

## A sérült Fukusima-1 atomerőmű jelenlegi helyzete

2011 decemberére sikerült mind a négy sérült reaktor esetében elérni a hideg leállított állapotot, ami azt jelenti, hogy az üzemanyag hőmérsékletét a zártkörös hűtőrendszerekkel stabilan 100 °C alatt tudják tartani. A pihentető medencéknek független hűtőköröket építettek ki. Megkezdődött a jelentős mennyiségű radioaktív víz megtisztítása, a szennyezett hulladékvizek átmeneti tárolására nagy térfogatú tárolót alakítottak ki. Rengeteg épületdarabot, törmelékot takarítottak össze az erőmű udvarán és az épületeken belül is, elsősorban távműködtetésű munkagépek segítségével. Helyreállították a létfontosságú rendszerek áramellátását. A blokki épületeket robotok, illetve a műszaki személyzet segítségével bejárták. Ugyanakkor a hermetikus védőépület első védvonalát, a primer konténment bejáratait még nem nyitották meg, erre még hosszú ideig várni kell. Az 1. blokk sérült épülete fölé ideiglenes védőépületet készítettek. Az intézkedések hosszú távú célja a reaktorok és a pihentető medencék tartós hűtése, a reaktorok további degradációjának megelőzése.

A TEPCO (Tokyo Electric Power Company) 2011. december elején tette közzé a reaktorok aktív zónájának állapotára vonatkozó legfrissebb elemzéseit, becsléseit [1]. Az elemzések feltárnak néhány, eddig ismeretlen részletet a zónasérüléshez vezető folyamatokról, másrésztől igen fontosak az elhárítás megtervezése szempontjából.

A három érintett reaktorzóna közül az 1. blokki zóna volt a leghosszabb ideig és a legkedvezőtlenebb időszakban (közvetlenül a reaktorfizikai leállítás után, magas remanens hőteljesítmény mellett) hűtés nélkül. A japán kormány által felállított vizsgálóbizottság jelentése [2] szerint az erőmű vezetése tévesen úgy ítélte meg, hogy a feszültségkiesés esetén a hőelvonás megvalósítására beépített izolációs kondenzátor rendszer (IC, isolation condenser) rendszerben működik, kapcsolási hibák miatt azonban valójában a rendszer szelepei bezártak, így nem tör-

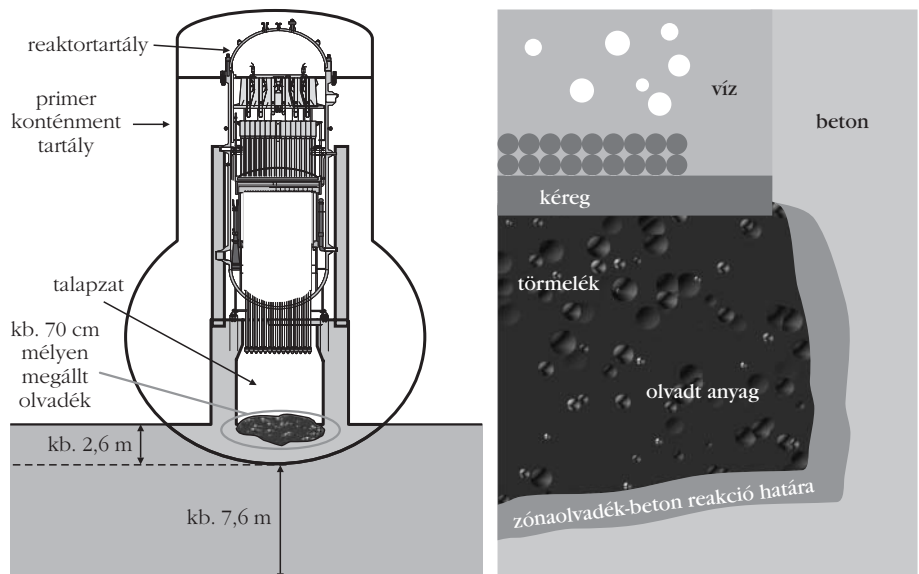
tént hőelvonás a zónából. A [2] jelentés szerint a blokki operátorok és a balesetkezelési központ közötti kommunikációs problémák miatt későn észlelték, hogy a rendszer nem működik megfelelően, így a hőelvonás a baleset kezdeti időszakában több mint egy napig nem valósulhatott meg. Később ciszternák-ból tűzoltó-szivattyúkkal sikerült vizet fecskendezni a reaktorba, az összes hőelvitel azonban lényegesen kisebb maradt, mint az adott időszakban (a tengervíz, stabilabb hűtés beindításáig) felszabaduló remanens hő mennyisége. Ennek alapján a TEPCO értékelése szerint az üzemanyag nagymértékű megolvadása és a reaktortartály átolvadása az 1. blokkon elkerülhetetlen volt.

