűtővíz-ellátást (az

2. ábra. A Fukushima-1 atomerőmű 2009-ben



foto: fukushima-nuclear.com

úgynevezett végső hőnyelő elérését), mind pedig a dízelgenerátorokat tönkretette, így egy rendkívül súlyos, tervezési alapon túli állapot alakult ki, amelynek során megolvadt az 1., 2. és 3. reaktorban lévő üzemanyag, valamint sérülés érte az 1., 2., 3. és 4. blokki pihentető medencét. Az 1., 2. és 3. blokki súlyos baleseti folyamatok több száz kilogramm hidrogén keletkezéséhez vezettek. Az 1., 2., 3. reaktorok hermetikus védőépületének megővése érdekében az operátorok a hidrogén-gőz keverék környezetbe történő lefűtatása mellett döntöttek, amely során – eddig nem ismert okokból – a hidrogén az 1. és 3. blokki reaktorépületekben felrobbant. A 3. blokki hidrogén egy része a közös szellőzőrendszeri vezetéseken keresztül átáramlott a 4. blokk épületébe is, ahol később szintén felrobbant. Összesen 4 reaktorépület súlyosan károsodott (3. ábra). (A 2. blokki hidrogén sorsával kapcsolatban egyelőre nem látunk tisztán. 2011 márciusában azt közölték a japánok, hogy a 2. blokk hermetikus terében, az úgynevezett nedvesaknában hidrogénrobbanás volt, ezt azonban később cáfolták.) A robbanások fokozták a környezetbe kikerülő radioaktív anyagok mennyiségét, és nagyon komplikálttá tették a helyzet hosszú távú kezelését. A hidrogénrobbanások felhívják rá a figyelmet, hogy a Fukusimában és más forralóvízes reaktorokon is használt hidrogénkezelési stratégia – amely szerint nitrogénnel töltik fel a hermetikus védőépületet, így abban hidrogénkeletkezés során nem tud robbanóképes elegy létrejönni – elhibázott, hiszen láttuk, hogy a hidrogén lefűtatása során további hibák fordulhatnak elő, amelyek végül akár robbanáshoz is vezethetnek. Megfelelőbbnek tűnik a Pakson és sok más energetikai reaktorban alkalmazott eljárás, ahol passzív autokatalitikus rekombinátorokat helyeznek el a hermetikus tér kiválasztott pontjain, amelyek a hidrogént oxigén jelenlétében visszaalakítják vízgőzzé, még mielőtt robbanásveszélyes hidrogén-koncentráció jöhetne létre.

A robbanások következtében a reaktorokból jelentős mennyiségű radioaktív anyag került a környezetbe. Úgy is fogalmazhatunk, hogy ha nem lettek volna hidrogénrobbanások Fukusimában, a környezeti következmények sokkal kisebbek lettek volna. A légnemű kibocsátások között a nemesgázok, illékony hasa-

3. ábra. A Fukusima-1 atomerőmű 2011. március 16-án.



fotó: DigitalGlobe

dási termékek (főként jódt, cézium) a fő komponensek. A sérült szerkezeteken keresztül közvetlenül a tengerbe is történt jelentős mennyiségű folyékony kibocsátás. A telephelyen igen magas dózisteljesítmények alakultak ki, ami komolyan akadályozza az elhárítási munkálatokat. Az elhárításon dolgozók megengedett dóziskorlátját ideiglenesen 100-ról 250 mSv-re emelték, ezt a korlátot 2011 végéig – kis mértékben – hat munkás lépte túl, mindannyian az elhárítási munkálatok elején kapták a jelentősebb többletdózszt.

A környező lakosság kitelepítése 3 km-es körzetben már a cunamit követően, március 11-én megkezdődött, mivel a dízelgenerátorok kiesésével az üzemeltető számára nyilvánvalóvá vált a helyzet súlyossága. Másnap 20 km-re emelték a kitelepítési körzetet, ehhez később a mért dózisviszonyok alapján további településeket csatoltak az erőműtől északnyugati irányban. A kitelepítésen túl további korlátozásokat is be kellett vezetni: egyes helyeken a csapvíz, illetve a friss zöldség fogyasztását tiltották meg egy időre. A közvetlen légköri és tengeri kibocsátások mostanra a reaktorok zártkörös hűtésének megvalósításával jelentősen csökkentek, a korlátozások teljes feloldásához azonban a szennyezett lakott területeket meg kell tisztítani.

