

Farkas Csaba Bence¹

A vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris (CBRN-) balesetek és rendkívüli események közvetlen és közvetett, a környezetre, valamint az egészségügyre gyakorolt hatásai

Direct and Indirect Environmental and Health Care System Impact of Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Incidents

A katasztrófák világszerte emelkedő esetszámában állítják kihívás elé az általuk érintett régiókat, nemzeteket. A globalizációnak, a bővülő ipari-technológiai szektornak, valamint a sugárzó anyagok széles körű, nukleáris létesítményekben történő alkalmazását is felölelő felhasználásának köszönhetően az esetlegesen bekövetkező káresemények vonatkozásában veszélyes vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris ágensek is fontos szerephez juthatnak. Jelen tanulmány célja, hogy halálos áldozatokkal is járó, múltban lezajlott vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris katasztrófák példáján bemutassa ezek mind az élettelen, mind az élő környezetre gyakorolt károsító képességét, egyúttal feltárva és összegezve komplex hatásmechanizmusait.

Kulcsszavak: vegyi, biológiai, radiológiai, nukleáris incidens, ABVR, környezetbiztonság, halálos tömegszerencsétlenség

The worldwide increase in the case number of disasters is a serious challenge for the affected regions, nations. Because of globalisation, the expanding industrial-technological sector, and the wide-scale utilisation of radioactive substances, including in nuclear power plants, the possibility of chemical, biological, radiological and nuclear agents' involvement in these events is imminent. The goal of this study is

¹ Doktorandusz, Nemzeti Közszolgálati Egyetem Katonai Műszaki Doktori Iskola, e-mail: farkascsababence92@gmail.com

to explore and summarise, through real-life examples, the complex mechanisms of action of chemical, biological, radiological and nuclear disasters in connection with direct and indirect environmental impact.

Keywords: chemical, biological, radiological, nuclear incident, CBRN, environmental protection, mass fatality incident

1. Bevezetés

A folyamatok tervezhetőségének és a váratlan helyzetek „kalkulálhatóságának” elméleténél a rendszerszerű működés részeként kezelik a katasztrófákat, amelyek a ciklikusság elvét követve (esemény, válasz, újjáépítés, megelőzés, felkészülés) be is következnek. A katasztrófák felosztásánál az ember által okozott, illetve embert mint tényezőt magában foglaló katasztrófák csoportjába tartoznak a CBRN-anyagokhoz, kórokozókhoz vagy röviden, „ágensekhez” köthető események, tragédiák. Szerencsére ezek az események nem mindennaposak, ezért az eddig lejárott ilyen típusú katasztrófák, balesetek elemzése, tapasztalatainak közreadása nélkülözhetetlen a megelőzéshez és a felkészüléshez.

A SARS-CoV-2 vírus okozta pandémia – amely 2019 őszén, a kínai Vuhan városából indult – csak Magyarországon több mint 30 ezer halálos áldozatot követelt eddig. A járvány az egészségügyi rendszerekre a katasztrófákhoz hasonló terhelést jelent, sőt annál jóval hosszabb ideig tart, és súlyos gazdasági, lélektani károkat is okoz világszerte. Bár szakemberek évek óta figyelmeztetnek egy esetleges járványügyi krízishelyzet kialakulására, mégis az esemény bekövetkeztéig döntéshozói szinten relatíve kevés figyelmet szenteltek ezen eshetőségek megelőzésére, és az érintett managementek, intézetek felkészülésére, felkészítésére.

Sajnálatos módon ezen utóbbi tendencia általánosságban jellemző a katasztrófákkal kapcsolatban, hiszen napjainkban, bár egyre inkább a prevencióra tevődik a hangsúly, még mindig nem sikerült elérni, hogy a megelőzés, gyakorlatias előre gondolkodás legyen a domináns szemléletmód. Éppen emiatt fontos a már megtörtént események minél alaposabb feldolgozása, tudományos igényességű vizsgálata.

A katasztrófák sokszínű csoportján belül külön, kiemelt figyelmet érdemes szentelni azon eseményeknek, amelyek vegyi, biológiai, radiológiai vagy nukleáris veszélyes ágenseket is felvonultatnak. Ezen incidensekben mind humánegészségügyi értelemben, mind a környezet védelme szempontjából speciális óvintézkedésekre, eljárásrendekre van szükség.

Úgy ítélem meg, hogy ezek miatt kiemelt figyelmet érdemel az ezekkel kapcsolatos összefüggések, a vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris katasztrófák komplex egészségügyre, valamint környezetre gyakorolt hatásainak az összefoglalása.

2. Vegyi, biológiai, radiológiai és nukleáris katasztrófák fogalma

Az Európai Bizottság által kiadott szöveget így foglalja össze a CBRN-katasztrófa fogalmának jelentését: olyan vegyi, biológiai, radiológiai vagy nukleáris események, amelyekben a kiszabaduló veszélyes anyag baleset kapcsán vagy szándékosan kiengedve, disszemináció útján, illetve hatásai révén a társadalomban kárt okozhat.² Bár ez a definíció nem tesz lényeges különbséget veszélyes anyagokkal kapcsolatos incidensek (*hazardous material incident*) és CBRN-események között, a szakirodalom egy része az adott káresemény kiterjedtsége, valamint szándékos vagy balesetszerű létrejötte mentén mégis elkülöníti a két fogalmat.³ Ezen megközelítés alapján a CBRN-katasztrófák általában súlyosabb következményekkel járó események, amelyek kialakulásában direkt ártó szándékú érdekeket, illetve veszélyesebb ágensek jelenlétét kell feltételezni (például terroristacselekmény, tömegpusztító fegyver használata).

A megállapításból következik, hogy a klasszikus értelemben vett CBRN-ágensek listája is eltér azon esetektől, amelyekben „csupán” jogszabályi értelemben vett veszélyes anyagok reprezentáltak. Utóbbiakat széles körű nemzetközi, továbbá nemzeti szintű, harmonizált jogszabályi keretrendszer szabályozza, osztályozás, előállítás, szállítás, tárolás vonatkozásában.⁴ Előbbiek is természetesen szigorú monitorizálás, illetve több esetben például előállítást tiltó rendelkezések hatálya alá esnek. A legtöbb, magas esethalálozási rátával jellemezhető, illetve egyéb, a bevetési célhoz igazított specifikus hatásmechanizmusú vegyi anyag, valamint a hasonlóképpen potens kórokozók és toxinjaik vegyi, illetve biológiai fegyverként definiálhatók, ismert ilyen jellegű felhasználásuk.⁵ Sugárzó anyagok esetében a némenklatúrai elkülönítés alapja a radioaktív tulajdonság mellett nukleáris létesítményekben, illetve nukleáris fegyverekben történő felhasználási lehetőség (nukleáris ágens), valamint az ettől eltérő célú alkalmazási (például egészségügyi) terület (radiológiai ágens).

3. CBRN-események környezetre gyakorolt hatása

A környezet definíció szerint azon élő és élettelen, dinamikusan összefüggő komponensek összessége, amelyben az emberek létezése, cselekedetei megvalósulnak az őket

² European Commission, Directorate-General Home Affairs, Directorate A: Internal security, Unit A.1: Crisis management – Terrorism: CBRN Glossary.