A hermetikus védőépület első védvonalát jelentő primer konténment tartályok állapotának értékelését a konténmentből vett gázminták elemzése és a konténment zsompokból (folyadékgyűjtőhelyekből) elszívott hűtőközeg dózismérése alapján becsülték, míg az üzemanyag hűthetőségét a rendelkezésre álló hőmérsékletmérések alapján értékelték.

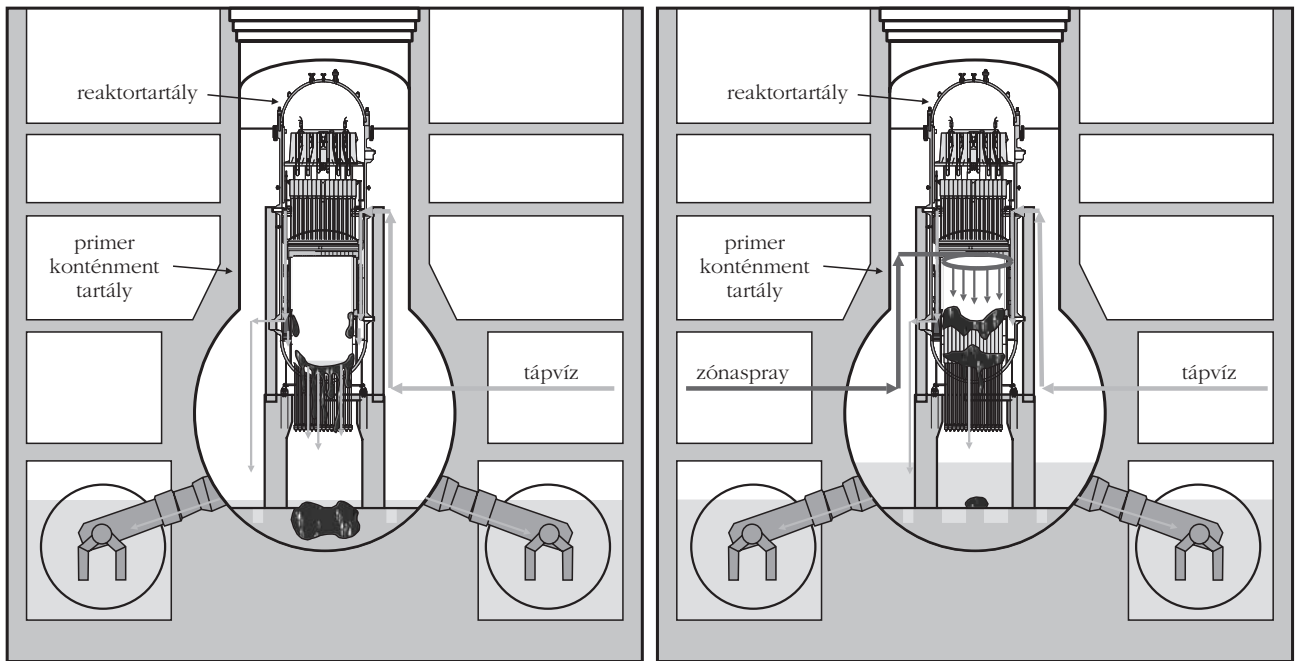
Ezek alapján elmondható, hogy az üzemanyag hűtése jelenleg biztosított, mind a reaktortartályban maradt, mind az onnan kijutott olvadéokra vonatkozóan.

Az 1. blokk aktív zónájában jelenlegi ismereteink szerint az üzemanyag szinte teljes mértékben megolvadt, és valószínű, hogy a reaktortartályt átolvasztva a primer konténment tartály aljában található betonalapzatba hatolt, a számítások szerint körülbelül 70 cm mélyen (1. ábra). A konténment tartályon belül ezen betonaljzat vastagsága 2,6 méter, ez alatt pedig a beton konténment épület 7,6 m vastag beton alaple-

1. ábra. Az olvadék valószínű helyzete az 1. blokki konténment tartályon belül (balra), illetve a zónaolvadék-beton reakció (jobbra) [1].



Jelen cikk a *Fizikai Szemle* 2012/1 számában megjelent, azonos című írás második része. A cikk a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 támogatásával jött létre.



2. ábra. Az 1. blokk (balra), illetve a 2. és 3. blokkok (jobbra) üzemanyagának valószínű állapota és a jelenlegi hűtési útvonalak [1].

meze található, így – egyes sajtóhírekkel ellentétben – az olvadék talajba történő kijutásával reálisan nem kell számolni.

