

Két évtizeddel a csernobili baleset után talán nem túlzás azt állítani, hogy mára mindent tudunk, amit tudni lehet a baleset okaival, lefolyásával és következményeivel kapcsolatban. A tudomány nem várja, hogy jelentősen új ismeretek merülnek fel a jövőben. A baleset huszadik évfordulója sok szakembert és szakmai szervezetet sarkallt arra, hogy összegezzék ismereteiket. Ennek szellemében 2005 szeptemberében a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség és szakosított szervezetei nemzetközi Csernobil-konferenciát rendeztek Bécsben, ahol publikálták az elmúlt húsz év műszaki, sugárvédelmi, orvosi és biológiai kutatásainak eredményeit [1, 2]. 2005 májusában egy magyar tudományos expedíció végzett méréseket a csernobili lezárt zónában [3], és 2005 végén magyar nyelven egy könyv is megjelent, ami az expedíció tapasztalatai mellett igyekszik összegezni mindazt, amit ma tudni érdemes Csernobilról [4]. Jelen cikk a rendelkezésre álló friss publikációk alapján rövid összefoglalót ad a baleset okairól, következményeiről és a csernobili lezárt zónában ma tapasztalható helyzetről.

A csernobili 4. reaktor balesete

Csernobilban 1986. április 26-án a 4. blokkon egy rosszul megtervezett és még több hibával végrehajtott üzemviteli kísérlet során az öngerjesztő tulajdonságokkal bíró reaktort olyan üzemállapotba manőverezték, melyben a – reaktor felépítéséből adódó – pozitív visszacsatolások felerősödtek. A blokk operátorai több fontos védelmi rendszert kikapcsoltak, és az írott üzemviteli utasításokat, biztonsági előírásokat is többszörösen megsértették. Ennek és a reaktor konstrukciós hibáiból adódó kedvezőtlen fizikai tulajdonságok következményeként 1986. április 26., szombat hajnali 1 óra 23 perckor a reaktor megszaladt, vagyis abban a láncreakció ellenőrizhetetlené, szabályozhatatlanná vált, és néhány másodperc alatt a reaktorban megtermelt hőteljesítmény a névleges 7%-áról a névleges 10000%-ára (százszorosára) ugrott fel.

A nagy teljesítményugrás következtében létrejött gőzrobbanás felhasította a hűtőcsatornák csöveinek falát, és forró víz áramolhatott a grafit moderátorra. Ez robbanóképes gázok keletkezéséhez vezetett, ami két másodperccel a gőzrobbanás után egy újabb robbanást okozott. A két robbanás erejét jól jellemzi, hogy a reaktor hűtőcsatornái fölött elhelyezkedő hatalmas, 3000 tonna súlyú reaktorfedél körülbelül 50 méter magasra repült, a reaktorcsarnok tetejébe ütközött – kiszakítva a tetőszerkezetet –, majd oldalára fordulva visszazuhant a reaktorba (a szarkofággal kapcsolatban lásd még később az erről szóló fejezetet és a 3. ábrát).

A csernobili atomerőműben alkalmazott RBMK reaktortípus felépítését és működését tekintve alapvetően különbözik a Pakson vagy Nyugat-Európában alkalmazott nyomottvízes reaktortípustól. A csernobili típus meghatározó eleme az a hatalmas méretű, mintegy 800 köbméteres grafitömb, amelyben csatornákon belül fémcsö-

vekben helyezkednek el az üzemanyag-kazetták. A reaktor hűtővíze ezekben a fémcsövekben áramlik, és a kétszer 3,5 m (összesen 7 m) hosszú üzemanyag-kazetták is a hűtőcsöveken belül foglalnak helyet. A grafit (neutronlassító) és a hűtővíz együttes jelenléte a csernobili reaktorban több hátránnyal is jár:

1. A reaktor bizonyos üzemállapotokban nem stabil, abban a pozitív reaktorfizikai visszacsatolások miatt öngerjesztő folyamatok indulhatnak be. Ez a tulajdonsága vezetett az 1986-os balesetben az első robbanáshoz, a gőzrobbanáshoz, és a reaktor ezen fizikai tulajdonsága (vagyis a hibás konstrukció) a baleset alapvető oka.

2. A nagyméretű grafitömböt nem vették körül nagy nyomásra méretezett reaktortartállyal, és a reaktor köré nem építettek megfelelően méretezett hermetikus védőépületet sem, így a robbanás hatására a reaktor üzemanyagából kikerülő radioaktivitás közvetlenül a környezetbe jutott.

3. A grafit és a víz együttes jelenléte további veszéllyel jár: ha a hűtőcsatornák sérülése miatt víz áramlik a forró grafitra, az úgynevezett városigáz-reakció játszódik le, amelyben hidrogén és szén-monoxid keletkezik. Ez a levegő oxigénjével robbanógázt képez, ami Csernobilban a második robbanást okozta.

4. A grafit a robbanások hatására meggyulladt, ami tíz napig magas hőmérsékletű grafitűzshöz vezetett, és jelentősen növelte a környezetbe kikerülő radioaktivitás mennyiségét.

A nyomottvízes reaktorokra nem jellemzőek a fenti hátrányos tulajdonságok: a nyomottvízes reaktorokban nincs grafit, alapkövetelmény, hogy abban öngerjesztő folyamatok ne tudjanak kialakulni (a negatív visszacsatolás alapvető tervezési követelmény, ami belső biztonságot ad a nyomottvízes reaktoroknak). Ha nincs grafit, nyilvánvalóan grafitűz sem tud kiütni. Ezen túl a nyomottvízes reaktoroknál a hasadóanyagot tartalmazó aktív zónát egy nagy nyomásra méretezett reaktortartály veszi körül, és a blokkok primer körét megfelelően méretezett hermetikus védőépületben helyezik el. Így tulajdonképpen két mérnöki gáttal több van a nyomottvízes reaktorokban, emiatt környezetük sokkal nagyobb biztonságban van, mint a csernobili típusú blokk esetében.

A csernobili baleset környezeti hatásai

A robbanások és az azokat követő grafitűz a reaktor üzemanyagának körülbelül 3,5–4%-át szórta szét a környezetben. Kikerült a környezetbe a nemesgázok 100%-a, az illékony izotópok (jóde, tellúr, cézium) körülbelül 20%-a és a kevésbé mozgékony izotópok (stroncium, cirkónium) 3,5%-a. A nagy radioaktív kibocsátáshoz az is jelentős mértékben hozzájárult, hogy a hűtés nélkül maradt nukleáris üzemanyag megolvadt, így az urán-dioxid keramikuss üzemanyag-mátrix nem tudta magában tartani a radioizotópokat. A megrongálódott reaktorépü-

letből a tűz és a hasadási termékek bomláshőjének hatására felmelegedett levegő nagy magasságba emelte a kiszabadult radioaktivitást.

A kibocsátást a tűzoltók és az úgynevezett likvidátorok áldozatos munkájával körülbelül egy hónap alatt tudták megszüntetni. Az oltási munkálatokban, a szarkofág építésében, az erőmű és a környezete megtisztításában összesen mintegy 800 000 ember vett részt.

A környezet szennyeződése szeszélyes tér- és időbeli eloszlást mutatott a meteorológiai viszonyok, azon belül is elsősorban a csapadékviszonyok által meghatározott kihullás következtében. A legszennyezettebb területek az erőmű közvetlen környezetében, valamint Oroszország, Fehéroroszország és Ukrajna egyes régióiban találhatók. Jelentős mértékben több mint 30 000 négyzetkilométer terület szennyeződött radioaktív izotópokkal. Ebből körülbelül 4000 négyzetkilométer tartozik az erőmű körüli ellenőrzött területhez (ez ma lezárt zóna, ahol a szennyeződés a legnagyobb volt). A lezárt zóna területéről 116 000 embert kellett kitelepíteni, a három érintett állam jelentős mértékben szennyezett területeiről kitelepített lakosok száma összesen körülbelül 350 000 fő.