³ Disaster Information Management Research Center: CBRNE: Health Information Resources. Lásd: www.nlm.nih.gov/dis_courses/cbrne/index.html

⁴ Az Európai Parlament és a Tanács 1272/2008/EK Rendelete (2008. december 16.) az anyagok és keverékek osztályozásáról, címkézéséről és csomagolásáról, a 67/548/EKG és az 1999/45/EK irányelv módosításáról és hatályon kívül helyezéséről, valamint az 1907/2006/EK rendelet módosításáról (EGT-vonatkozású szöveg); Az Európai Parlament és a Tanács 1907/2006/EK Rendelete (2006. december 18.) a vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról (REACH), az Európai Vegyianyag-ügynökség létrehozásáról, az 1999/45/EK irányelv módosításáról, valamint a 793/93/EKG tanácsi rendelet, az 1488/94/EK bizottsági rendelet, a 76/769/EKG tanácsi irányelv, a 91/155/EKG, a 93/67/EKG, a 93/105/EK és a 2000/21/EK bizottsági irányelv hatályon kívül helyezéséről.

⁵ Steven A. Bland: Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Casualty Management Principles. In James M. Ryan et al. (szerk.): *Conflict and Catastrophe Medicine: A Practical Guide*. London, Springer, 2014. 747–770.

körülvevő világban.⁶ Legfontosabb alkotóelemei a föld, víz, levegő, az élővilág, a táj és a települési környezet. A környezetbiztonság mint alapfogalom

„a környezeti elemek védeltségi állapotának mértékét fejezi ki az emberi tevékenységek, az ember által működtetett műszaki, technológiai folyamatokkal, rendszerekkel szemben, ugyanakkor azt az állapotot jelképezi, amikor a természet, a környezet sem közvetlenül, sem pedig az emberi tevékenységeken keresztül nem veszélyezteti sem az embert, sem pedig annak természetes és mesterséges környezetét”.⁷

Utóbbi meghatározásból logikusan következik, hogy CBRN-eseményben a környezetbe kerülő vagy onnan felbukkanó veszélyes ágens miatt a környezetbiztonság csökken, akár természetes, akár emberi tevékenység által előidézett incidensről van szó. Mivel a környezet önmagában is egymással szoros összefüggésben lévő elemek rendszere, károsodása esetén nem csupán egyetlen érintett szegmensen kell számolnunk, hanem komplex formában szükséges értékelni az adott esemény miatt létrejövő környezeti interakciókat.

3.1. Élettelen környezet

Értelemszerűen a talajt, különböző víz alapú közegeket (legyenek akár édesvízi, akár sós vizű tengeri, óceáni terek), illetve a levegőt mint az élethez nélkülözhetetlen, azonban önmagukban élettelen alkotóelemeket szennyező veszélyes anyagok, kórokozók elsősorban az élővilágra gyakorolt hatásuk révén fejtik ki romboló hatásukat. Amennyiben ember-, illetve élővilág-központúan közelítjük meg a környezetre gyakorolt hatásmechanizmusokat, láthatjuk, hogy az élettelen környezet CBRN-ágensekkel történő kontaminációja kiemelt fontosságú. Ez egyfelől abból adódik, hogy a veszélyes anyagok kémiai, fizikai tulajdonságaiktól függően hosszabb-rövidebb ideig változatlan formában – vagy módosult, de továbbra is toxikus derivátumként – perzisztálhatnak a litoszférában, hidroszférában és atmoszférában, ami lehetőséget teremt az adott közeggel kontaktusba kerülő élővilág képviselőivel történő interakcióra. A megállapítás a kórokozókra is igaz, ugyanis a veszélyes biológiai ágensek jelentős hányada szintén képes önmagában, gazdaszervezet nélkül fennmaradni a talajban, vízben, vagy különböző élettelen felületeken. Jó példa erre a *Bacillus anthracis*, amely spóra formában a talajba kerülve akár évekig, egyes kutatások szerint évszázadokig is fertőzőképes maradhat.⁸ A jelenleg is zajló Covid-19-pandémia kapcsán szintén kimutatták, hogy a vírus napokig kontagiózus formában jelen lehet, például fémek felszínén.⁹ Jól jellemzi továbbá a kórokozók és az élettelen környezet összetett kapcsolatát azon tény, hogy

⁶ Halász László – Földi László: *Környezetbiztonság*. Budapest, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Hadtudományi és Honvédtisztviselőképző Kar, 2014.

⁷ Halász-Földi (2014): i. m. 16.

⁸ Ernst-Jürgen Finke et al.: Review: The Risk of Contracting Anthrax from Spore-Contaminated Soil – a Military Medical Perspective. *European Journal of Microbiology & Immunology*, 10. 2020. 2. 29–63.

⁹ Montse Marqués – José L. Domingo: Contamination of Inert Surfaces by SARS-CoV-2: Persistence, Stability and Infectivity. A Review. *Environmental Research*, 193. (2021). 110559.

az influenzavírus mutációinak megjelenését a hőmérséklet, páratartalom is képes befolyásolni. További bizonyíték a komplex környezeti interakciókra a bioakkumuláció jelensége. Ennek keretében a talajt, vízi közeget, levegőt szennyező anyagok adott élőlénybe jutása megakadályozza a matéria természetes fizikai, kémiai vagy biokémiai degradációját.¹⁰ Az élőlény szervezetében felhalmozódó, nehezen ürülő vegyületek az adott egyed károsodásán túl további veszélyt jelentenek a tápláléklánc következő szintjein elhelyezkedő organizmusokra is.

Figyelemre érdemes azon megfigyelés, amely szerint egyes katasztrófák közvetten, talán kissé paradox módon a környezetbiztonságot javítani képesek. A sok áldozattal járó, nagy médiafigyelemben részesülő káreseményeket követően mind a döntéshozók, mind a tudományos közösség tagjai élenkebb figyelmet fordítanak az esetleg jövőben bekövetkező, hasonló jellegű eseményekre való felkészülés vonatkozásában. A fokozott figyelemnek köszönhetően innovatív megelőző intézkedések, incidenskezelési eljárások, szigorúbb és körültekintőbb, valamint jobban betartott biztonsági előírások láthatnak napvilágot. Az emberi tevékenységhez köthető környezetszennyezésnek például járványügyi érdekből meghozott korlátozások szabhatnak gátat.¹¹ Ugyanakkor ennek kapcsán arról sem szabad megfeledkezni, hogy a mérlegnek mindig két oldala van: amely a jelenleg zajló pandémia a levegő szennyezettségét tekintve bár pozitív eredményekkel járt, azonban az egyéni védőfelszerelések aktívabb használatával a műanyagszennyezés növekedését vonta maga után.¹²

3.2. Élővilág

Az élővilágot mint az emberiséget körülvevő környezeti elemet szintén összetett módon képes befolyásolni egy CBRN-katasztrófa. Egyfelől a sugárzó anyagok, mérgező vegyületek vagy kórokozók az adott élőlényt, legyen az mikroba, gomba, növény vagy állat, direkt módon lehetnek képesek károsítani. Fontos azonban megjegyezni, hogy a szóban forgó ágens patomechanizmusától, a megbetegített egyed individuális érzékenységtől, valamint a szervezetének ellenállóképességétől függően faj és egyed szinten is nagy különbségek jelentkezhetnek a megbetegítő vagy halált okozó képességben.

Radioaktív materiák esetében az élő szervezetre gyakorolt hatást a sugárzás típusa (alfa, béta, gamma, neutron), a sugárzó anyag tömege, távolsága, az élőlény és a sugárforrás közt elhelyezkedő, a sugárzást elnyelni képes anyagok minősége és mennyisége befolyásolja, továbbá, hogy külső, vagy magasabb rendű élőlények esetében lehetséges belső kontaminációról van-e szó.¹³ A sugárzásnak kitett élőlény

¹⁰ B. Streit: Bioaccumulation Processes in Ecosystems. *Experientia*, 48. (1992), 10. 955–970.

¹¹ Mohamed K. Mostafa – Gamil Gamal – A. Wafiq: The Impact of Covid 19 on Air Pollution Levels and Other Environmental Indicators – A Case Study of Egypt. *Journal of Environmental Management*, 277. (2021). 111496; Ritwik Nigam et al.: Positive Effects of Covid-19 Lockdown on Air Quality of Industrial Cities (Ankleshwar and Vapi) of Western India. *Scientific Reports*, 11. (2021). 4285.

¹² Justine Ammendolia et al: An Emerging Source of Plastic Pollution: Environmental Presence of Plastic Personal Protective Equipment (Ppe) Debris Related to Covid-19 in a Metropolitan City. *Environmental Pollution*, 269. (2021). 116160.

¹³ Jerrold T. Bushberg: Radiation Exposure and Contamination. *MSD Manuals*, 2020. október.

sejtjei, sejtalkotói egyedi érzékenységet meghatározó attribútumaik (például sejtmag, örökítőanyag kvalitásai) mellett a noxára saját „repair” mechanizmusokkal reagálnak, amelyek kapacitása és effektivitása nagyban befolyásolja ellenállóképességüket. A fehérjékben, örökítőanyagban keletkezett hibák kijavítása időigényes, ami miatt a sugárzás időtartama is fontos szerephez jut a megbetegítő képességben.

Vegyí anyagok kapcsán az adott ágens kémiai összetétele, szerkezete meghatározza stabilitását, az élő szervezetekbe történő bejutásának lehetőségeit, valamint ezeken belül toxicitását. A különböző vegyületek direkt módon károsíthatják a sejteket alkotó struktúrákat (például örökítőanyag, sejtmembrán), tönkretesznek vagy működésükben zavarhatják az anyagcsere-folyamatokban szerepet játszó molekulákat (például enzimeket). Rövid és hosszú távú toxicitásuk ebből fakadóan dózisuk és hatásmechanizmusuk mellett az érintett organizmus alternatív enzimműködéseitől, *repair* képességeitől, illetve a veszélyes ágens vonatkozásában rendelkezésre álló eliminációs lehetőségeitől fog függeni. Humánegészségügyi szempontból kiemelt továbbá annak jelentősége, hogy a vegyi anyag hatását felfüggesztő, semlegesítő antidotum rendelkezésre áll-e.

A különböző kórokozók általában fajspecifikus formában képesek patogén szerepüket betölteni. Számtalan esetben beszélhetünk a patogének kapcsán természetes rezervoár szervezetekről, amelyekben akár betegség okozása nélkül képes túlélni, reprodukálódni az adott mikroba. Ennek jelentősége egyfelől abban rejlik, hogy a kórokozó kontrollálása például járvány esetén a vadállatállomány vagy gazdasági állatállomány lehetséges gazdaszervezeteinek szélesebb spektruma esetén nehezítetté válik. Az emberiség történelmének egyik legjelentősebb egészségügyi vívmánya, a feketehimlő természetből történő eradikációja, a hatékony oltási program mellett, a vírus emberen kívüli természetes rezervoárjainak hiányán alapult. A gazdaszervezetek másik fontos aspektusát az evolúciós jellegű mutációk megjelenésének lehetősége adja, ami a patogén túlélő- és alkalmazkodóképességének növekedésében manifesztálódhat. A vírusok, baktériumok, gombák, paraziták a megfertőzött élőlényt saját anyagcsere-folyamataikkal, toxinjaikkal direkt, patogénmediált módon, illetve a fertőzésre adott immunreakció kapcsán indirekt, immunmediált formában is destruálhatják. Humán-, illetve állategészségügyi szempontból itt is kiemelt kérdés, hogy specifikus kuratív terápiás lehetőség (például antibiotikum) vagy hatékony prevenció eljárás (például védőoltás) rendelkezésre áll-e az adott kórokozóval szemben.

CBRN-jellegű káreseményben az adott incidens kontrollálására tett emberi erőfeszítések további, rövid és hosszabb távú környezetkárosítást valósíthatnak meg az élővilág vonatkozásában. Erre példa a veszélyes anyaggal vagy kórokozóval potenciálisan interakcióba lépett növények, állatok szisztematikus állománycsökkentése, irtása. Célja az adott vegyi, illetve radioaktív ágens fizikális, térbeni terjedésének megakadályozása, biológiai ágens esetén a rezervoár állomány terminálásával a zoonózis (állatról emberre terjedés), illetve reverz-zoonózis (emberről állatra terjedés) esélyének csökkentése. Ilyen beavatkozás valósult meg a koronavírus-járvány kapcsán Dániában, amelynek keretében a gazdasági célból, prémjükért tartott, teljes nyércállományt

terminálták.¹⁴ A lehetséges hordozók, gazdaszervezetek irtásának mértéke azonban mind etikai, mind gazdasági kérdéseket felvet, továbbá specifikus, vadon élő fajok kiirtásával felboríthatja egy adott régió ökológiai egyensúlyát.

4. Jelentősebb, következtetések levonására alkalmas katasztrófák

4.1. Bhopali katasztrófa

1984. december 2-áról 3-ára virradóra, a megközelítőleg 800 ezer fős lakosságú indiai Bhopal városa mellett az emberiség eddigi történetének egyik legsúlyosabb vegyi, ipari katasztrófája zajlott le.¹⁵ A Union Carbide India Limited (UCIL) vállalat peszticideket gyártó üzemében bekövetkezett szivárgás során megközelítőleg 40 t gáz halmazállapotú metil-izocianát (MIC) került a környezetbe. A baleset körülményeit a mai napig nem tisztázták teljesen, azonban feltételezhető, hogy a részben egyáltalán nem működő, részben nem megfelelően üzemeltetett biztosító rendszerek, valamint a hanyagul betartott biztonsági előírások jelentősen hozzájárultak a tragédia kialakulásához.¹⁶ A baleset bekövetkezése után néhány órával emlősök és madarak tetemei hevertek az utcákon; a különböző becslések szerint 2500–20 000 ember vesztette életét, többségük a szivárgást követő 24–48 órán belül, az áldozatok kisebb hányada a mérgezés hosszú távú szövődményeinek következtében, valamint legalább 200 ezer ember került kisebb nagyobb dózisban kontaktusba a mérgező anyaggal.¹⁷

A metil-izocianát, amely a fő toxikus vegyület volt a bhopali tragédia kialakításában, az izocianát vegyületek családjába tartozó, nagy reaktivitású, szobahőmérsékleten színtelen folyadék. Amennyiben jelentősebb mennyiségű vízzel találkozik, heves exoterm reakció játszódik le, aminek fontos szerepe volt a katasztrófa lefolyásában, hiszen a nagy nyomással tartályából kiszabaduló metil-izocianát gáz halmazállapotban szóródhatott a környezetbe.

A vegyület pontos toxikológiai tulajdonságairól a katasztrófa bekövetkezése előtt rendkívül limitált adatok álltak csupán rendelkezésre. A bhopali incidens első napjaiban is sokan úgy vélték, valójában hidrogén-cianid (HCN) felelős a mérgezésekért.¹⁸ A halálos áldozatok körboncolása során valóban találtak hidrogén-cianid-mérgezésre jellegzetes elváltozásokat, azonban a tünetek megjelenéséig eltelt hosszabb időtartam, a mérgezés lefolyása, valamint a HCN adekvát antidótumaként ismert nátrium-tiosulfát inefektív terápiás hatása végül a metil-izocianát irányába terelte patomechanizmus szintjén is a kutatók figyelmét.¹⁹ A vegyület állatkísérletes körülmények

¹⁴ World Health Organisation: *SARS-CoV-2 Mink-Associated Variant Strain – Denmark*. 2020. december 3.

¹⁵ Daya R. Varma – Shree Mulay: Methyl Isocyanate: The Bhopal Gas. In Ramesh C. Gupta (szerk.): *Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents (Second Edition)*. Boston, Academic Press, 2015. 287–299.

¹⁶ Varma–Mulay (2015): i. m.

¹⁷ Varma–Mulay (2015): i. m.; Edward Broughton: The Bhopal Disaster and Its Aftermath: A Review. *Environmental Health*, 4. (2005), 6. 1–6.; S. Sriramachari: The Bhopal Gas Tragedy: An Environmental Disaster. *Current Science*, 86. (2004), 7. 905–920.; Roli Varma – Daya Varma: The Bhopal Disaster of 1984. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25. (2005), 1. 37–45.

¹⁸ Varma–Mulay (2015): i. m.

¹⁹ Varma–Mulay (2015): i. m.; Sriramachari (2004): i. m.

között végzett vizsgálatainak eredményei jól korreláltak a bhopali incidens kapcsán az emberekben megfigyelt tünetekkel. A halálhoz vezető patomechanizmus elsősorban a légzőszervek érintettségével valósult meg: heveny légcső-, hörgőgyulladás, a lég-hólyagokban tüdővizényő, bevézések, hámszejtréteg-leválás, hyalin-membrán-képződés dominált. Az incidens után hónapokkal, évekkel bekövetkezett halálesetek boncolási eredményei szintén késői diffúz alveoláris károsodás, tüdőhegesedés jeleit mutatták.²⁰ Utóbbi elváltozások érdekes módon a jelenleg zajló SARS-CoV-2-pandémia kapcsán, Covid-19-betegség vonatkozásában is relatíve jellegzetes eltérések. A metil-izocianát a növényvilágot sem kímélte, fajspecifikus módon idézett elő szabad szemmel is látható (például levelek elvesztése, nekrozis, megállt növekedés), illetve genetikai szinten észlelhető elváltozásokat.²¹

4.2. 2009-es H1N1 pandémia

A biológiai ágensekhez köthető események abban az értelemben különleges helyet foglalnak el a CBRN-katasztrófák csoportjában, hogy nem csupán humán civilizációs tevékenységhez köthetően jöhetnek létre, hanem természetes úton, az emberi tényezőt mintegy „passzívan” magában foglalóan is kialakulhatnak, ahol az emberek csak elszenvedői, de nem közvetlen okozói a folyamatoknak. Természetesen emberi ténykedéshez köthetően is megjelenhetnek járványok, illetve balesetek, elég csak a II. világháború időszakában, Mandzsúriában állomásozó japán 731-es alakulat kórokozókkal folytatott kísérleteire, vagy az 1979-ben Szverdlovszkban bekövetkezett, anthraxfertőzés miatt civil áldozatokkal járó balesetre gondolni. Az alábbi alfejezetben egy jól dokumentált, természetes járványt mutatok be, amely a 21. század első világjárványa volt, 2009–2010 között zajlott, több mint 214 országot, tengerentúli területet és közösséget érintően.²² A pandémia, amely a kutatási adatok alapján nagy valószínűséggel Mexikóból indult, az 1918-as spanyolnáthához hasonlóan H1N1 altípusú influenza A vírushoz köthető.²³ A járvány kapcsán 18 449 laboratóriumi vizsgálattal megerősített halálesetet jelentettek, az áldozatok valós száma azonban a különböző becslések szerint 151 700–575 400 fő között lehetett. A szezonálisan megjelenő influenzajárványoktól eltérően a 2009-es pandémiában a 24 évnél fiatalabb felnőttek, gyermekek voltak a leginkább veszélyeztetettek.²⁴

A világjárvány létrehozásához szükséges tulajdonságokkal rendelkező influenza A vírus az Orthomyxoviridae családba tartozó, RNS-örökítőanyaggal jellemezhető kórokozó.²⁵ Felszíni glikoproteinjeinek tulajdonságai alapján (hemagglutinin, neuraminidáz)

²⁰ Sriramachari (2004): i. m.; B. Nemery et al.: Effects of Methyl Isocyanate on the Respiratory Tract of Rats. *British Journal of Industrial Medicine*, 42. (1985), 12. 799–805.

²¹ Girish Kumar – Daya Shankar Tripathi – Sisir Kumar Roy: Cytological Effects on Plants by an Accidental Leakage of Methylisocyanate (Mic) Gas. *Environmental and Experimental Botany*, 29. (1989), 2. 261–271.

²² World Health Organisation: *Pandemic (H1N1) 2009 – update 112*. 2010. augusztus 6.

²³ Nikole Scalera – Sherif Mossad: The First Pandemic of the 21st Century: A Review of the 2009 Pandemic Variant Influenza A (H1N1) Virus. *Postgraduate Medicine*, 121. (2009), 5. 43–47.

²⁴ Scalera–Mossad (2009): i. m.

²⁵ Patrick R. Saunders-Hastings – Daniel Krewski: Reviewing the History of Pandemic Influenza: Understanding Patterns of Emergence and Transmission. *Pathogens*, 5. (2016), 4. 66.

több altípusba sorolható, amelyek közül a 2009-es pandémiát egy H1N1 variáns okozta. Az influenzavírusok fertőzőképes, szezonális formájú megjelenését az úgynevezett antigénsodródás (*antigenic drift*) jelensége biztosítja.²⁶ Ennek keretében a vírus felszíni glikoproteinjeit kódoló örökítőanyag replikáció közben kijavítatlan mutációkat szenved, emiatt a kórokozó antigén tulajdonsága módosul, a megfertőzött szervezet immunrendszere elől valamelyest elrejtőzni képessé válik. Fontos azonban leszögezni, hogy az emberi szervezet immunválasza influenza okozta vírusfertőzéssel szemben rendkívül összetett, ebből fakadóan az antigénsodródás által létrehozott eltérések nem okoznak teljes körű védtelenséget az infektált szervezet vonatkozásában.²⁷ A ritkábban manifesztálódó antigéncuszaszlás (*antigenic shift*) ezzel szemben lényegesen nagyobb változásokat, tulajdonképpen új, harmadik vírustörzset hoz létre egy olyan gazdaszervezetben, amelyet két különböző másik vírustörzs egy időben fertőzött meg, lehetőséget teremtve a kórokozók közti géncserére, reasszortációra.²⁸ A 2009-es pandémiát egy humán, sertés és eurázsiai madár virális törzsekre jellemző génállományt is involváló, tripla genetikai reasszortáció manifesztálta.²⁹

Az influenzavírus okozta tünetek emberben általában enyhék, döntően láz, száraz köhögés, orrfolyás, fejfájás, gyengeség, fáradékonyság, izomfájdalom jelentkezik. Az esetek kisebb hányadában, fennálló alapbetegségeket súlyosbító szövődmények, bakteriális felülfertőződés, tüdőgyulladás alakulhat ki. Néhány betegben akár akut légzési distressz szindróma, diffúz alveoláris károsodás, illetve szepszis léphet fel, amelyek megjelenése esetén magas esethalálzási rátára lehet számítani.

A különböző influenzavariánsok az emlősök (például sertés, macska, kutya) és madarak (például házityúk, kacska, pulyka) szervezetében is képesek lehetnek fertőzés létrehozására. Ezen esetek egy részében mindössze tünetmentes infekció lép fel, azonban enyhe, közepsúlyos vagy akár súlyos tünetek is megjelenhetnek, amelyek az állat halálához vezetnek. A kórokozó jelentette direkt károsodás mellett az állatvilág tagjait a humánegészségügyi érdekekből végzett, járványkontroll-intézkedésként végrehajtott szisztematikus leölés is fenyegetheti: a H1N1 pandémia kapcsán Egyiptomban 300 ezer sertést termináltak, félve a járvány propagációjától.³⁰

Az influenzajárványok kialakulásában az élettelen környezet elemei is fontos szerepet játszanak. A cseppes formában, akár aeroszolként levegőbe, vízbe vagy valamely felületre kerülő kórokozó túlélőképessége nagyban függ a hőmérséklettől, a közeg pH-értékétől, sótartalmától, a páratartalomtól, napsugárzástól.³¹

²⁶ Saunders-Hastings – Krewski (2016): i. m.

²⁷ Florian Krammer: The Human Antibody Response to Influenza A Virus Infection and Vaccination. *Nature Reviews Immunology*, 19. (2019). 383–397.

²⁸ Saunders-Hastings – Krewski (2016): i. m.

²⁹ Scalera–Mossad (2009): i. m.

³⁰ Julia Keenlside: Pandemic Influenza A H1N1 in Swine and Other Animals. In Jürgen A. Richt – Richard J. Webby (szerk.): *Swine Influenza. Current Topics in Microbiology and Immunology*. Berlin–Heidelberg, Springer, 2012. 259–271.

³¹ Rebecca Poulson et al.: Environmental Stability of Swine and Human Pandemic Influenza Viruses in Water under Variable Conditions of Temperature, Salinity, and pH. *Applied and Environmental Microbiology*, 82. (2016), 13. 3721–3726.; Harini Sooryanarain – Subbiah Elankumaran: Environmental Role in Influenza Virus Outbreaks. *Annual Review of Animal Biosciences*, 3. (2015), 1. 347–373.

4.3. Goiâniai baleset

1987 szeptemberében, a braziliai Goiânia városában, egy elhagyatott klinikán kezdődött a civilizáció eddig ismert legsúlyosabb radiológiai incidense.³² Az épületben talált radioterápiás eszköz ¹³⁷Cs izotópját tartalmazó fémalkatrészt két férfi eltávolította, fémhulladékként történő értékesítés céljából. Szétszerelés közben a radionuklidot védő fémburkolaton ejtett lyukon át a benne található cézium-klorid só világító kék színétől vezérelve a materiát eltávolították, majd a jelenségtől megbabonázva több család tagjának eladták a rizszem méretű radioaktív anyagdarabokat.³³ Az incidensben összesen 250 fő szenvedett külső vagy belső kontaminációt, 49 személy kórházi ellátásra szorult, közülük 28 fő súlyos tünetekkel; a katasztrófa négy halálos áldozatot követelt.³⁴

A balesetben szerepet játszó radioaktív anyag a 137-es tömegszámú cézium volt. Ezen izotóp valamivel több mint 30 év felezési idővel jellemezhető, javarészt béta-sugárzás produkálása mellett bomlik, azonban átmeneti bomlásterméke, a bárium-137m erős gamma-sugárzó, aminek köszönhetően a ¹³⁷Cs mindkét sugárzástípussal képes károsítani környezetét. Emberi szervezetben megközelítőleg 110 nap a biológiai felezési ideje, ami berlini kék tartalmú gyógyszerrel 30 napra csökkenthető.³⁵

Az elhunytak post mortem vizsgálata során heveny sugárbetegséggel összefüggésbe hozható vérzéses, illetve septicus szövődményekre derült fény.³⁶ Szintén determinisztikus sugárhatás jelenségeként többeknél bőrtünetek, vérképzőszervi eltérések, hányás, hasmenés jelentkezett. Késői egészségügyi szövődményként felmerült rosszindulatú emlődaganatok incidenciájának emelkedése, azonban e jelenséget nem sikerült egyértelműen összefüggésbe hozni a balesettel.³⁷

A katasztrófa környezetre gyakorolt hatásainak enyhítése érdekében kiterjedt, 550 fő részvételével végrehajtott dekontaminációs műveletre került sor.³⁸ A munkálatok sokszor mostoha időjárási körülmények között, heves esőzések közepette valósultak meg. A műveletek keretében 85 szennyezett lakóházat, 45 közterületi egységet tisztítottak meg. Több helyütt a talajt is el kellett távolítani, megakadályozandó a radionuklidok mélyebb rétegekbe, talajvízbe szivárgását, valamint állatokkal, emberekkel történő interakcióját. A dekontaminációs munkálatok javarészt 1987 karácsonyára befejeződtek.

³² R. M. Anjos et al.: Radioactivity Teaching: Environmental Consequences of the Radiological Accident in Goiânia (Brazil). *American Journal of Physics*, 69. (2001). 377–381.

³³ International Atomic Energy Agency: *The Radiological Accident in Goiânia*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1988.

³⁴ Anjos et al. (2001): i. m.

³⁵ Prussian Blue. Lásd: www.cdc.gov/nceh/radiation/emergencies/prussianblue.htm

³⁶ International Atomic Energy Agency (1988): i. m.

³⁷ Rosemar Macedo Sousa Rahal et al.: Trends in the Incidence of Breast Cancer Following the Radiological Accident in Goiânia: A 25-Year Analysis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 20. (2019), 12. 3811–3816.; Leonardo Bastos Lage et al.: Evaluation of Ionizing Radiation as a Risk Factor for the Incidence of Breast Cancer: Long-Term Analysis after the Cesium-137 Accident in Goiânia, Brazil. An Ecological Study. *Sao Paulo Medical Journal*, 138. (2020), 4. 297–304.

³⁸ International Atomic Energy Agency (1988): i. m.

4.4. Csernobili atomerőmű-baleset

1986. április 26-án a csernobili atomerőmű 4-es számú reaktorában, egy kísérletet követően robbanás következett be. A baleset, amelynek létrejöttében emberi mulasztás mellett a reaktor tervezési sajátosságai is szerepet játszhattak, a legsúlyosabb eddigi, nukleáris erőműben bekövetkezett tragédiává vált.³⁹ A robbanás okozta traumás sérülésekben ketten vesztették életüket, a megnyíló reaktormagból nagy mennyiségben levegőbe kerülő radioaktív anyagok kilométerekig szennyezték be a környezetet.⁴⁰ A következő tíz napban a reaktor mintegy 30 kilométeres körzetét kellett evakuálni, amit később szükségessé vált tovább bővíteni, összesen 350 ezer ember kényszerült elhagyni lakhelyét.⁴¹ A helyszínre érkező tűzoltók, illetve a katasztrófát kontrollálni próbáló erőművi dolgozók közül további 28 fő vesztette életét a következő hónapokban heveny sugárbetegség következtében.⁴² A hosszú távú humánegészségügyi következményekről megoszlanak a vélemények; összességében megközelítőleg 4000 haláleset hozható közvetlenül összefüggésbe az incidenssel.⁴³

A csernobili atomerőmű-baleset során többféle radioaktív anyag szóródott szét a környezetben. A szennyezés szempontjából legjelentősebbek volatilis, rövid, illetve közepes felezési idejű radionuklidok voltak, ezek közül a béta- és gamma-sugárzó ¹³⁷Cs, ¹³¹I emelendő ki.⁴⁴ Hosszabb felezési idejű nukleáris üzemanyag (például plutónium) lényegesen kisebb mennyiségben került csak a környezetbe. A reaktor felrobbanását követő megközelítőleg tíz napban szóródott szét a legtöbb radioaktív matéria, amelyek egy része kisebb nagyobb darabokban az erőmű közvetlen környezetét szennyezte be, jelentős hányaduk azonban a levegőbe kerülve és a széljárásnak megfelelően utazva, később eső formájában hullott vissza a földre. A kontamináció szempontjából legsúlyosabban érintett területek a korábbi Szovjetunió három tagállamában, Ukrajnában, Fehéroroszországban és Oroszországban lehetők fel, azonban a katasztrófa során levegőbe jutott radionuklidok jelenlétét az egész északi féltekén mérni lehetett.⁴⁵

Humánegészségügyi vonatkozásban érdemes a rövid, illetve hosszú távú egészségkárosodásokat külön tárgyalni. Rövid távon az elnyelt, küszöbértéket meghaladó dózis alapján, determinisztikus sugárhatás révén kialakult heveny sugárbetegség volt a legfontosabb klinikai elváltozás. Ebben a különböző sejtek, sugárérzékenységüknek megfelelő pusztulása, illetve a szövetelhalás következtében fellépő szövődények, szerelégtségek dominálnak. Általánosságban elmondható, hogy a magas mitotikus aktivitású szövetek (például nyálkahártya, bőr, vérképző rendszer) kevésbé állnak ellen sugárbehatásnak; ebből fakadóan a tünetek is e szenzitív szövetek, szervek

³⁹ Georg Steinhauser – Alexander Brandl – Thomas E. Johnson: Comparison of the Chernobyl and Fukushima Nuclear Accidents: A Review of the Environmental Impacts. *Science of The Total Environment*, 470–471. (2014). 800–817.

⁴⁰ N. A. Beresford et al.: Thirty Years after the Chernobyl Accident: What Lessons Have We Learnt? *Journal of Environmental Radioactivity*, 157. (2016). 77–89.; UNSCEAR 2008: *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York, United Nations, 2010.

⁴¹ Beresford et al. (2016): i. m.

⁴² UNSCEAR 2008 (2010): i. m.

⁴³ World Health Organisation: *Chernobyl: The True Scale of the Accident*. 2005. szeptember 5.

⁴⁴ Beresford et al. (2016): i. m.; UNSCEAR 2008 (2010): i. m.

⁴⁵ UNSCEAR 2008 (2010): i. m.

vonatkozásában a legkifejezettebbek.⁴⁶ Példaként említhető a vérképző rendszer károsodása esetén fellépő fehérvérsejthiány, vérzékenység, továbbá a gyengeség, fáradékonyság, hányás, hasmenés, hajhullás.⁴⁷

A hosszú távú, sztochasztikus sugárhatások nem köthetők küszöbértékhez, azonban az elnyelt dózis mértéke befolyásolja a betegségek megjelenési valószínűségét. Idesorolhatók a repair mechanizmusok által ki nem javított genetikai mutációk következtében megjelenő daganatos vagy egyéb öröklődő elváltozások. A ¹³¹I radionuklid kapcsán, amely a szennyezett talajról, növényzetről tehenek szervezetébe jutva a tehéntejben koncentrált, majd került emberek szervezetébe, bebizonyosodott, hogy nagymértékben hozzájárult a csernobili katasztrófa után megfigyelt, emelkedett esetszámban megjelenő rosszindulatú pajzsmirigydaganatok kialakulásához.⁴⁸ Bár e daganatok többsége időben diagnosztizálva 90% feletti gyógyulási rátával volt jellemezhető, mintázatukban, klinikai viselkedésükben mégis eltértek a nem sugárhatáshoz köthető esetektől.⁴⁹

Az állatokat, növényeket ért radioaktivitás 80%-a a katasztrófa első három hónapjában zajlott le, 95%-ban béta-sugárzás mediált formában.⁵⁰ Az állatvilágot mind a szárazföldi, mind vízi élőlények esetén érintette az incidens. A különböző állatfajok specifikus szenzitivitásuk, valamint az elnyelt dózis függvényében károsodtak; leginkább az emlősök, madarak, halak reagáltak érzékenyen.⁵¹ A heveny sugárbetegség mellett a krónikus, emelkedett háttérsugárzás következtében egyes fajok esetében termékenységszökkenést figyeltek meg. A katasztrófa után a haszon-, illetve háziállatok egy részét a lakossággal együtt evakuálták, azonban nagy részüket ezt követően is, hasonlóan a hátrahagyott állományhoz, terminálták.⁵² A növények közül a magasabb rendű, fás szárú növények bizonyultak a legszenzitívebbnek. A reaktorhoz közel elhelyezkedő területeken a nagy mennyiségben kiszabaduló volatilis radionuklidok jellegzetes pusztítást hoztak létre a környező fenyőerdőben, amelyben az elhalt, vörösesbarna színt öltő fák után a Vörös-erdő nevet kapta a terület.⁵³ A rövid félélet-idővel jellemezhető radionuklidok által kibocsátott sugárzás csökkenésével, valamint az emberi civilizáció távozásával a természet fokozatosan visszahódította a területet; a sugárhatás szempontjából legérzékenyebbnek tekintett emlősök és madarak populációi is egyre növekvő számban képviseltetik magukat a zónában.⁵⁴

Az élettelen környezet vonatkozásában elmondható, hogy a katasztrófa kezdetén a legsúlyosabb szennyezést a rövid, mindössze nyolcnapos felezési idővel jellemezhető ¹³¹I alakította ki, amelyről az évek alatt a hangsúly a 30 év felezési idővel bíró ¹³⁷Cs felé tolódott. A robbanást követően az élettelen környezet mindhárom fő komponense

⁴⁶ R. J. Michael Fry: Deterministic Effects. *Health Physics*, 80. (2001), 4. 338–343.

⁴⁷ UNSCEAR 2008 (2010): i. m.

⁴⁸ UNSCEAR 2008 (2010): i. m.

⁴⁹ V. A. LiVolsi et al.: The Chernobyl Thyroid Cancer Experience: Pathology. *Clinical Oncology*, 23. (2011), 4. 261–267.

⁵⁰ International Atomic Energy Agency: *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experiences*. Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2006.

⁵¹ International Atomic Energy Agency (2006): i. m.

⁵² International Atomic Energy Agency (2006): i. m.

⁵³ Steinhäuser–Brandl–Johnson (2014): i. m.

⁵⁴ International Atomic Energy Agency (2006): i. m.

(litoszféra, hidroszféra, atmoszféra) kontaminálódott a reaktor közelében, valamint az atmoszférába került sugárzó anyagok több száz, illetve több ezer kilométeres távolságba is eljuthattak, mérhető, kimutatható sugárzást generálva. A talajszennyezés kapcsán a mezőgazdasági, élelmezési megfontolások mentén a hosszú távú, céziumizotópok talajból történő kivonását célzó intézkedéseket jelentős számban alkalmazták.⁵⁵ A Dnyeper-folyó vízrendszerének vonatkozásában szintén ellenintézkedések sorát vezették be a víztisztaság helyreállítása érdekében.

5. Következtetések

A fenti, intő példákhoz hasonló káresemények bármikor megtörténhetnek. A SARS-CoV-2-pandémia szintén aktuális, szomorú bizonyítéka a váratlanul bekövetkező válsághelyzeteknek. A CBRN-katasztrófák mint a környezetet komplex módon károsítani képes incidensek vonatkozásában nem lehet eléggé hangsúlyozni a prevenció lépések, az előre felkészülés fontosságát. A bevezetőben is említett, katasztrófákra jellemző ciklikusság fontos tanulsága, hogy a megelőző intézkedések mindig lényegesen költséghatékonyabbak, mint egy olyan katasztrófa felszámolására tett erőfeszítések, amely felkészületlenül érte az elszenvedő közösséget. A költséghatékonyság mellett az adekvát prevenció lépések kidolgozása és végrehajtása mind a humán vonatkozású, mind a környezetkárosító formában jelentkező veszteségek és károk minimalizálásában segítséget jelenthet. A megfelelő intézkedések tervezéséhez azonban tudnunk kell mind humánegészségügyi, mind környezetvédelmi szempontból értékelni a lehetséges katasztrófa-forgatókönyveket. Ez interdiszciplináris szemléletet, szoros együttműködést igényel a felszámolásban részt vevő szervezetektől. A múltbéli események alapos tanulmányozása, a megfelelő következtetések levonása értékes segítséget nyújthat a kooperáció elméleti alapjainak lefektetéséhez. Az elméleti alapok később gyakorlatok során történt tökéletesítése pedig a jövőbeni, valós káresemények ellenintézkedéseinek mikéntjében mutathat majd irányt.

Felhasznált irodalom

- Ammendolia, Justine – Jacquelyn Saturno – Amy L. Brooks – Shoshanah Jacobs – Jenna R. Jambeck: An Emerging Source of Plastic Pollution: Environmental Presence of Plastic Personal Protective Equipment (Ppe) Debris Related to Covid-19 in a Metropolitan City. *Environmental Pollution*, 269. (2021). 116160. Online: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116160>
- Anjos, R. M. – A. Facure – E. L. N. Lima – P. R. S. Gomes – M. S. Santos – J. A. P. Brage – E. Okuno – E. M. Yoshimura – N. K. Umisedo: Radioactivity Teaching: Environmental Consequences of the Radiological Accident in Goiânia (Brazil). *American Journal of Physics*, 69. (2001). 377–381. Online: <https://doi.org/10.1119/1.1315603>

⁵⁵ International Atomic Energy Agency (2006): i. m.

- Beresford, N. A. – S. Fesenko – A. Konoplev – L. Skuterud – J. T. Smith – G. Voigt: Thirty Years after the Chernobyl Accident: What Lessons Have We Learnt? *Journal of Environmental Radioactivity*, 157. (2016). 77–89. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.02.003>
- Bland, Steven A.: Chemical, Biological, Radiological and Nuclear (CBRN) Casualty Management Principles. In James M. Ryan – Adriaan P.C.C. Hopperus Buma – Charles W. Beadling – Aroop Mozumder – David M. Nott – Norman M. Rich – Walter Henny – David MacGarty (szerk.): *Conflict and Catastrophe Medicine: A Practical Guide*. London, Springer, 2014. 747–770. Online: https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2927-1_46
- Broughton, Edward: The Bhopal Disaster and Its Aftermath: A Review. *Environmental Health*, 4. (2005), 6. 1–6. Online: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-4-6>
- Bushberg, Jerrold T.: Radiation Exposure and Contamination. *MSD Manual*, 2020. október. Online: www.msmanuals.com/professional/injuries-poisoning/radiation-exposure-and-contamination/radiation-exposure-and-contamination
- European Commission, Directorate-General Home Affairs, Directorate A: Internal security, Unit A.1: Crisis management – Terrorism: CBRN Glossary. Online: http://encircle-cbrn.eu/wp-content/uploads/2021/04/cbrn_glossary_en.pdf
- Finke, Ernst-Jürgen – Wolfgang Beyer – Ulrike Loderstädt – Hagen Frickmann: Review: The Risk of Contracting Anthrax from Spore-Contaminated Soil – a Military Medical Perspective. *European Journal of Microbiology & Immunology*, 10. (2020), 2. 29–63. Online: <https://doi.org/10.1556/1886.2020.00008>
- Fry, R. J. Michael: Deterministic Effects. *Health Physics*, 80. (2001), 4. 338–343. Online: <https://doi.org/10.1097/00004032-200104000-00009>
- Halász László – Földi László: *Környezetbiztonság*. Budapest, Nemzeti Közszerzői Egység, Hadtudományi és Honvédtisztviselői Kar, 2014. Online: <http://m.ludita.uni-nke.hu/repozitorium/bitstream/handle/11410/8583/Teljes%20sz%C3%B6veg%21?sequence=1&isAllowed=y>
- International Atomic Energy Agency: *Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experiences*. Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment'. Vienna, International Atomic Energy Agency, 2006.
- International Atomic Energy Agency: *The Radiological Accident in Goiânia*. Vienna, International Atomic Energy Agency, 1988.
- Jiang, Dong – Qian Wang – Zhihua Bai – Heyuan Qi – Juncai Ma – Wenjun Liu – Fangyu Ding – Jing Li: Could Environment Affect the Mutation of H1N1 Influenza Virus? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17. (2020), 9. 3092. Online: <https://doi.org/10.3390/ijerph17093092>
- Keenlside, Julia: Pandemic Influenza A H1N1 in Swine and Other Animals. In Jürgen A. Richt – Richard J. Webby (szerk.): *Swine Influenza. Current Topics in Microbiology and Immunology*. Berlin–Heidelberg, Springer, 2012. 259–271. Online: https://doi.org/10.1007/82_2012_301
- Krammer, Florian: The Human Antibody Response to Influenza A Virus Infection and Vaccination. *Nature Reviews Immunology*, 19. (2019). 383–397. Online: <https://doi.org/10.1038/s41577-019-0143-6>

- Kumar, Girish – Daya Shankar Tripathi – Sisir Kumar Roy: Cytological Effects on Plants by an Accidental Leakage of Methylisocyanate (Mic) Gas. *Environmental and Experimental Botany*, 29. (1989), 2. 261–271. Online: [https://doi.org/10.1016/0098-8472\(89\)90058-0](https://doi.org/10.1016/0098-8472(89)90058-0)
- Lage, Leonardo Bastos – Ruffo Freitas-Junior – Rosangela da Silveira Corrêa – Eliane Eugênia dos Santos – Nilson Clementino Ferreira – Nivaldo Carlos Silva – Leonardo Ribeiro Soares: Evaluation of Ionizing Radiation as a Risk Factor for the Incidence of Breast Cancer: Long-Term Analysis after the Cesium-137 Accident in Goiânia, Brazil. An Ecological Study. *Sao Paulo Medical Journal*, 138. (2020), 4. 297–304. Online: <https://doi.org/10.1590/1516-3180.2020.0041.r1.04052020>
- LiVolsi, V. A. – A. A. Abrosimov – T. Bogdanova – G. Fadda – J. L. Hunt – M. Ito – J. Rosai – G. A. Thomas – E. D. Williams: The Chernobyl Thyroid Cancer Experience: Pathology. *Clinical Oncology*, 23. (2011), 4. 261–267. Online: <https://doi.org/10.1016/j.clon.2011.01.160>
- Marqués, Montse – José L. Domingo: Contamination of Inert Surfaces by SARS-CoV-2: Persistence, Stability and Infectivity. A Review. *Environmental Research*, 193. (2021). 110559. Online: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110559>
- Mostafa, Mohamed K. – Gamil Gamal – A. Wafiq: The Impact of Covid 19 on Air Pollution Levels and Other Environmental Indicators – a Case Study of Egypt. *Journal of Environmental Management*, 277. (2021). 111496. Online: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111496>
- Nemery, B. – D. Dinsdale – S. Sparrow – D. E. Ray: Effects of Methyl Isocyanate on the Respiratory Tract of Rats. *British Journal of Industrial Medicine*, 42. (1985), 12. 799–805. Online: <https://doi.org/10.1136/oem.42.12.799>
- Nigam, Ritwik – Kanvi Pandya – Alvarinho J. Luis – Raja Sengupta – Mahender Kotha: Positive Effects of Covid-19 Lockdown on Air Quality of Industrial Cities (Ankleshwar and Vapi) of Western India. *Scientific Reports*, 11. (2021). 4285. Online: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83393-9>
- Poulson, Rebecca – Stephen Tompkins – Roy Berghaus – J. Brown – D. Stallknecht: Environmental Stability of Swine and Human Pandemic Influenza Viruses in Water under Variable Conditions of Temperature, Salinity, and pH. *Applied and Environmental Microbiology*, 82. (2016), 13. 3721–3726. Online: <https://doi.org/10.1128/AEM.00133-16>
- Rahal, Rosemar Macedo Sousa – Marina Elias Rocha – Ruffo Freitas-Junior – Rosangela da Silveira Correa – Rodrigues, Danielle – Edesio Martins – Leonardo Ribeiro Soares – Jose Carlos Oliveira: Trends in the Incidence of Breast Cancer Following the Radiological Accident in Goiânia: A 25-Year Analysis. *Asian Pacific Journal of Cancer Prevention*, 20. (2019), 12. 3811–3816. Online: <https://doi.org/10.31557/APJCP.2019.20.12.3811>
- Saunders-Hastings, Patrick R. – Daniel Krewski: Reviewing the History of Pandemic Influenza: Understanding Patterns of Emergence and Transmission. *Pathogens*, 5. (2016), 4. 66. Online: <https://doi.org/10.3390/pathogens5040066>
- Scalera, Nikole – Sherif Mossad: The First Pandemic of the 21st Century: A Review of the 2009 Pandemic Variant Influenza a (H1N1) Virus. *Postgraduate Medicine*, 121. (2009), 5. 43–47. Online: <https://doi.org/10.3810/pgm.2009.09.2051>

- Sooryanarain, Harini – Subbiah Elankumaran: Environmental Role in Influenza Virus Outbreaks. *Annual Review of Animal Biosciences*, 3. (2015). 347–373. Online: <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-022114-111017>
- Sriramachari, S.: The Bhopal Gas Tragedy: An Environmental Disaster. *Current Science*, 86. (2004), 7. 905–920. Online: www.jstor.org/stable/24109273
- Steinhauser, Georg – Alexander Brandl – Thomas E. Johnson: Comparison of the Chernobyl and Fukushima Nuclear Accidents: A Review of the Environmental Impacts. *Science of The Total Environment*, 470–471. (2014). 800–817. Online: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.10.029>
- Streit, B.: Bioaccumulation Processes in Ecosystems. *Experientia*, 48. (1992), 10. 955–970. Online: <https://doi.org/10.1007/BF01919142>
- UNSCEAR 2008: *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. UNSCEAR 2008 Report to the General Assembly with Scientific Annexes. New York, United Nations, 2010.
- Varma, Daya R. – Shree Mulay: Methyl Isocyanate: The Bhopal Gas. In Ramesh C. Gupta (szerk.): *Handbook of Toxicology of Chemical Warfare Agents (Second Edition)*. Boston, Academic Press, 2015. 287–299. Online: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800159-2.00022-1>
- Varma, Roli – Daya Varma: The Bhopal Disaster of 1984. *Bulletin of Science, Technology & Society*, 25. (2005), 1. 37–45. Online: <https://doi.org/10.1177/0270467604273822>
- World Health Organisation: *Chernobyl: The True Scale of the Accident*. 2005. szeptember 5. