

# A földrengések folyamatainak feltárása

A földrengés az egyik olyan jelenség, melynek fizikáját és mechanizmusát jól ismerjük, de a szeizmológiai és geofizikai kutatások ellenére továbbra sem egyértelműen prognosztizálható. Alapjában véve természetes eredetű jelenség, azonban az egyre nagyobb területen megjelenő emberi tevékenység is létrehozhatja. A földrengések károkozása jól ismert, így nyilvánvaló, hogy a károk megelőző intézkedéssel történő minimálisra csökkentése mindenki számára fontos szempont.

A földrengések elsődleges hatásai közé azokat sorolják, melyeket nem a rengéshullámok váltanak ki, hanem a rengésfészekben keletkeznek. Ha ez kis mélységben helyezkedik el, a talajszinten is vetődések és elmozdulások jönnek létre. A másodlagos hatásokat a földrengés felszint elérő hullámai okozzák. A rengéshullámok között az ún. Rayleigh-hullámok hatása a leginkább romboló, az interferencia jelensége miatt teljesen kaotikus mozgások keletkeznek.

A földrengések során az összedőlő házakban kazánok, tűzhelyek, elektromos gépek a megsérülő gázvezetékekből előtörő gázt, vagy házakban tárolt alkoholt, olajt, benzint vagy bármely gyúlékony anyagot lánggra lobbantathatják. Sokszor a földrengések nyomán a legtöbb kárt a jelenség után keletkező tűzesetek okozzák (1. ábra).

A tűzoltóság a tüzekhez sokszor nehezen tud kimenni, mivel az összedőlt házak, vagy a rengés nyomán utakon heverő törmelékek, hasadékok megnehezítik a nagyobb gépek közlekedését, sőt a rengés sok esetben a vízvezetékeket is megrongálja, így oltáshoz a víz is elérhetlenné válik a tűzcsapokból. Járványok és fertőzések is kockázatot jelentenek a földrengés sújtotta helyek lakosaira. Mivel a rengés hatására az ivóvíz- és a szennyvízvezetékek is sérülnek, ezek tartalma összekeveredhet, ami a fertőzésveszélyt jelentősen megnöveli. A katasztrófa sújtotta helyekre sokszor az étel, ital és gyógyszerutánpótlás nehezen jut el.

További veszélyforrások az utak, vasútvonalak meggörbülése eltörése, a hidak összedőlése, a csuszamlások és az alagutak víz alá kerülése. Karsztos területeken, ha egy település alatt barlang helyezkedik el, a rengés következtében annak vékony

mennyezete beomolhat, a fedett karsztos dolinák beszakadhatnak és házak, létesítmények, nagyobb területek sülyedhetnek a mélybe.

A tavakon a földrengéshullámok nagy méretű hullámokat generálhatnak, ez a nagy víztározók vizénél a gátak és töltések gyengítéséhez, ezáltal azok átszakadásához vezethet. A tengereken a földrengés mechanizmusa cunami kialakulásához vezet, ami tengerparti városok, ipari létesítmények és üdülőhelyek esetén sok emberéletet veszélyeztető jelenség. A létrejövő hullámok akár több száz vagy ezer kilométer távolságban is jelentős kárt tudnak okozni, sokszor nagyobb, mint a földrengés maga.

## Földrengés-veszélyeztetettség és kockázat

A földrengések az ember mindennapi életét, tevékenységét befolyásolják, így fontos ismerni a várható veszély mértékét. A szeizmikus veszélyeztetettség kiszámításával egy adott területen adott időintervallum alatt egy megadott erejű földrengés bekövetkezésének valószínűségét határozzák meg. A szeizmikus kockázat számítása pedig már a műszaki létesítmények, épületek értékét, sérülékenységét is tekintetbe veszi. Két azonos szeizmikus veszélyeztetettségű területen ott a nagyobb a szeizmikus kockázat, ahol jelentősebb méretű települések, vagy műszakilag sérülékenyebb és/vagy magasabb vagyoni értéket képviselő létesítmények vannak. A földrengéskockázat meghatározásánál a kutatók két módszert alkalmaznak; a determinisztikus és valószínűségi módszereket. A földrengéskockázat mértéke tudatos tervezéssel, különféle eszközökkel mérsékelhető.