Az erőmű közvetlen közelében a legszennyezettebb területeken extrém nagy szennyeződés, ennek következtében pedig extrém nagy dóziszintenzitások jöttek létre. Ezek a területeken az első időszakban a növények és állatok dózisterhelésének 90%-át béta-sugárzás, 10%-át pedig gamma-sugárzás adta.

A kihullott radionuklidok sugárzása következtében a baleset évében az élővilágban az akut sugárártalom különböző jeleit lehetett tapasztalni az erőmű néhány tíz kilométeres körzetében, a 0,3 Gy feletti dózist elsenvedett növények és állatok között. A csernobili balesetre adott környezeti válasz nagyban függött az elsenvedett sugárdózistól, a dóziszintenzitásától, valamint az adott élőlények sugárérzékenységtől. Az akut tünetek között a túlevelűek, gerinctelen és emlősállatok elpusztulása, a reprodukciós képesség romlása és krónikus sugárbetegségi tünetek fordultak elő. Néhány év elteltével az érintett élővilág regenerálódott.

A sugárterhelés az erőműhöz közeli, attól 1,5–2 km-re nyugatra elterülő fenyőerdőben érezte leginkább hatását. Az erdőt alkotó, több mint 80 Gy dózist elsenvedett erdei fenyő (*Pinus silvestris*) populáció a balesetet követő 2–3 héten belül mutatta a sugársérülés tüneteit: a tűlevelek elsárgultak és elpusztultak. 1986 nyarán a fák sérülésének területe az erőműtől 5 km-re északnyugatra terjedt ki [2]. Az elpusztult faállomány színe alapján ezt az erdőterületet ma Vörös-erdőnek nevezik.

1987-ben már láthatóvá vált a túlélő faállomány regenerálódása. Az elpusztult erdő helyén az elvégzett talajjavító intézkedéseknek köszönhetően új fák hajtottak ki. A Vörös-erdőben a növekvő fák esetében a normálistól eltérő fejlődést lehetett megfigyelni: ilyenek például a törzs szokatlan elágazásai, a virágzat duplázódása, hajtáspamacsok kialakulása, a levelek és virágok szokatlan színe és mérete [2]. Hangsúlyozni kell, hogy ezek a genetikai eredetű elváltozások csak az erőmű közvetlen közelében, a legextrémebb szennyezést elsenvedett szűk területen voltak megfigyelhetők.

Noha a legtöbb haszonállatot a balesetet követően evakuálták, néhány száz szarvasmarha a legszennyezettebb területen maradt 2–4 hónapig. Ezen állatok egy része 1986 őszére elpusztult, és a túlélők között is immunrendszeri károsodások, alacsony testhőmérséklet, valamint szív- és érrendszeri károsodások voltak tapasztalhatók [2]. Az állatok között 1989-ig kimutatható volt a pajzsmirigy csökkent működése, ami 180 Gy-nél magasabb pajzsmirigydózist elsenvedett állatoknál a megfigyelt szaporodási problémák oka lehetett. A nagy sugárterhelésnek kitett szarvasmarhák utódai közt csökkent súlyt, illetve csökkent súlygyarapodást, és a törpenövés jeleit lehetett felfedezni. A szarvasmarhák reprodukciója 1989 tavaszára visszatért a normális kerékvágásba.

Számos sajtóhír számolt be a 0,05 Gy/év alatti dóziszintenzitásnak kitett szarvasmarhák és disznók között gyakran előforduló születési rendellenességről, ezt azonban a tudományos bizonyítékok, és a haszonállat-populációk vizsgálata nem támasztják alá. Nagy publicitást kapott egy, a szennyezett területen született hatlábú borjú fényképe. A borjú valójában 1986 júniusában született, így a sugárzásnak tulajdonított fejlődési rendellenesnek már a balesetet megelőzően ki kellett alakulnia az anyaállat méhében, így ez az eset nem hozható összefüggésbe a csernobili baleset radioaktív kibocsátásával [2].

A növény és állatvilág mára kiheverte a baleset utáni nagy dóziszok hatását, és ma talán még jobb helyzetben is van, mint a környező területeken, mivel a zóna gyakorlatilag lakatlan és az emberi tevékenység nem háborgatja az élővilágot.