A kibocsátott radioaktivitás össz mennyisége alapján a japán nukleáris hatóság április 12-én a hétfokozatú Nemzetközi Nukleáris Eseményskála (INES) legmagasabb, hetes szintjére sorolta be a fukusimai balesetet. Ezt a besorolást korábban csak a csernobili baleset kapta meg (az INES skálát éppen az 1986-os baleset után dolgozta ki és vezette be a nemzetközi közösség). Az azonos INES-7-es kategória ellenére sok eltérés van a csernobili és a fukusimai baleset között. Az 1986-os csernobili baleset közvetlen oka a reaktor rossz reaktorfizikai tervezése volt, amit csak rontottak az erőmű bizonyos műszaki megoldásai, egy kiterjedt hermetikus védőépület (konténment) teljes hiánya, illetve a balesetelhárítási terv hiánya. Fukusima esetében egy extrém méretű külső termelési esemény okozta a balesetet, amelynek lezajlását nem megfelelő tervezésű műszaki eszközök (például a lefűtatás során hibásan működő szellőzőrendszer) súlyosbították.

Az ukrainai baleset következményeként körülbelül 50 haláleset írható közvetlenül az elhárítás során elszenvedett rendkívül magas (tipikusan 4000 mSv-nél nagyobb) többletdózis számlájára, emellett körülbelül 6000–8000 többlet rákos megbetegedés várható statisztikai alapon becslve az orosz, fehérorosz, ukrán területen érintett lakosság körében.

Fukusima – ahol a jelenlegi becslések szerint a három megsérült reaktorzónából és a 4 érintett pihentető medencéből összesen körülbelül a csernobili kibocsátás tizede-ötöde került a környezetbe (az adatok csak becslések, egyelőre még nincs pontos, minden fél által elfogadott érték), alapvetően a konténmenteknek köszönhetően – egészségügyi hatásai várhatóan jóval korlátozottabbak lesznek: jelen ismereteink alapján a lakosság egészségügyi károsodása nem várható a baleset következtében. Ennek oka a japán ha-

tóságok gyors döntése a kitelepitésről, a kitelepités hatékony végrehajtása, az élelmiszerek és a csapvíz fogyasztásának szakszerű korlátozása, illetve az a tény, hogy a korábban kidolgozott balesetelhárítási terv alapján dolgozhattak a hatóságok. Csernobilhoz viszonyítva a fukusimai baleset környezeti következményeit az is csökkenti, hogy Japánban nem került ki a környezetbe számottevő mennyiségű üzemanyag-fragmentum, míg Csernobilban a besugárzott üzemanyag mintegy 3,5%-a jutott a környezetbe – benne nagy mennyiségű alfa-sugárzó nehézizotóppal – a 10 napig tartó intenzív grafitűz és az általa létrehozott extrém magas hőmérséklet, valamint a mérnöki gátak teljes hiánya miatt.

A fukusimai baleset okaival, lefolyásával és következményeivel kapcsolatban további információk érhetőek el a [3] alatti weblapon.

## A baleset értékelése a nukleáris biztonság szemszögéből

A fukusimai tapasztalatok fényében jogosan merül fel a kérdés, hogy létezik-e biztonságos atomenergia. A kérdés másként is megfogalmazható: mi az a biztonsági szint, amit elvárunk egy technológiától, ezen belül az atomenergiától?