A földrengések semmilyen rendszerességet nem követnek, azok véletlenszerűen fordulnak elő, ennek ellenére a számítási módszerek a múltat veszik alapul és az alapján történik becslés arra, hogy a következő 10-100 évben mekkora esélye van egy adott erejű földrengésnek. Ilyen számítások alapján lehet egy adott létesítményt úgy megtervezni, hogy a területen várható (és a valaha mért) legnagyobb földrengést is kibírja. A múltbeli megfigyelések kutatása fontos adatokkal szolgál a kalkulációkhoz, a történelemben lényegében a Gilgames-eposzig visszamenőleg találni leírásokat földrengésekről. A történelmi feljegyzésekben a romboló hatások leírása nyomán az ún. Mercalli-skála alapján lehet egy 1-12 közötti értéket hozzábecsülni a földrengéshez, amiből információ nyerhető a földrengés energiájára jellemző közismert Richter-skála szerinti magnitúdó (M) értékre. A múltbeli adatok értékelésében azonban óvatosan kell eljárni, mert sok esetben földrengésnek írtak le olyan jelenségeket is, mint hazánkban 1100-ban Dunaföldvár környékén a lősz magaspart csuszamlását.

A Kárpát-medencében 456 és 1995 közötti földrengés adatokat vizsgáló kutatás azt állapította meg, hogy az átlagos földrengés gyakoriság szerint  $M \geq 5$  földrengés évente,  $M \geq 6$  rengés 10 évente,  $M \geq 7$  földrengés pedig 100 évente valószínű. Bizonyos esetekben adott időintervallumban várható bekövetkezés százalékos valószínűségét vagy a várható legnagyobb felszíni gyorsulások értékeit adják meg. További információk

## ÚT AZ ISMERETTERJESZTÉS FELÉ

Nem gyakori, hogy a Természet Világa egyetemi hallgatók írásait közli, pedig meggyőződésem, hogy a tudomány népszerűsítése terén hasznosuló, legtágabb tárgyi ismeretekkel mesterszakos korukban rendelkeznek. Később megkezdik a szakdolgozat és a tudományos pálya érdekében a specializálódást, amiben csak évek múlva jutnak el egy újabb szintre, amikor már saját kutatásairól írhatnak népszerűen.

Persze, a sűrű tanórák és a futószalagon begyűjtendő kreditek rendszere ritkán engedi meg, hogy ki-ki elgondolkozzon azon, hogy miről is tudna népszerű cikket írni. Erre jók viszont azok a választható témájú „beadandó” dolgozatok, amikre a hallgatók osztályzatot kapnak. A szóban forgó két írás – melyek a mostani összeállítás alapját képezik (a Szerk.) – általában a földrengésekről, valamint konkrétan egy esettanulmányról szólt. Azért ajánlottam őket a Szerkesztőség szíves figyelmébe, hogy – jöttányit sem engedve a tartalmi és stiláris követelményekből – világra segíthessék azokat. A cikk alapját az Eszterházy Károly Egyetemen Egerben folyó geográfus mesterképzés „Bekövetkezett katasztrófák tanulságai” című tárgyának kiemelkedő vizsgadolgozatai képezték.

MIKA JÁNOS



1. ábra. Az 1994-es Northridge (Kalifornia) földrengés ( $M=6,7$ ) következtében egy elszakadt vezetékéből áramló gáz is lángra lobbant (Forrás: USGS)

gyűjtésével pedig megbecsülhető egy adott terület szeizmikus kockázata, amelyhez már gazdasági adatokat is hozzá lehet rendelni (2. ábra).