A zónaolvadék és a beton közötti (tudományosan jól ismert és leírt [3]) reakció a hűtés következtében nagy valószínűséggel megállt, amit a gázmintaelemzések adatai támasztanak alá. A zónaolvadék pontos alakja és elhelyezkedése nem ismert, feltehetően az olvadék nagy része a reaktortartályt alulról megtámasztó betonszerkezeten belül található, míg egy része a támasztószerkezet nyílásain keresztül kifolyhatott. Az olvadék pontos geometriája annak hűthetősége miatt fontos, kellően vastag olvadékréteg mellett ugyanis a zónaolvadék-beton reakció további folytatódását nem lehet kizárni. (Az 1. ábrán látható, hogy a zónaolvadék és a hűtőközeg határán vastag kéreg képződik, az ez alatti olvadék hűtése nem feltétlenül biztosított.)

A 2. és 3. blokkon szintén volt olyan időszak, amikor nem tudtak vizet juttatni a reaktorok aktív zónájába, ez azonban jóval rövidebb ideig tartott, mint az 1. blokknál. A TEPCO becslése szerint a 2. és 3. blokkokon az összes hőelvétel nagyobb maradt a keletkező remanens hőnél, így ezen két reaktor esetében – noha az üzemanyag sérülése, illetve olvadása feltételezhető – a reaktortartály jelentős sérülése nem valószínű. Ezen a két blokkon az üzemanyag nagy része feltehetően a reaktortartályon belül maradt (2. ábra).

A komplikált körülmények miatt – minden bizonynyal – még hosszabb időre lesz szüksége a japán szakembereknek ahhoz, hogy a zónasérülések mértékét és a sérült üzemanyag helyzetét pontosan felmérjék. Az üzemanyag eltávolításának technológiai lépéseit is csak ezen ismeretek birtokában lehet majd megtervezni. Minden bizonynyal sok évnyi munka van a japán szakemberek előtt, mire hozzá tudnak kezdeni a sérült és

megolvadt üzemanyag reaktorból történő eltávolításához. 2012. január közepén a japán szakemberek a 2. blokki hermetikus védőépület szárazaknájának (primer konténment tartály) egyik fali átvezetésén keresztül egy endoszkópot vezettek be, amellyel be tudtak nézni ebbe a térbe. A vizsgálatokat továbbiak fogják követni, amelyek segítségével majd pontosabb képet kaphatunk a hermetikus téren belüli valós helyzetről.

## Az atomerőmű-baleset okai

Ahogy a cikk első részében is írtuk, a fukusimai események kiváltó oka a méretezési alapon feltételezettnél jóval nagyobb cunami volt. A méretezési cunami konzervatívabb megválasztásával, illetve a 2008-as új cunami elemzések alapján az erőmű megerősítésével a következményeket jelentősen lehetett volna csökkenteni. A dízelgenerátorokat térben egymástól elválasztva, egyes dízelgépeket magas ponton elhelyezve és léghűtéssel (nem tengervízhűtéssel) ellátva a biztonsági áramellátás a cunami utáni nehéz helyzetben is biztosítható lett volna (mint ahogy az a Fukushima-2 telephelyen lévő, illetve az Onagawa atomerőműben lévő blokkok esetében meg is valósult, ahol a reaktorzónák sérülését sikeresen elkerülték).

A hidrogénkezelés hibás koncepción alapult. Megfelelő számú autokatalitikus rekombinátorral a hidrogénrobbanások elkerülhetőek lettek volna. A robbanások elkerülésével a környezeti kibocsátások sok nagyságrenddel kisebbek lettek volna, valamint az atomerőmű balesete kisebb médiafigyelmet kapott volna, és így kisebb politikai turbulenciákat váltott volna ki. Nagy valószínűséggel a német energiapolitikai döntések is másként alakultak volna, ha a fukusimai hidrogénrobbanásokra nem kerül sor.

A rekord erősségű földrengés, annak utóregnései és a 20 000 ember életét követelő, nagy infrastruktúrális károkat okozó cunami önmagában is nagy kihívás elé állította a japán államgépezetet. Erre rakódott rá a nukleáris veszélyhelyzet kezelésének feladata, amelyet az események kezdetén az erőművet üzemeltető TEPCO, a kormány és a hatóságok nem tudtak jól menedzselni. A japán rendszer sajátosságai miatt a kormánynak (kormányfőnek, kormányzóvivőnek) gyakran olyan kérdésekben kellett megnyilatkoznia, amit jobb lett volna az üzemeltetőre bízni. Furcsa közjátékok rendre adódtak, amikor például a kormány arra utasította az üzemeltetőt, hogy hűtse a reaktorokat, miközben ez nyilvánvaló műszaki evidencia. A japán hatósági rendszer felülvizsgálata máris megkezdődött, hiszen Japánon belülről is számos komoly kritika éri a rendszerüket. Nem helyes megoldás, hogy hosszú ideig a japán nukleáris biztonsági hatóság a villamosenergia-ellátásért felelős minisztérium alá tartozott, így a hatóság függetlensége nem valósult meg. Ráadásul gyakorlat volt az elmúlt évtizedekben, hogy az ipar és a hatóságok között felelős vezetők vándoroltak oda és vissza, ami elvben lehetőséget teremtett összeférhetetlen helyzetek kialakulásához.

Az utóbbi időben egyébként Magyarországon is lehet hallani olyan politikai érveket, hogy a nukleáris biztonságért felelős hatósági feladatokat ellátó Országos Atomenergia Hivatalt be kellene építeni az energiaellátásért felelős hivatalba vagy éppen a katasztrófavédelmi szervezetbe. Ez éppen a hatáskörök és a felelőségek szükségszerű szétválasztása miatt óriási hiba lenne, és a nukleáris biztonság csökkenéséhez vezetne. A fukusimai baleset egyik fő tanulsága és következménye világszerte pont a nemzeti nukleáris hatóságok függetlenségének és jogköreinek megerősítése. Hazánkban az Országos Atomenergia Hivatal függetlensége jelenleg biztosított.

A japán kormány által felállított vizsgálóbizottság előzetes jelentése [2] szerint a japán hatóságok közötti kommunikáció többször megszakadt a kritikus időszakban. A kabinet nukleáris válsághelyzeti irányítószerve a kormány épületének 5. emeletén működött, míg a földrengések és katasztrófavédelmi helyzetek kezeléséért felelős tanács ugyanezen épület pincéjében funkcionált. A közeli elhelyezkedés ellenére számos információ csak késlekedés után jutott fel a kormány szintjére. Több sajtóközlemény elakadt és csak késve került kiadásra.

A bizottság az erőművet üzemeltető TEPCO cég működését is több ponton erősen kritizálja. Az operátorok a jelentés szerint [2] hibás döntést is hoztak az 1. és a 3. reaktor hűtésével kapcsolatban, ami késleltette az alternatív hűtővízellátást, így nem hosszabbította meg a zónasérülésig hátralévő időt. A TEPCO cégnek volt egy balesetkezelési válságközpontja körülbelül 5 km-re az atomerőműtől, ez azonban nem működött több okból sem, nem tudta ellátni feladatát: a természeti csapás lerombolta a külső kommunikációs kapcsolatait; nehézségekbe ütközött az odautazás, valamint az élelemmel és ivóvízzel való ellátás; a

balesetkezelési központ szellőzőrendszere nem volt felszerelve radioaktív anyagok kiszűrésére alkalmas szűrőkkel. Ezt 2009-ben ugyan kifogásolta a nukleáris biztonsági hatóság, de konkrét intézkedésre, határidővel nem kötelezte az üzemeltetőt. A jelentés szerint a TEPCO-n belüli információáramlás hiányosságai miatt több hibás döntés is született.

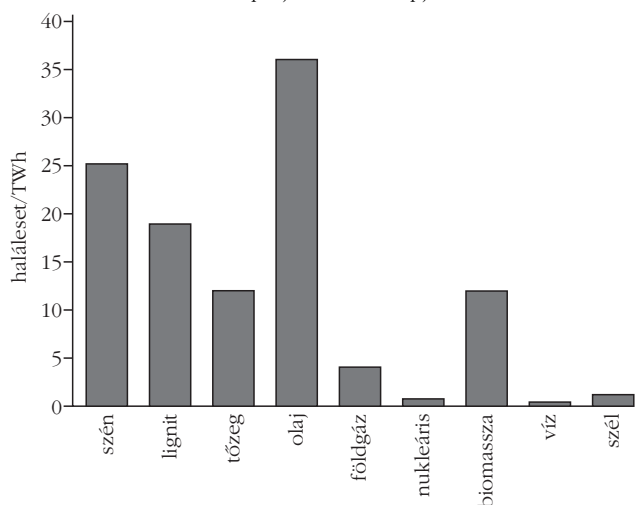
A japán országos sugárzásmérő rendszer egyes állomásait elmosta a cunami, így a sérült atomerőmű közvetlen közeléről nem voltak mérési adatok a rendszerben, de a távolabbi állomások és a rendszer maga üzemben maradt. Miután az üzemeltető TEPCO helyi balesetkezelési központja működésképtelenné vált, a sugárzási adatokat a nukleáris biztonsági hatóságnak vagy a kormány balesetelhárítási központjának kellett volna továbbadnia a helyi hatóságok részére. Ezt egyetlen kormány szerv sem tette meg, így a lakosság védelmével, kitelepítésével kapcsolatos döntéseket a helyi előljáróknak lokális információk alapján kellett meghozniuk, központi segítség nélkül.