A lezárt zónában elszaporodtak a nagyvadak is, nyomukban pedig megjelentek a farkasok. Ugyanakkor szembeűnő a zavarásra különösen érzékeny sasok visszatelepülése a lezárt zónába. A baleset idején Ukrajnában csupán 40–50 pár rétisas fészkel, ami a hatalmas területhez képest nagyon kevés. Csernobil környékén nagyon ritka volt ez a faj, ma pedig több új család is megjelent a lezárt zónában. Ennek az az oka, hogy a rétisas nagyon korán kezd költeni, amikor még hideg az idő. Ha megközelítik a fészket, hamar hátrahagyja a tojásokat, amelyek a hideg idő miatt gyorsan kihűlnek és életképtelenné válnak. A lezárt zónában zavartalanul költhetnek, így jobban szaporodnak. Leginkább ők örülnek annak, hogy az ember nagy területekről eltűnt. Számukra kedvező változás az is, hogy a Csernobil környéki tavak és a mocsaras területek bővelkednek halakban, mivel halászni, horgászni a lezárt zónában nem szabad.

A baleset egészségügyi hatásai

Likvidátorok

A baleset közvetlen következtében 3 ember vesztette életét (két embert a robbanás ölt meg, míg a harmadikkal szívroham végzett), a baleset utáni 3 hónap során további 28 ember vesztette életét akut sugárbetegség következtében. A tűz oltásán és a baleset elhárításán dolgozók közül a közvetlen áldozatok száma a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség adatai szerint – beleszámítva a nagy dóziszra visszavezethető betegségben azóta elhunyt likvi-

dátorokat is – nem haladja meg az 50-et. A közvetett áldozatok száma ennél természetesen (és sajnálatosan) jóval magasabb.

Az erőmű kezdeti megtisztításában mintegy 200 000 ember vett részt, 1990-ig azonban mintegy 800 000 ember – ők a likvidátorok – vett részt az elhárítási, dekontaminálási munkálatokban. A likvidátorok átlagdózisa 100 mSv (millisievert) körüli érték. Néhány százalékuk dózisa az 500 mSv-et is meghaladta, néhány tucat likvidátor pedig több sievertnyi dózist is elszenvedett [4]. Az átlagdózisok alapján elvégzett becslések szerint a likvidátorok között mintegy 2200 többlet rákos megbetegedés miatti haláleset várható, amelyek közül körülbelül 200 leukémiás megbetegedés lesz. Az orosz adatok szerint a legmagasabb dózist kapott likvidátorok között 1992–1995 között megduplázódott a leukémia gyakorisága (az össz-esetszám azonban alacsony, néhány tíz megbetegedés évente).

A likvidátoroknak jelenleg körülbelül egyharmada rokkant, az okok között idegrendszeri, vérkeringési és mentális problémák találhatók. A nagy gyakoriság a vizsgálatok szerint nincs összefüggésben a kapott dózissal, a mentális leépülés azonban kapcsolatba hozható a „csernobili rokkanttá” nyilvánítással. A likvidátorok között az átlagnál gyakoribb az öngyilkosságok száma is.

Lakosság a volt Szovjetunió területén

A hosszú távú egészségügyi hatások közül a volt Szovjetunió területén a számottevő többletdózist elszenvedett gyermekek körében mutatható ki szignifikánsan a baleset hatása: 4000 gyermeknél diagnosztizáltak pajzsmirigyrákot. A korai diagnózis, valamint a pajzsmirigydaganat 99% fölötti arányú gyógyíthatóságának köszönhetően közülük 9-en veszítették életüket.

A 200 000 legerheltebb likvidátor, a legszennyezettebb területekről kitelepített 116 000 ember, valamint a mai is számottevő szennyezett területen élő körülbelül 300 000 ember között mindösszesen körülbelül 4000 többlet rákos haláleset várható a baleset miatti sugárdózis következtében. (Az előbb említett mintegy 600 000 ember 25%-a – vagyis 150 000 ember – Csernobil nélkül is daganatos megbetegedés miatt veszíti el életét, hiszen Ukrajnában és Magyarországon is ekkora a rák miatti elhalálozás gyakorisága.)