A földrengéskockázat mértékét az emberi tevékenység is befolyásolja. A kipattanás határán lévő, de még épp egyensúlyban elhelyezkedő kőzetlemezek a víztározók vízszintváltozása, szénhidrogén bányászat, egyéb bányászati tevékenység nyomán kibillennek nyugalmi állapotukból és földrengés jön létre. Az emberi beavatkozások sokszor urbanus területekhez közel valósulnak meg, így e helyeken számottevő a kockázat megemelkedése. Több kísérlet is igazolja, hogy az antropogén hatás mérséklésével a kipattanó rengések száma is csökken, vagyis ezeket a rengéseket, így azok okozta kockázatot saját magunk is tudjuk szabályozni.

A híres amerikai Colorado állambeli Hoover gát mögötti Mead-tó feltöltése során 1939-ben egy  $M=5$  erősségű földrengés pattant ki, Indiában a Koyna gátnál vízszintingadozás miatt 1967-ben egy 180 áldozatot követelő  $M=6,3$  erősségű földrengés történt. A szénhidrogén kitermelés miatt az USA-ban, Oklahoma államban jelentősen emelkedett a  $M \geq 3$  földrengések éves száma. Míg 1973-2008 között e földrengések száma 855 db volt, addig 2009-2016 között ez 2310 db-ra emelkedett. Épp ezért ma már külön kockázatszámítás készül az antropogén hatás nyomán indukált földrengésekre.

Hazánkban is fordult elő szénhidrogén termeléshez köthető földrengés. A kőolajtermelés hatásának tulajdonítható Füzesgyarmat közelében 1996. szeptember 29-30-án egy  $M=3$  erősségű földrengés raj kipattanása, amelyek mélysége 2-12 km közötti volt, a földrengések

fészkei pedig egy jól behatárolható csapásirány menti dőlési síkon helyezkedtek el.

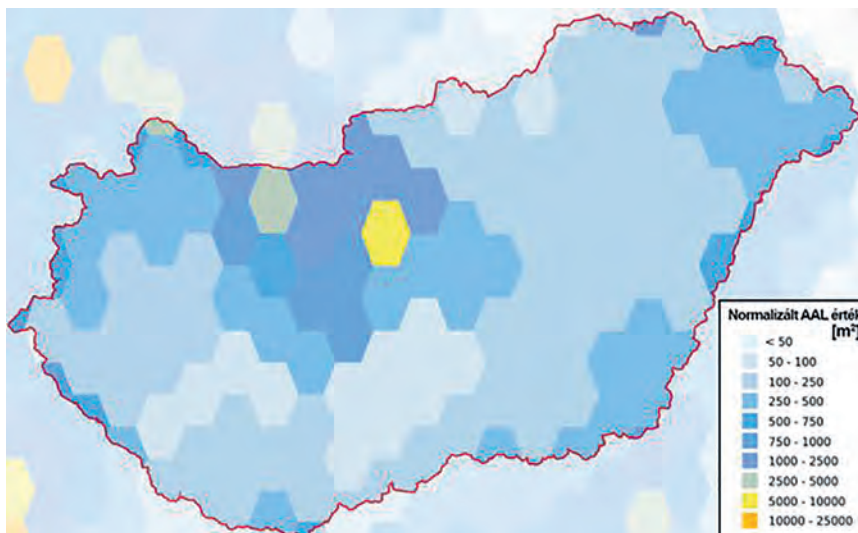
### Lehetséges a földrengés-előrejelzés?

A gyakorlatban a legjelentősebb szerepe a rövidtávú előrejelzéseknek lenne, hogy földrengésre utaló jelek nyomán, annak bekövetkezése előtt napokkal, órákkal korábban figyelmeztetést lehessen kiadni, hogy az épületeket kiürítsék, embereket biztonságba helyezték, és esetleges következményeket megelőzzenek (pl. gázcsapok elzárása, elektromosság kikapcsolása, tűz és robbanás megelőzése). A földrengésre utaló előjelek szerteágazóak, viszont több megfigyelés is arra utal, hogy a rengést megelőzően bizonyos elváltozások már órákkal, esetleg napokkal korábban együttesen megjelennek.

Az előjelek észrevételéhez mindenekelőtt fontos nagyon pontosan ismerni a nyugalmi állapotot, amelyhez viszonyítani tudjuk a feszültség alá került kőzet-tömegre utaló megváltozásokat. Jellemző előjel a természetes szeizmikus nyugtalanság (a föld állandó természetes mikrorezgése) megváltozása a feszültség alá kerülő kőzetben, vagy a tektonikus mozgás okozta alakváltozás, amely a felszínen érzékeny műszerekkel jól kimérhető. Ez utóbbira példát hazánkból is tudunk hozni az 1956-os dunaharaszti földrengéssel ( $M=5,6$ ) kapcsolatban (3. ábra). A jelenség idején az epicentrum 70-80 km-es körzetében éppen geodéziai munka folyt, a felsőrendű szintezési hálózat újramérését végezték. A munka során több mérési helyen is 4-5 cm-es záróhiba adódott, amit először mérési hibának vélték, azonban a földrengés kipattanása után a hiba megszűnt és visszaállt az eredeti állapot.

További észlelhető előjel a kőzetfeszültség növekedésével a felszín alatti elektromos vezetőképesség csökkenése, valamint a talajvízszint nyomáscsökkenése. A vízszint földrengés előtti csökkenése például megfigyelőkutakban is jól mérhető, ezekben még távoli földrengések hatásai is megjelenhetnek. Az 1969-es Banja Luka-ban történt ( $M=6,4$ ) földrengés idején a nyugat-mecseki karsztvízszintben 10-20 cm-res csökkenést észleltek.

A kőzetfeszültség növekedésével különféle talajgázok (pl. radon) szabadulhatnak ki a felszínre, a feltételezett kapcsolat azonban nem mindig egyértelmű. Ezért nem meglepő, hogy a 2009-es olaszországi LAquila-ban ( $M=6,3$ ) történt földrengés előtt a megemelkedett



2. ábra. Szeizmikus kockázatok hazánkban egy modellszámítás alapján. Az USD-ben becsült átlagos éves kár (AAL) összegét a hazai viszonylatú építési költségekkel (USD/m<sup>2</sup>) normalizálták, így más országokkal is összevethető.

radon gáz kiáramlást észlelő közeli Gran Sasso fizikai laboratórium földrengés figyelmeztetését a hivatalos szervek figyelmen kívül hagyták, annak ellenére, hogy az előző hónapokban számos kisebb előrengés is kipattant. Az előrengések számának alakulása is fontos előjel, amely először növekedik, majd a főrengés kipattanásának idejéhez egyre közeledve lecsökken.

Érdekes jelenségek a közvetlenül a földrengések előtt valamint azok idején a villanásszerűen (mint egy villámlás) megjelenő fények. A földrengés fényt a kutatások olyan dörzselektromos jelenségnek azonosítják, amely a nagy kőzetnyomás és elmozdulás okozta

3. ábra. Az 1956. január 12-i földrengés károkozása Dunaharaszti-ban egy lakóházban (Forrás: Dunaharaszti Helytörténeti Emléktár)



súrlódás hatására jön létre. Sokszor figyeltek meg földrengések előtt gömbvillám szerű jelenségeket, akár 100 km távolságra is az epicentrumtól (4. ábra). A nappali égen többször szivárványszínű vékony „tűzfelhőket” figyelnek meg, amelyek általában már a földrengés előtt egy-két órával megjelennek. Az utóbbi két jelenségről a 2009-es olaszországi l'aquilai földrengés előtt is beszámoltak.



4. ábra. Jim Conacher gömbvillám-szerű jelenségekről készült híres fotója a kanadai Taglish Lake mellett 1973. július 1-én. Pár óra múlva kb. 100 km-rel odébb, Cross Sound-nál M=6,7 erősségű földrengés történt.