A fent felsoroltakon kívül minden bizonnyal még számos további hiba is történt a cunami által elindított események kezelése során, ugyanakkor a lakosság kimenekítése jó időben megtörtént, számottevő lakossági dózisterhelésről nem tudunk. A mostoha körülmények ellenére az érintett reaktorok és pihentető medencék aktivitáskészletének mindössze 0,01%-a került ki a környezetbe, ami azt mutatja, hogy a mérnöki gátak bent tartották a radioaktivitás zömét.

## Objektív kockázat, szubjektív félelem

*Öveges József* professzor *Sugárözönben élünk* könyvcímét transzformálva mondhatnánk, hogy kockázatözönben élünk. Az élő szervezetek folyamatosan különböző kockázatoknak vannak kitéve, amelyek veszélyeztetik egészségüket vagy éppen életüket. A kockázat a matematikai definíció szerint egy adott esemény bekövetkezésének valószínűsége (gyakori-

3. ábra. Az egyes villamosenergia-termelési módok átlagos egészség-károsító hatása (TWh megtermelt villamos energiára jutó halálesetek száma) az ExternE projekt adatai alapján [4].



<i>1. táblázat</i>		
<b>A társadalmi elutasítás néhány szempontja [6]</b>		
Szempont	Elutasítás	Elfogadás
Katasztrófális következmények lehetősége	Térben és időben koncentrált	Térben és időben elszórt
Személyes irányítás szintje	Az egyéntől független személy vagy szervezet által irányított	Az egyén által irányított
Félelem szintje	Nagy félelem övezi	A társadalom közönyös
Önkéntesség a részvételben	Nem önkéntes	Önkéntes
Gyerekekre gyakorolt hatások	Valószínűleg jobban érint gyerekeket	Kevésbé valószínű, hogy gyerekeket érint
Médiafigyelem	Magas	Ritkán említve
Eredet	Mesterséges	Természetes
Intézményi bizalom	Bizalmatlanság övezi	A bizalom fennáll
Balesetek története	Jól ismert balesetek a múltban	Nincsenek (ismert) balesetek
Áldozatok személyazonossága	Közeli hozzátartozók	Statisztikai áldozatok
Előnyök térbeli, időbeli vagy társadalmi eloszlása	Az előnyök és a kockázatok eloszlása nem azonos	A kockázatok és az előnyök körülbelül azonos eloszlásúak

sen szétválk a társadalom, valamint az egyének szubjektív félelemérzetétől.

A nukleáris ipar nincs egyedül ezzel a problémával: a repülést hasonló, eltúlzott szubjektív félelem övezi. Amerikai közlekedési baleseti adatokat elemezve megállapítottuk [5], hogy a közutakon átlagosan 94 millió utas-kilométerenként van közúti baleset miatt 1 halálos áldozat, míg a légi közlekedés baleseteinek kockázata 1 haláleset 3,2 milliárd utas-kilométerenként. Tehát a valós adatok alapján 33-szor kisebb a repülés kockázata, mint a közúti közlekedésé.

Az objektív kockázattól elváló szubjektív félelemérzet legfőbb motívumait az *1. táblázatban* foglaltuk össze *Lundgren* és *McMakin* [6] munkája alapján. A táblázatból kitűnik, hogy a társadalom sokkal in-

sága) és az esemény súlyosságának, lehetséges kedvezőtlen következményének szorzata.

Több különböző felmérés készült már arra, hogy az egyes energiahordozók bázisán megtermelt villamos energia előállításuk mekkora kockázattal, mennyi halálos áldozattal jár, figyelembe véve az adott technológia teljes folyamatát (a bányászattól az erőműveken át a hulladékkezelésig). A *3. ábrán* látható, hogy az olaj és a szénfelhasználás okozza messze a legtöbb halálesetet, TWh-nként 35, illetve 25 halálesettel (1 TWh = 1 milliárd kWh). A nukleáris energiatermeléssel átlagosan kevesebb, mint 1 haláleset jár TWh-nként. Az adatokban természetesen Csernobil következményei is szerepelnek. Tehát a tapasztalatok alapján az atomenergia kockázatait objektíven értékelve megállapítható, hogy az emberek egészségére gyakorolt hatás szempontjából az jelentősen elmarad a fosszilis vagy éppen a biomassza alapú villamosenergia-termelés kockázataitól.

Az adatok birtokában nehezen érthető, hogy miért övezi mégis akkora félelem a nukleáris energiatermelést. Ha kicsi a kockázata, miért nem tudja mégsem a társadalom (vagy annak egy számottevő része) elfogadni ezt a technológiát? Szintén furcsa lehet, hogy a fukusimai balesetet okozó extrém cunami húszezer áldozata fölött miért siklott át a világsajtó néhány nap alatt, és miért lett hónapokra vezető hír, hogy mi történik a fukusimai atomerőműben, miközben a lakosság (és az elhárításon dolgozók) körében ennek nem volt halálos áldozata és az nem is várható, valamint a lakosság egészségkárosodásával sem kell számolni? Meg kell állapítanunk, hogy az objektív, számokban mérhető, statisztikai adatokon alapuló kockázat telje-

kább elutasít valamit, ha az mesterséges eredetű (lásd Fukushima), és jobban elfogadja (még a katasztrófális következményeket is), ha a jelenség természeti (lásd cunami). Ha egy katasztrófa következményei térben és időben koncentráltan jelentkeznek, az növeli az elutasítást, míg a térben és időben elszórt események áldozatait a társadalom jobban elfogadja. Az is egyértelmű, hogy ha valamit magas médiafigyelem övez, attól a társadalom jobban fél, mint azoktól az eseményektől, amelyekről a média ritkábban számol be, vagy kevésbé dramatizálva mutatja be az eseményeket. Ez a nagy, koncentrált katasztrófákat okozni képes emberi tevékenységek társadalmi elfogadását csökkenti, még akkor is, ha ezek a katasztrófák ritkák és korlátozott hatásúak. A fent említett közlekedési példák társadalmi megítélése is magyarázható ezen szempontok szerint: a repülőgép balesetek következményei térben és időben koncentráltan jelentkeznek, a személyes irányítás szintje alacsony és igen magas az ilyen esetek iránti médiafigyelem. Emiatt a légi közlekedéssel kapcsolatos szubjektív félelem nagyobb, mint a közúti balesetekkel kapcsolatos, amelynél sokkal diffúzabbak a következmények, kisebb a médiavisszhangja, valamint magunkénak hisszük az irányítást, az események feletti kontrollt.

Tovább növeli a társadalom elutasítását, ha a vizsgált tényező (esetünkben egy esetleges nukleáris baleset) azonnali hatásokkal járhat, ha a hatások gyermekeket is érinthetnek, ha a társadalom eleve bizalmatlan az üzemeltető céggel vagy az állami intézményekkel, hatóságokkal szemben, ha az okozott károsodás visszafordíthatatlan, vagy jelentős változást okozhat az életvitelben. Fontos szempont, hogy a túlságosan

pozítív hangvételi üzenetek is csökkentik a társadalom elfogadását, szemben az objektív hangvételi kommunikációval.

Lundgren és McMakin [6] nem említik, de mi úgy gondoljuk, hogy a mai fejlett világ társadalmi berendezkedése miatt a politikának kitüntetett szerepe van egyes események és technológiák társadalmi elfogadásában: a politikusok gyakori újraválasztása, a szereplési és népszerűség-szerzési kényszerük miatt a politikai szereplők gyakorta használják a média és az emberek figyelmének felkeltésére a szubjektív félelmet mint eszközt. Ha végiggondoljuk az *1. táblázat* szerinti szempontokat, számos – médiafigyelmet kiváltó politikai vagy zöld mozgalmár – akció motivációja jól nyomon követhető. Ezek az akciók önmagukban nem befolyásolják a valós társadalmi kockázatot, csak a szubjektív félelmet erősítik.

## Az atomenergia jövője

Idén száz éve, 1912. április 15-én, első útján süllyedt el az RMS Titanic, korának legnagyobb utasszállító gőzöse. A 2200 főnyi utas és személyzet közül 1507-en vesztették életüket. A nukleáris biztonság szemüvegén keresztül vizsgálva az eseményt elmondhatjuk, hogy a mélységi védelem több szintjén is hibáztak a hajó tulajdonosai. Rosszul választották meg a hajótest tervezési alapját, hiszen négy légrekesz megsérülésére készítették fel a hajót, a jégheggyel való ütközésben azonban hat rekesz károsodott (azaz a Titanic katasztrófája tervezési alapon túli baleset volt), és a kialakított mérnöki rendszerek sem voltak teljes körűen megtervezve. Hibáztak az üzemeltetés területén is: a hajóra küldött jéghegyriasztások személyzeti hiba miatt nem jutottak el a parancsnoki hídra.