Az atomerőműveket villamos energia előállítására építik. A használati funkciók mellett az atomerőműnek azonban biztonsági funkciókat is el kell látnia, hiszen a reaktorban a működése során nagy mennyiségű, a környezetre veszélyes radioaktív anyag halmozódik fel, amelynek kedvezőtlen biológiai hatásaitól meg kell óvni a környezetet, az élőlényeket. Az atomerőmű tervezése, építése és üzemeltetése során tehát alapvető cél, hogy a környezet és a lakosság elfogadhatatlan többlet sugárterhelését elkerüljük. E cél elérése érdekében három alapvető biztonsági funkciót kell ellátni:

1. a nukleáris láncreakciót mindenkor hatékonyan kell tudni szabályozni, szükség esetén a reaktort le kell tudni állítani és leállított állapotban kell tudni tartani (röviden: reaktor szabályozása és lezárása);

2. a reaktorban megtermelődő hőenergiát mind normál üzemen, mind pedig üzemzavarok során és leállított állapotban el kell tudni szállítani (üzemanyag hűtése);

3. meg kell tudni akadályozni, hogy az erőműből a radioaktív anyagok kijussanak a környezetbe (radioaktivitás benntartása).

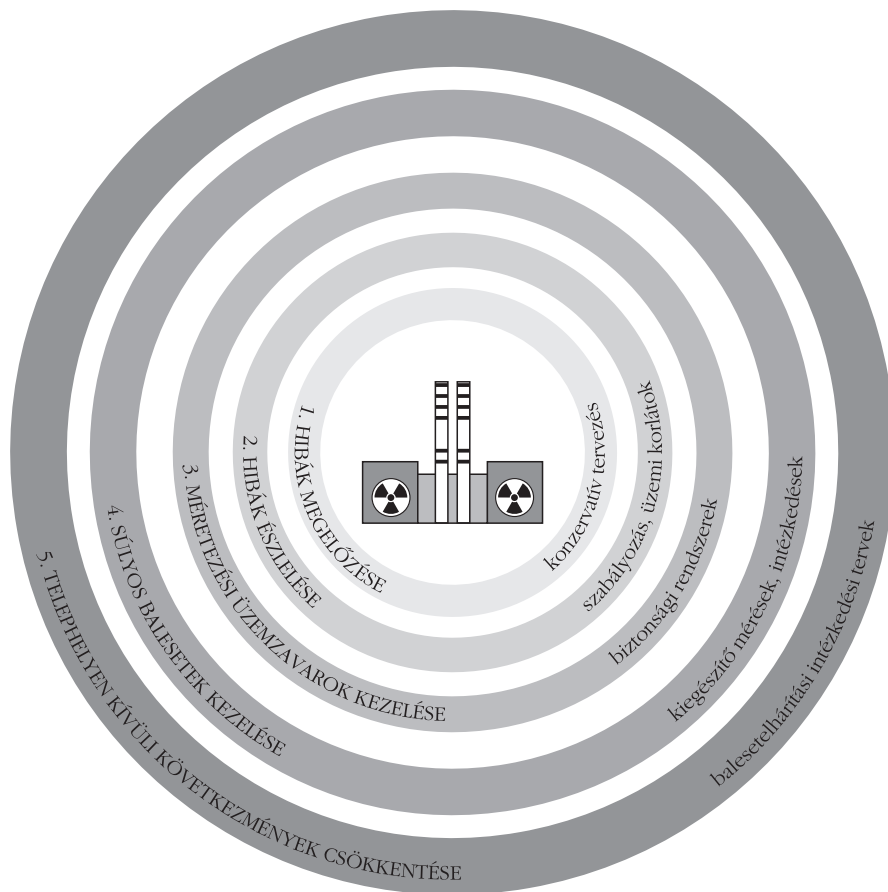
A biztonsági funkciók akkor teljesíthetők, ha az atomerőművet a normál üzemen túl a reálisan elképzelhető eseményekre, üzemzavarokra is méretezzük, vagyis felkészítjük az elképzelhető rendkívüli események és üzemzavarok kezelésére. Az atomerőmű tervezési alapjában ezért a létesítmény és rendszereinek, rendszerlemeinek mindazon jellemzői, valamint a rendszerek, rendszerlemek által ellátni szükséges funkciók szerepelnek, amelyek megléte szükséges a várható üzemi események és feltételezett kezdeti ese-

ményekből származó tervezési üzemzavarok ellenőrzött kezeléséhez a meghatározott sugárvédelmi követelmények betartása mellett.