Az erőmű körüli lezárt zónába körülbelül 400, zömmel idős személy önkényesen visszaköltözött. Az ő éves dózisa a természetes háttérből eredő dózis két-háromszoros lehet azon szennyezettélmérések alapján, amit a magyar tudományos expedíció (lásd a következő fejezetet) a zónában mért.

A nemzetközi elemzések [1] szerint a likvidátorok egy szűk köre és a lakosság egy kis csoportja kivételével a csernobili baleset egy alacsony többletdózist okozó esemény volt, a baleset miatti, sugárdózissal összefüggésbe hozható halálesetek száma a balesetet követő 70 évben a fent említett 4000 fő körül van. A baleset által okozott stressznek, a sugárzástól való félelemnek, a kitelepítés lelki hatásának, az édesanyák születési rendellenességektől való félelmének nagyobb hatása, és valószínűleg több áldozata volt (és van), mint magának a sugárzásnak. A

nemzetközi közösség a 2005. szeptemberi bécsi Nemzetközi Csernobil Konferencián azt javasolta az érintett három ország kormányának, hogy segíelyek, „csernobili rokkantnyugdíj” kifizetése helyett a gazdaság fejlesztésére, a normális, megszokott élethez szükséges munkahelyek megteremtésére, a gazdaság fejlesztésére fordítsák a központi forrásokat, mert ennek több hasznos hatása lenne az emberek életére, mint a kis többletdózis elleni védekezésnek vagy a szociális segíelyezésnek [1]. Az elmúlt 20 évben bebizonyosodott: az emberek nem akarnak elköltözni a közepesen vagy gyengén érintett területekről, az életkörülményeik, egészségügyi állapotuk pedig elsősorban nem az elviselhető mértékű szennyezettségtől, hanem szociális és gazdasági helyzetüktől, munkahelyük lététől és az egészségügyi rendszer megfelelő színvonalától fog függeni.

Magyar lakosság

A magyar lakosság csernobili eredetű többletdózisa tekintetében nincs szükség a már ismert adatok korrekciójára. Magyarország szennyezettsége az európai átlag alatti, a lakosok átlagos többletdózisa pedig 1 mSv alatt van a balesetet követő 70 évre vonatkozóan, melyből a dózis körülbelül felét a lakosság a balesetet követő első évben szenvedte el. Ennek az éves természetes háttér (2,5 mSv/év) töredékét kitevő dózissal nem lehet, és nincs is kimutatható egészségügyi hatása a magyar lakosság körében.

Magyar tudományos expedíció Csernobilban

A Magyar Nukleáris Társaság, és annak fiatal szakcsoportja, a FINE szervezésében 2005. május 28. és június 4. között tudományos expedíció járt Csernobilban. Az útnak több célja is volt:

Saját, közvetlen tapasztalatokat akartunk szerezni a csernobili atomerőmű és környezete jelenlegi állapotával, valamint a környezet szennyezettségével és a dózisviszonyokkal kapcsolatban. Információkat akartunk gyűjteni a 2000-ben végleg leállított erőmű és a 4. blokk köré épített szarkofág állapotáról. A különleges helyszín rendkívül jó lehetőséget teremtett arra, hogy fiatal nukleáris szakembereket tovább képezzünk a terepi mérések szennyezett helyszínen történő végrehajtásával kapcsolatban. Az előbb említettekén túl hiteles méréseket, fénykép- és videoanyagokat akartunk készíteni a kinti helyzetről, a vizsgálatainkról és a terepi mérések megvalósításáról. Az expedíció tagjai között voltak hivatásos fotósok és egy televíziós stáb is, így nagyon gazdag fénykép- és videoanyag áll rendelkezésünkre az útról: hatezer darab jó minőségű fénykép és közel 12 órányi filmananyag készült.