Az élőlények furcsa viselkedése, elektromos készülékek meghibásodása, a GPS navigáció pontatlanná válása, az elektromos kábelekben a feszültség lecsökkenése mind lehet egy földrengés előjele is. Érdekesképpen említjük meg, hogy sok ember fejfájásra és álmatlanságra panaszkodik egy-egy földrengés kipattanása előtt.

A rövidtávú előrejelzések terén még sok kutatásra lesz szükség. A földrengés legbiztosabb előrejelzéséhez – a megismertekkel együtt – számos tényező észlelt adatait kellene egyszerre és gyorsan értékelni. Egy ilyen rendszer kiépítése és működtetése jelentős anyagi ráfordítást igényel, mivel ehhez több tudományterületen is precíz műszerezettség és jól felkészült állandó szakemberegység szükséges. Belátható, hogy gazdaságosabb a preventív (pl. építési) intézkedések megtétele, az emberek felvilágosítása a földrengés esetén való teendőkről és a kártérítés kifizetése biztosításokból vagy állami fedezetből, mint nagy anyagi ráfordítással egy előrejelző rendszer fenntartása.

### A tóhokui földrengés és Fukushima

2011. március 11-én, helyi idő szerint 14 óra 46 perckor földrengés következett be Japán keleti partvidékén, a Tóhoku régióban elhelyezkedő Szendai

város közelében. A földrengés epicentruma a japán partoktól 72 kilométerre, a hipocentruma pedig közel 24 kilométeres mélységben volt.

Az amerikai United States Geological Survey (USGS) adatai szerint Japán területén az 1., a világon pedig a 4. legerősebb földrengés volt, amely a Richter-skála szerinti 9-es erősségű besorolást kapta. Erre az erősségre jellemző, hogy a rengés ereje nagy, a pusztítás mértéke rendkívüli, 10-20 évente történik ilyen rengés a Földön. A földmozgást több száz utórengés (melyek közül volt 7-es erősségű is), valamint több méter magas szökőár követte, és a víz a szárazföldi területekre néhol 10 kilométerre is befolyt. Az anyagi kár hatalmas volt, utak és vasutak törtek fel, több helyen tűz ütött ki, valamint gátak is átszakadtak. Észak-Japánban közel 4,4 millió háztartás maradt áram, valamint 1,4 millió víz nélkül.

A földrengés következtében cunami is keletkezett, mely azzal magyarázható, hogy a földrengés következtében a Csendes-óceáni lemez alábukott az Észak-amerikai lemeznek, így az az óceán vizét felfelé tolt. A víz így Japán felé és a Csendes-óceán belseje felé áramlott. Magassága elérte a 39, a partoknál pedig az 5-15 métert is.

### A katasztrófa lefolyása

A földrengés és cunami súlyos üzemzavarokat, nukleáris szennyeződések eredményezett a Fukushima Daiicsi atomerőműben. A katasztrófa a Nemzetközi Nukleáris Eseményskálán a legsúlyosabb, 7-es fokozatot érte el, melyre az jellemző, hogy nagy radioaktivitású anyagok kerülnek ki a környezetbe. Ezek között a láncreakció rövid és hosszú felezési idejű bomlástermékei találhatók. A sugárzás mennyisége meghaladja a 10000 terabecquerelt. Nagy területeken, akár több országban is súlyos egészségkárosító és környezeti hatásokat tud okozni. Ennek következtében az erőműből nagy mennyiségben kijutott radioaktív anyagok több tíz kilométeres távolságig beszennyezték a környezetet.

2012. július 5-én a Fukushima Nukleáris Baleset Független Vizsgálói Bizottsága (NAIIC) megállapította, hogy a baleset okai előreláthatóak voltak, és az erőmű üzemeltetője, a Tokyo Electric Power Company (TEPCO) nem teljesítette az alapvető biztonsági intézkedéseket, a kockázatelemzést, illetve az evakuálási tervek megfelelő kidolgozását. 2012. október 12-én a TEPCO elismerte, hogy nem tette meg a szükséges óvintézkedéseket, mert el akarta kerülni a nukleáris erőművel szembeni pereket és tiltakozásokat.