A magyar szabályozás – összhangban a nemzetközi irányelvekkel – előírja, hogy minden olyan kezdeti eseményt, amely száz évente vagy ennél gyakrabban bekövetkezhet az erőmű üzemideje során, *várható üzemi eseményként* kell kezelni, és a szabályozórendszereket, valamint a személyzetet úgy kell felkészíteni, hogy az összes ilyen eseményből származó problémát el lehessen hárítani anélkül, hogy az erőmű radioaktív kibocsátásai meghaladnák a normál üzemi korlátokat. Az erőműnek egy ilyen esemény után működőképesnek kell maradnia. Várható üzemi események kiinduló eseménye lehet például a turbina kiesése, egyes szelepek, szivattyúk kiesése, meghibásodása, hibás emberi beavatkozás miatti téves működése vagy üzemképtelensége.

A *tervezési üzemzavarok* olyan kezdeti eseményekből kiinduló eseménysorok, amelyek a várható üzemi eseményeknél jóval ritkábban fordulhatnak elő, de esetükben a biztonsági rendszerek működésére, az operátorok hatékony közreműködésére lehet szükség annak érdekében, hogy a lakosság és a dolgozók többlet sugárdózisa a hatósági határértékek alatt maradjon. Bizonyos tervezési üzemzavarok esetén a reaktort körülvevő hermetikus védőépületre (konténmentre), mint mérnöki gátra is szükség lehet a radioaktivitás visszatartásához. Az előírások szerint tervezési üzemzavarként kell figyelembe venni minden olyan – az erőműből induló – *belső eredetű kezdeti eseményt*, amely száz-ezer évente vagy annál gyakrabban előfordulhat (például egy fontos hűtőrendszeri cső eltörése, a reaktorzónát hűtővízzel ellátó fő keringető szivattyúk egyidejű kiesése, egy mérő vagy beavatkozó rendszer meghibásodása, tűz az erőműben stb.), míg *külső eredetű kezdeti eseményeknél* (tornádó, szélvihar, földrengés, áradás stb.) a tervezési alap részeként kell figyelembe venni a tízezer évente vagy annál gyakrabban bekövetkező eseményeket. Egy tervezési üzemzavar bekövetkezése után atomerőmű nem feltétlenül marad működőképes, de egy ilyen eseménysor nem vezethet a lakosság és a dolgozók dóziskorlátánál nagyobb sugárterheléséhez.

A tízezer évnél ritkábban bekövetkező külső eredetű eseményeket, valamint a százezer évnél ritkábban bekövetkező belső eredetű eseményeket nem veszünk figyelembe a tervezési alapon, mert ezek olyan kis valószínűségűek, olyan ritkán fordulhatnak elő, hogy az atomerőművet nem lehet racionálisan felkészíteni a kezelésükre. Mivel ezek nincsenek a tervezési alapon, de előfordulási valószínűségük nem nulla, ezért tervezési alapon túli baleseteknek nevezzük őket. A tervezési alapon túli balesetek közül azokat, amelyek a reaktorzóna sérüléséhez vezetnek, és így az erőmű szempontjából végzetesek lehetnek, súlyos balesetnek nevezzük. A reaktorzóna sérülése, megolvadása még nem jelent feltétlenül jelentős környezeti radioaktív kibocsátást, mint ahogy azt az amerikai TMI-2 atomerőművi blokk 1979-es balesete is



4. ábra. A mélységi védelem elve.

bizonyította. Az atomerőmű fent leírt lehetséges állapotait, a tervezés során figyelembe vett kezdeti eseményeket a hátsó belső borítón található színes *ábra*-ban foglaltuk össze.

Az atomerőmű működésével járó maradék kockázat csökkentése érdekében a mélységi védelem elve alapján (4. ábra) a kis valószínűségű tervezési alapon túli balesetek lefolyását is elemzik, és kiegészítő intézkedéseket tesznek annak érdekében, hogy az ilyen extrém kis valószínűségű, de nagy radioaktív kibocsátást eredményezhető események környezeti következményeit csökkenteni lehessen, és a végcélt, a lakosság egészségének megóvását meg lehessen valósítani. Egy nagy környezeti kibocsátással járó esemény során az utolsó eszköz a lakosság védelmében az úgynevezett balesetelhárítási intézkedési terv (BEIT) alkalmazása, amikor a katasztrófavédelem és a rendőrség bevonásával, előre leírt forgatókönyv szerint, előkészített eszközök segítségével (például gyorstájékoztató, elzárkóztatás, kitelepítés stb.) akadályozzák meg, hogy a lakosságot határértéknél nagyobb többletdózis érje.