A hatékonyabb munka érdekében a résztvevőket csoportokra osztottuk: külön csoport foglalkozott a résztvevők személyi dozimetriájával, a terepi mintagyűjtéssel, az ökológiai hatás felmérésével, a környezeti dózisteljesítmény mérésével, helyszíni gamma-spektrometriai mérésekkel, a szarkofág és az erőmű állapotának értékelésével, valamint a munka jegyzőkönyvi, fényképes és filmes dokumentálásával. A következő kollégák irányították a csoportokat: *Apáthy István* (termolumineszcens dozimet-



1. ábra. Csapatmunka az akkreditált terepi mérőhelyen (fotó: Dombó Szabolcs)

ria), *Vajda Nóra* (terepi mintagyűjtés), *Tarján Sándor* (ökológiai hatáselemzés), *Sági László* (személyi dozimetria), *Zombori Péter* (helyszíni gamma-spektrometria és számítógépre archivált folyamatos dózisteljesítmény-mérés), *Hadnagy Lajos* (épített környezet állapotfelmérés), *Aszódi Attila* (dokumentálás és az expedíció vezetése).

Sugárvédelmi ellenőrzés, dózisviszonyok

Az út előkészítése és lebonyolítása során végig szem előtt tartottuk, hogy a résztvevők külső és belső dózisterhelését pontosan ellenőrizni lehessen. Ennek érdekében az út előtt és után minden résztvevő egészségteszt-számláláson esett át (az esetleges belső terhelés ellenőrzésére). A külső dozimetriai viszonyok folyamatos követésére nagyszámú műszer állt az expedíció tagjainak rendelkezésére. A mérések alapján megállapítható, hogy a lezárt zónában eltöltött napok során az expedíció tagjait összesen körülbelül akkora többletdózis érte, mint amekkora egy 10 órás repülőút vagy egy mellkasi röntgenátvilágítás szokásos dózisa (az átlagos többletdózis 20 mikroSv volt).

A környezeti dózisintenzitás a különböző területek szennyezettségének függvényében természetesen jelentős eltéréseket mutatott az erőmű környékén. Csernobil városban – ami körülbelül 20 km-re délre található az erőműtől, és kisebb mértékű szennyeződés érte a baleset után – a dózisteljesítmény ugyanakkora volt (100 nanoSv/h), mint Budapesten az elinduláskor. A reaktorbaleset hatása az

2. ábra. Munka a Vörös-erdő peremén (fotó: Dombó Szabolcs)



erőmű 30 km-es környezetében jól mérhető, de a legtöbb helyen csak olyan mértékű, amely mellett a területen – sugárvédelmi ellenőrzéssel – nyugodtan lehet dolgozni. Magában az atomerőműben magasabb volt a dózisintenzitás, mint amekkorát a magyar nukleáris létesítményekben megszoktunk, de azokon a helyeken, ahol mi jártunk, nem lépte túl a megengedett értékeket.

Nagyon részletes mérési programot sikerült végrehajtani egy akkreditált terepi mérőhelyen (1. ábra), ahol a baleset után nem cserélték le a talajt és a lezárt zónára jellemző átlagos szennyezettség tapasztalható. Itt jól kimutatható volt, hogy mára a külső dózisterhelés praktikusán 100%-a a cézium-137 izotóptól származik, annak ellenére, hogy mellette további radioizotópok (elsősorban Co-60, Cs-134, Eu-154, Am-241) is jól mérhetőek. Ezen a terepi mérőhelyen 387 kBq/m² Cs-137 felületi szennyezettséget mértünk, ami jó egyezésben volt az ukrán szakemberek által bizonylatolt 10,5 Ci/km² (ami 388,5 kBq/m²-nek felel meg) adattal. Ennek a felületi szennyezettségnek a dózisteljesítmény-jároléka 390 nanoSv/h. A természetes háttérsugárzással (60–110 nanoSv/h) együtt 450–500 nanoSv/h számítható, ami jól egyezett a hitelesített műszerekkel mért dózisteljesítménnyel.