A balesetelhárítási intézkedések során is sérült a mélységi védelem: a közelben levő Californian gőzös látta ugyan a Titanicrol fellőtt segélykérő rakétákat, azonban tűzijátéknak vélte azokat, rádiós szolgálattevő hiányában pedig megkérdezni sem tudta a Titanicot erről.

Az utasok kimentése a mélységi védelem szempontjából már a következmények csökkentéséhez, a kárnyújtásához kapcsolódik. Közismert, hogy nem volt elég mentőcsónak a hajón, ez azonban tökéletesen megfelelt az akkori – hibás – szabályozásnak: az előírások szerint ugyanis a mentőcsónakok kapacitását nem az utasok létszáma, hanem a hajó vízkiszorítása határozta meg. (Érdekes körülmény, hogy a hajó eredeti terveiben jóval több, az utasszámot meghaladó kapacitású mentőcsónak szerepelt, mivel azonban nem volt kötelező ennyit telepíteni, a költségcsökkentés jegyében megszüntették azokat.) A Titanic katasztrófájában mindazok megmenekültek, akik mentőcsónakba szállhattak. Azért volt olyan sok áldozat, mert a tervszerű balesetelhárítási intézkedés – a mentőcsónakban való elhelyezés – nem terjedhetett ki az utasok háromnegyedére. A vízbe került utasok a segítség megérkezésének idejére kihültek és életüket veszítették.

A Titanic balesetét követően nem követelték civil szervezetek a polgári hajózás azonnali beszüntetését és a gőzhajók törvényi betiltását, a hatóságok inkább az előírások és a szabályozás javítását, a biztonság növelését tűzték ki célul. Betiltották a tűzijátékok rendezését a hajókon, 24 órás rádiószolgálatot tettek kötelezővé. A mentőcsónakok kapacitását az utaslétszámhoz viszonyítva határozták meg, és szigorították a hajótestek méretezésén is. A Titanic két testvérhajóján, az Olympic és a Britannic gőzösökön módosításokat hajtottak végre. A Britannicon például megemelték a vízzáró falak magasságát; úgy készítették fel a hajót, hogy négy helyett hét rekesz sérüléséig a felszínen tudjon maradni; megduplázták a hajótest oldalát alkotó fémlemezeket összetartó szegecssek számát; több mentőcsónakot telepítettek. Ezek a biztonságnövelő intézkedések, valamint a tanulságok, amelyeket sok más vízi járműnél is felhasználtak, sokat segítettek a hajózás biztonságának növelésében. A Britannic az első világháborúban kórházhajóként szolgált, 1916-ban az Égei-tengeren aknára futott, majd 55 perc alatt elsüllyedt, a Titanic katasztrófáját követő módosítások miatt azonban a halálos áldozatok száma jóval alacsonyabb maradt: harmincan haltak meg, több mint 1000 fő megmenekült. A Titanic harmadik testvérhajója, az Olympic 1910-ben kezdte karrierjét, az I. világháborúban csapatszallító hajóként szolgált és túlélte három tengeralattjáró-támadást. A háború után újra népszerű luxus személyszállító hajó lett, 1935-ben szerelték le [7].

Habár a tengeri hajózás biztonsága sokat javult a Titanic tragédiája óta, a baleseteket nem lehet teljesen kizárni. Különösen fájdalmasak azonban azok az események, ahol vélhetően banális emberi hibák állnak a háttérben. Ebből a szempontból különösen negatívan ítéltető meg a 2012 januárjában, Olaszország partjainál bekövetkezett óceánjáró-baleset. A Costa Concordia üdülőhajó – a mostani adatok szerint a kapitány hibás döntése eredményeként – túl közel merészkedett a partokhoz, sziklának ütközött, majd felborult. A kimenekítés során csaknem 4200 ember élve partra jutott, 17-en azonban életüket veszítették, 15-en pedig eltűntek. Az üzemeltetők és a hatóságok fő feladata az lehet, hogy tanuljanak ezekből a balesetekből, a vélhető hibákból, és olyan eszközöket, szabályokat, ellenőrzéseket alkalmazzanak, amelyek segítségével elkerülhetőek, illetve minimális gyakoriságúra csökkenthetőek a jövőben a hasonló események.

Visszatérve az energiapolitikára, jelen pillanatban nehezen becsülhető meg a fukusimai baleset hatása az atomenergetika jövőjére. Németország vezető politikusai (belpolitikai, választási szavazatszerzési okokból, az érdemi szakmai egyeztetéseket mellőzve) a baleset után szinte azonnal jelezték: 2022-ig végleg feladják a nukleáris erőművek alkalmazását, és nemrégiben hasonlóan döntött a svájci parlament is, itt 2034-ig tervezik az ország öt nukleáris termelőegységének bezárását, amelyek jelenleg a villamos energia 40%-át adják. Nem túlságosan meglepő, hogy Japán is az atomerőművek feladását tervezi, ennek lehetőségét egy újonnan felállított parlamenti bizottság vizsgálja.

Számos más ország (például Oroszország, Kína, Dél-Korea, India, USA, Csehország, Finnország) azonban kiállt a nukleáris erőművek további alkalmazása mellett, azzal érvelve, hogy az általuk okozott többletkockázat még mindig kisebb, mint az a kár, amelyet az atomenergia elhagyása okozhat. Reálisan tekintve jelenleg nem képzelhető el az atomerőművek kiváltása pusztán megújuló energiaforrásokkal, ezért az atomenergiáról lemondó országok újra nagyobb arányú fosszilis felhasználást, és ezzel növekvő széndioxid- és más károsanyag-kibocsátást vállalnak. Miután belátható időn belül nem lehetséges az atomenergia kizárása a villamosenergia-termelésből, egy feladatunk lehet: még tovább növeljük az atomerőművek biztonságát, tanulva a fukusimai tapasztalatokból. A fukusimai események eddigi elemzése azt mutatták, a baleset fő oka a tervezési alap nem megfelelő megválasztása és a súlyosbaleset-kezelési eljárások hiányos kidolgozása lehetett, de hiányosságok voltak az erőmű vezetésében és a kommunikációban is. A tanulságok pontos levonása és hasznosítása évekig is eltarthat, az első lépéseket azonban már megtették az atomerőműveket üzemeltető országok. Az EU elrendelte valamennyi nukleáris blokk célzott biztonsági felülvizsgálatát a fukusimai tapasztalatok alapján (ezek a stressz-tesztek), de a többi ország is hasonló – legfeljebb kevésbé központosított – felülvizsgálatot hajt végre. Az erőművek biztonságának értékelése mellett a nukleáris biz-

tonságot felügyelő hatóságok és a törvények, szabályzatok felülvizsgálata is várható.

Ezen lépések eredménye – hasonlóan az 1979-es TMI és az 1986-os csernobili balesetek utóéletéhez – várhatóan a nukleáris biztonság további fokozása, és a még biztonságosabb reaktortípusok elterjedése lesz.

#### Irodalom

1. *The Evaluation Status of Reactor Core Damage at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1 to 3.* TEPCO, 2011. november 30. [www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/images/handouts\\_111130\\_04-e.pdf](http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/images/handouts_111130_04-e.pdf)
2. *Executive Summary of the Interim Report of the Investigation Committee on the Accidents at Fukushima Nuclear Power Stations of Tokyo Electric Power Company.* <http://icanps.go.jp/eng/111226ExecutiveSummary.pdf>
3. Aszódi Attila: *Egyetemi előadás a súlyos baleseti folyamatokról.* [www.reak.bme.hu/fileadmin/user\\_upload/felhasznalok/aszodi/letoltes/Japan/Aszodi\\_TH\\_sulyosbaleset\\_Habil\\_2010nov18\\_v5.pdf](http://www.reak.bme.hu/fileadmin/user_upload/felhasznalok/aszodi/letoltes/Japan/Aszodi_TH_sulyosbaleset_Habil_2010nov18_v5.pdf)
4. Nils Starfelt, Carl-Erik Wikdahl: *Economic Analysis of Various Options of Electricity Generation Taking into Account Health and Environmental Effects. International Conference on Ecological Aspects of Electric Power Generation,* Warsaw, 2001.
5. Aszódi Attila, Boros Ildikó: *Van-e az atomenergiának jövője Csernobil és Fukushima után? Természettudomány Tanítása Korszerűen és Vonzóan Konferencia* előadás, ELTE, Budapest, 2011. augusztus 24. [www.reak.bme.hu/fileadmin/user\\_upload/felhasznalok/aszodi/letoltes/Japan/Aszodi\\_Termtudtan\\_ELTE\\_20110824.pdf](http://www.reak.bme.hu/fileadmin/user_upload/felhasznalok/aszodi/letoltes/Japan/Aszodi_Termtudtan_ELTE_20110824.pdf)
6. Regina Lundgren, Andrea McMakin: *Risk communication.* Battice Press, 2004
7. Wikipedia

## CÉLZOTT BIZTONSÁGI FELÜLVIZSGÁLAT A PAKSI ATOMERŐMŰBEN 2/1

Elter József, Eiler János  
Paksi Atomerőmű Zrt.

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

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

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

### Bevezetés

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

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