A földrengés idejében az atomerőmű 6 reaktora közül a 4-5-6-os karbantartás miatt nem üzemelt, az 1-2-3-as pedig automatikusan leállt. A leállás után is szükség

volt a folyamatos hűtésre, amihez elektromos áram kellett, illetve a szivattyúknak kellett továbbra is üzemképesnek lenniük.

A földrengés után közel 55 perccel később, az óceán alatti földrengés által kiváltott cunami elérte az atomerőművet 14-15 méter magasságban. A létesítmény gátját úgy tervezték, hogy maximum 5,7 méteres szökőárat legyen képes visszaszorítani. Így a víz könnyedén átvágott a gáton, hatalmas pusztítást okozva az üzemben belüli berendezéseken. Meghibásodtak az elektromos rendszerek, hűtőberendezések: tönkretette a tengervíz-szivattyúkat, a dízelaggregátorok üzemanyag-ellátását és hűtőrendszerét, valamint több méteres magasságban víz alá kerültek a komplexum alsóbb szintjei. A dízeles áramfejlesztők kiesésével és az alsó szinteken a víz által meghibásodott elektromos rendszerek miatt leálltak a reaktorok aktív üzemzavari hűtőrendszerei, és leállt a több száz fűtőelemet tároló pihentetőmedencék és használtfűtőelem-tároló hűtése is. Ennek eredményeképpen végül a fukusimai Daiicsi atomerőműben az 1-es, 2-es és 3-as reaktorban teljes zónaolvadás következett be (5. ábra).

A reaktor fő része a körte alakú acélkonténment (19). A reaktorokban lévő fűtőelemekben (27) továbbra is folyamatosan termelődő hő elkezdte elforralni a reaktortartályban (8) az aktív zónát (1) beborító hűtővizet és a pihentetőmedencében (5) lévő vizet. Az elforrott víz pótlása nélkül a reaktorban növekedni kezdett a nyomás és csökkenni a vízszint. A reaktortartály alatt elhelyezett tórusz alakú kondenzációs kamrában (24) a nagy mennyiségű víz (18) segítségével a keletkező gőzt átbuborékolatva lecsapatták. Ezzel a megoldással ideiglenesen sikerült ugyan a nyomás további gyors növekedését megakadályozni és az aktív zónát hűteni, viszont így a reaktortartályból elvont hő a tóruszban lévő vizet melegítette, emiatt a keletkezett hőt nem sikerült elvezetni. A tóruszban lévő víz felforrósodásával ez a passzív hűtés is leállt, ami azt eredményezte, hogy tovább nőtt az aktív zóna hőmérséklete és az ott keletkezett nyomás. A reaktorok és a pihentetőmedencék aktív hűtését csupán a baleset után kilenc órával a helyszínrre szállított mobil szivattyúk és aggregátorok segítségével próbálhatták meg újraindítani. A nem megfelelő hűtés miatt a reaktorok hűtővizének vízszintje, az aktív zónák hőmérséklete és a reaktorok nyomása kritikusá vált, mely zónaolvadást, a reaktortartály átégését, az olvadt üzemanyag és a beszivattyúzott hűtővíz kifolyását, szivárgását eredményezte a környezetben.

A reaktorleállások, a kémiai robbanások és a három reaktorban bekövetkező zónaolvadás miatt nagy mennyiségű radioaktív szennyeződés került a környezetbe.

A szennyeződés egyaránt érintette a talajt, a vizet, és a levegőt. 2011 októberében állapították meg, hogy a baleset a radioaktív anyagok korábban becsült mennyiségének kétszeresét juttatta a levegőbe, mert a korábbi elemzés nem számolt a tenger felé kiszökött szennyeződéssel.

A korábban említett TEPCO üzemeltető a szükséges biztonsági intézkedések elmulasztása mellett még további negatív visszhangot keltő lépéseket tett, többek között sugárzóanyag-szivárgás mennyiségét titkolta, kezdetben tagadta, hogy sugárzott víz került az óceánba, később ismerte csak el, hogy 6-ból 3 reaktorban leolvadt a reaktormag, mentésben és takarításban résztvevők haláleseteit tusolta el, valamint nem jelentette be, hogy egy elvezetőcsőben folydogáló anyag az egészségügyi határérték 4000-szeresével sugárzik.

2017 februárjában egy, a Toshiba által fejlesztett vizsgáló robotot küldtek be a létesítmény 1-es és 2-es blokkjába azzal a céllal, hogy felmérje a szerkezeti károkat. A sugárzás olyan mértékű volt, hogy a robotra szerelt speciális kamera 2 óra alatt tönkrement. Bár a gépezetet úgy építették meg, hogy kibírjon 1000 Sv (sievert, az ekvivalens sugárzási dózis SI-alapegysége) mennyiséget, az erőmű területén megtett szakaszon a szakemberek óránként 650 Sv-t mértek a robottal, így biztonsági okokból visszairányították azt. Két héten belül újabb robotot küldtek be, szintén sikertelenül.

Az Sv-ben mért sugárzási dózisnak az emberre gyakorolt hatása már csekély mennyiségben is veszélyes: 1-6 Sv hányingert, szervkárosodásokat, 6-10 Sv a központi idegrendszer sérülését, míg a 10 fölött Sv mérték bennulást, halált okoz.

Még 2017 nyarán újabb vizsgálatokat kezdtek ezúttal a 3-as blokkban, a reaktorház belsejében, kábeles távvezérléssel működő robottal. A felvételezés során sikert értek el: sikerült képeket készíteni nagy mennyiségű szilárd törmelésekről, mely a szakértők szerint a megolvadt fűtőanyag. Ezekre a vizsgálatokra azért van

5. ábra. A fukusimai atomerőmű reaktorának felépítése

8 - reaktortartály

1 - aktív zóna

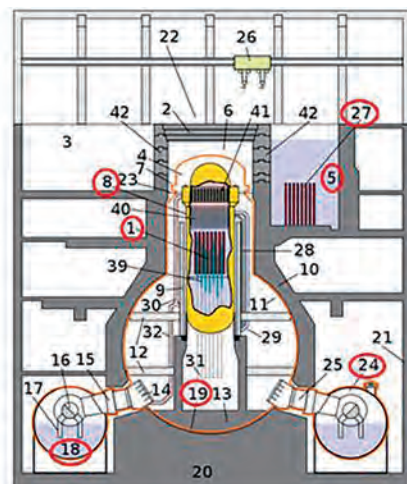
19 - körte alakú acélkonténment

5 - pihentetőmedence

27 - fűtőelemek

24 - kondenzációs kamra

18 - nagymennyiségű víz



feltétlenül szükség, mert így tudják megállapítani a megolvadt nukleáris anyag pontos elhelyezkedését, kiterjedését, tömegét, amik mind fontos tényezők, hogy a későbbiekben kiemelhessék azt. A helyreállítási folyamatok módjának kidolgozásához is elengedhetetlen a terület teljes szerkezeti felmérése.

2018 novemberében súlyos környezeti problémával szembesültek a japán tudósok és szakemberek: a megrongálódott erőmű környezetében felhalmozódó sugárszennyezett víztömegnek a kezelése megoldatlan. A Nemzetközi Atomenergia-Ügynökség (NAÜ) elemzése szerint közel 1 millió tonna sugárszennyezett víz található a létesítmény területén és környezetében. Ez a hatalmas mennyiség azzal magyarázható, hogy naponta 400 tonna vizet pumpálnak a reaktorok folyamatos hűtése miatt. Az erőművet üzemeltető TEPCO vállalat még októberben beismerte, hogy a felhalmozódó víz továbbra is tartalmaz egészségre káros radioaktív anyagokat, annak ellenére, hogy évekig azt



6. ábra. A szennyezett tárgyak zsákokba helyezve

állította, hogy a víz teljesen tiszta. Emiatt korábban a NAÜ is azt tanácsolta, hogy kockázatkezelésként és a víz mennyiségének csökkentéséért engedjék a vizet az óceánba. A tisztítási folyamat elengedhetetlen feltétele a sugárzó víz mérséklése a területen. A szakértők szerint a vizet 7 év alatt lehet megtisztítani, valamint azt is elmondták, hogy a fukusimai sugárszennyezett víz kiemelkedően tríciumot tartalmaz. A trícium a tudósok szerint a legkevésbé veszélyes nukleáris anyagok közé tartozik, viszont belelegezve és elfogyasztva, például halfogyasztás során, komoly egészségügyi kockázatot jelenthet. Ennek tudatában a japán halászok ellenszenvét azonnal kiváltotta a sugárszennyezett víz óceánba való elhelyezése. Ha a TEPCO mégis megvalósítaná ezt, akkor előtte japán és független intézmények felé kellene benyújtania

olyan tanulmányokat, melyek a bekövetkező környezeti kockázatokat és a biztonsági óvintézkedéseket, műszaki megoldásokat taglalná.

2019. február végén japán szakemberek robotkarral kezdték el vizsgálni a 2-es reaktorblokkot. A különleges szerkezet egy 15 méter hosszú cső, ami 30 centiméter hosszú és 10 centiméter vastag robotkarokkal van ellátva, illetve szereltek rá sugárzásmérőt és kamerákat is. A robotkarokkal 2 kilogramm súlyt képesek megemelni, így érthető, hogy a vizsgálat célja csupán a radioaktív anyagok állapotának az elemzése, valamint a mechanikai behatásra történő változás. A robotkarral sikeresen tudtak felvételezést készíteni és az olvadt fűtőanyagot is meg tudták vizsgálni, melyekről a TEPCO képeket is közölt. A kapott eredményeket felhasználják a tudósok az 1-es és a 3-as reaktorblokkok robotkarral való felmérésére is. A szakértők az olvadt fűtőanyagok a kiemelését 2019 második felében tervezik kivitelezni.

### Károk és következmények

A veszteségek eltérő információkkal szerepelnek, de a halottak száma megközelíti a 16 ezer főt, a sérültek száma a 6 ezret és mintegy 2,5 ezer eltűnt embert tartanak nyilván. A háztartásokat tekintve 4,4 millió maradt áram, valamint 1,4 millió víz nélkül. A katasztrófa sújtotta területekről mintegy 500 ezer embert kellett kitelepíteni és ezen belül 100 ezer gyermek vált otthontalanná. A becsült kár 360 milliárd amerikai dollár volt. A kitelepítettek támogatása 2018-ban véget ért, emiatt sokaknak kell majd visszaköltözniük.

Rehabilitációra több merészebb ötletük is van a szakembereknek: a szennyezett föld lefagyasztása, az atomerőmű hosszútávú lebontása. A szennyezett tárgyak zsákokba helyezése megtörtént, jelenlegi állapot szerint az elszállítása, raktározása kérdéses (6. ábra).

A katasztrófa sújtotta Tóhoku régió Japán GDP-jének 8%-át adta akkor, a gyárbezárások, energiaszolgáltatás akadozása hónapokig hatással volt a japán GDP-re. Az akkori miniszterelnök és a lakosság atomenergiához való hozzáállását teljesen megváltoztatta.

Az utóbbi években Japán lakosságára a növekvő atomenergia-ellenállás volt jellemző. Az ország a leállított nukleáris reaktorait olaj- és gázturbinák újraindítása mellett szél- és napenergia, valamint más megújuló energiás projektek segítségével egyre inkább áthidalja. Manapság azonban Japán kezd visszatérni fokozatosan az atomenergiára. A visszakapcsolt első reaktorok közül volt olyan, amely üzemzavar miatt azonnal leállt, ijedségre adva okot az embereknek, amit talán soha nem fognak a fukusimai katasztrófa után megfelelően feldolgozni.

MITRE ZOLTÁN – ZOMBORI PÉTER