A sugárzási viszonyok szempontjából kétségtelenül az úgynevezett Vörös-erdő és Pripjaty városa volt a legérdekesebb. Az 1986-os robbanásból a legnagyobb szennyeződés a közeli Vörös-erdőt érte (ez 2–4 km-re, nyugatra található a 4. bloktól, ebbe az irányba haladt a baleset utáni első fő kibocsátás csóvája). Ott a baleset után 1986-ban több Gy/h dózisintenzitás volt mérhető, így akkoriiban egy-két órányi erdei séta elég lett volna a halálos dózishoz. A helyreállítási munkák során ezen a területen friss, tiszta talajt hordtak a szennyezett fölé, a kipusztult növényzet helyén pedig mára minden visszaállt a régi kerékvágásba. Ezt az is mutatja, hogy a növényzet ép, minden él és virul, és az állatok – tekintve, hogy kevés ember jár arra – zavartalanabb életet élnek, mint más, ember által intenzíven használt területen.

Ezen a területen csak a sugárveszélyt jelző táblák és a műszerek mutatják, hogy magasabb a dózisintenzitás, mint a máshol megszokott, egyéb jelek erre nem utalnak. Ezen a területen védőruhában dolgoztunk (2. ábra), hogy elkerüljük a ruházatunk vagy a testfelületünk esetleges szennyeződését. Sok értékes mintát sikerült gyűjtenünk, és itt mértük a legmagasabb dózisteljesítményt is: 50 mikroSv/h (50 000 nanoSv/h) értéket. Ez az itthon megszokott háttérsugárzás intenzitásának az 500-szorosa. Munkavégzés céljából egy ilyen szennyezettségű helyen – természetesen a megfelelő sugárvédelmi rendszabályok betartásával – lehet tartózkodni, de ezeken a területeken a lezárás fenntartása hosszú távon is indokolt.

A terepen gyűjtött minták közül a következőket érdemes kiemelni: a legnagyobb aktivitáskoncentráció egy Pripjaty városban gyűjtött mohamintában volt mérhető: 2,5 MBq/kg cézium-137 és 150 kBq/kg amerícium-241. A Vörös-erdőnél gyűjtött egyik fűmintában 640 kBq/kg, míg a szintén ezen a helyszínen talált szarvasürülékben 115 kBq/kg cézium-137 aktivitáskoncentrációt mértünk. A talajminták elemzése szerint azokon a területeken, ahol nem mozgatták meg, nem forgatták át a talajt, a szennye-

zódás az eltelt 20 év ellenére nem jutott 8–10 cm-nél mélyebbre. A dozimetriai szempontból meghatározó cézium-137 jól kötődik a talajhoz.

A szarkofág

Az utóbbi időben mind a sajtóban, mind pedig szakmai körökben sokat lehet hallani a 4. blokk fölé felépített szarkofág állapotával kapcsolatos problémákról. Tudnunk kell, hogy 1986-ban a baleset során nagyon mostoha körülmények között igen gyorsan kellett felépíteni a szarkofágot, és nem volt, nem lehetett cél egy hermetikus védőépület elkészítése. Szakmai körökben köztudott, hogy az évszázok során jelentkező nagy hőmérséklet-változások okozta hőtágulás elviselése érdekében a szarkofág tetején és oldalfalain mindig is voltak rések. Ezen kívül a belső és külső hatások (hőmérséklet-változás, sugárzás) következtében a beton állapota is romlott a szarkofág közel két évtizedes fennállása alatt.

A nemrégiben elvégzett biztonsági elemzések azt mutatják, hogy egy nagyobb földrengés vagy külső behatás következtében a szarkofág fala esetleg megsérülhetne, vagy a szarkofágon belül egyes betonelemek elmozdulhatnának. (A 3. ábrán, a szarkofág makettjét mutató fotón jól látszik, hogy a balesetben a reaktorépület fő falai is jelentősen sérültek, amit a nagy dózisteljesítmény és az idő szorítása miatt 1986-ban nem lehetett kijavítani.) A szarkofágon belüli falak esetleges leomlása esetén egyetlen veszélyforrással kellene számolni: az épületen belüli, radioaktivitást tartalmazó nehéz porok felkeveredhetnének és kijuthatnának a szabadba. Ezt megakadályozandó az ukrán szakértők 2004-ben egy speciális befecskendező-rendszeren keresztül műanyagoldatot szórtak a szarkofágon belülré, hogy a port megkössék.

A biztonsági elemzések szerint az épület sérülése esetén a bent lévő porok nem juthatnának az erőmű körüli 30 km-es zónán túl, így ez Magyarországot nem veszélyeztetné. Érdemes megjegyezni, hogy az 1986-os csernobili baleset idején a balesetet szenvedett 4. reaktor működött, így az üzemanyagában nagy mennyiségben voltak rövid élettartamú, illékony radioaktív izotópok. A balesetet követően nagyon magas hőmérséklet – helyenként közel 6000 °C – alakult ki a sérült reaktorban, és több napig égett a reaktorban lévő grafit is, melynek hatására a kiszabadult aktivitás nagy légköri magasságokba jutott fel. Így volt lehetséges, hogy a szennyezés egy része Európa távolabbi helyeire is elkerült. Ma, húsz évvel a baleset után a 4. reaktorban uralkodó hőmérséklet gyakorlatilag azonos a környezeti hőmérséklettel, és a rövid felezési idejű, illékony izotópok is lebomlottak már. Az erőmű másik három blokkját is leállították azóta. Így olyan jellegű esemény, ami hatásait tekintve megközelítene az 1986-ost, ma már nem lehetséges Csernobilban.



3. ábra. A szarkofág makettje (fotó: Aszódi Attila). Középen a reaktor, rajta a hatalmas, ferdén álló reaktorfedél. Jól látható, hogy a mentési munkálatok során betöltött anyagok és a robbanásban keletkezett törmelékek hogyan töltik ki az egyes helyiségeket.

Az ukrán állam külföldi segítséget kért (elsősorban a legfejlettebb ipari államoktól), és egy erre a célra létrehozott pénzügyi alapba összegyűjtöttek annyi pénzt, amiből egy új, hermetikus védőépületet lehet építeni a meglévő fölé. Az új védőépület felépítéséhez szükséges műszaki tervek kidolgozása a hivatalos közlések szerint hamarosan megindulhat. Az új szarkofágot a mostani mellett tervezik felépíteni, és egy sínrendszeren tolnák a jelenlegi szarkofág fölé. Az új szarkofágot száz évre méretezik, hermetikusnak kell lennie, mert benne egy hatalmas híd-daru fog működni, melynek segítségével le akarják bontani a mostani szarkofág tetejét és oldalfalait, valamint az épületen belüli instabil falakat is, hogy hosszú távra stabilizálhassák a helyzetet. Ez a munka minden bizonnyal továbbra is a figyelem középpontjában fog maradni.

A csernobili expedíció célkitűzéseinek sikeres teljesítéséhez, valamint az itt is közölt eredmények eléréséhez minden résztvevő lelkes és szakértő munkájára szükség volt. Minden résztvevő (felsorolásukat lásd [4] 163. oldalon) segítségét ezúton is köszönöm.

Irodalom

1. *Csernobil öröksége: egészségügyi, környezeti és társadalmi-gazdasági hatások és Ajánlások Fejéroroszország, az Orosz Föderáció és Ukrajna kormánya részére* – Csernobil Fórum, Nemzetközi Atomenergia Ügynökség, Bécs, 2005. szeptember, IAEA/PI/A.87/05-28601; angolul az interneten: <http://www.iaea.org/Publications/Booklets/Chernobyl/chernobyl.pdf>
2. *A csernobili baleset környezeti hatásai és a következmények enyhítése: húsz év tapasztalata* – ENSZ Nemzetközi Csernobil Fórum „Környezet” szakértői csoport jelentése, 2005. augusztus; angolul az interneten: http://www.iaea.org/NewsCenter/Focus/Chernobyl/pdfs/EGE_Report.pdf
3. ASZÓDI A.: *Csernobil ma; Magyar tudományos expedíció Csernobilba* – 49. Országos Középiskolai Fizikatanári Ankét, Paks, 2006. április 1., interneten: <http://www.reak.bme.hu/aszodi/eloadasok.htm>
4. SZATMÁRY Z., ASZÓDI A.: *Csernobil / Tények, okok, biedelmek* – Typotex, Budapest, 2005. ISBN: 963 9548 68 5, (lásd még e számunk *Könyvespolc* rovatát – a szerk.)