A japán fukusimai atomerőmű tervezése során számoltak cunamival, a méretezési alapon szereplő cunami árhulláma maximum 5,7 m magas volt. Ezt az értéket a március 11-i cunami közel háromszorosan haladta meg, így az erőmű létfontosságú rendszerei károsodtak, az atomerőmű blokkjai tervezési alapon túli súlyos baleseti állapotba kerültek. Mivel a biztonsági rendszerek terhelése jelentősen meghaladta a tervezési értéke-

ket, ezek a rendszerek nem tudták ellátni feladatukat, így az erőmű biztonsági funkciói is sérültek. Azonban a mélységi védelem elvének helyes alkalmazásával, a balesetelhárítási intézkedési terv eszközeinek segítségével a lakosság és a dolgozók védelmét jól valósították meg a japán szakemberek még úgy is, hogy a földrengés és az extrém nagy cunami következtében az erőmű körüli területeken mostoha körülmények uralkodtak. A legfontosabb célt, a lakosság egészségének megóvását sikeresen teljesítették.

Ezen a ponton ki kell emelnünk, hogy Fukusimában a méretezési cunami nagyságát annak idején nem valószínűségi alapon határozták meg, hanem a történelmi földrengések és cunamik értékelése alapján. A 2011 októberében publikált legújabb információk alapján [4] 2008-ban készült ugyan egy olyan új cunami-elemzés, amely 10 méter magas árhullámot meghaladó cunamit is lehetségesnek tartott a telephelyre,<sup>1</sup> azonban ezen új ered-

mény részletesebb elemzését, és az ebből származó biztonságnövelő intézkedéseket az erőművet üzemeltető TEPCO cég 2011 márciusáig nem hajtotta végre, az elemzés eredményeiről pár nappal a 2011. március 11-i földrengés előtt tájékoztatta a japán kormányt [4]. A TEPCO bizonyosan hibázott, amikor késlekedett a kormány tájékoztatásában és az atomerőmű cunami elleni védelmének fokozásában. Érdekes körülmény ugyanakkor az is, hogy ez a 2008-as új elemzés sem valószínűsített 15 méter magas cunamit.

#### Irodalom

1. Aszódi Attila, Boros Ildikó: Van-e az atomenergiának jövője Csernobil és Fukusima után? *Természettudomány tanítása korszerűen és vonzóan; Motiváció, tehetséggondozás, tanárképzés* – Nemzetközi szeminárium magyarul tanító tanárok számára az ELTE Természettudományi Oktatás-módszertani Centrum és az InfoPark Alapítvány szervezésében, Budapest, 2011. augusztus 23–25.; az előadások szerkesztett anyaga.
2. Varga Péter, Süle Bálint: A rendkívüli Tohoku-földrengés. *Természet Világa* 142/7 2011. július.
3. Aszódi Attila személyes weblapján elérhető különböző írások a fukusimai balesetről, 2011. március – október: [http://www.reak.bme.hu/munkatarsak/dr\\_aszodi\\_attila/japan\\_foeldrenges.html](http://www.reak.bme.hu/munkatarsak/dr_aszodi_attila/japan_foeldrenges.html)
4. NHK World: TEPCO forecast 10-meter tsunami, 2011. október 3. [http://www3.nhk.or.jp/daily/english/03\\_21.html](http://www3.nhk.or.jp/daily/english/03_21.html)

<sup>1</sup> „Government documents show that the operator of the Fukushima Daiichi nuclear plant predicted in 2008 that a tsunami over 10 meters high could hit the plant, which was only designed to withstand tsunami of 5.7 meters. But it failed to report this to the government until just before the March 11th disaster.”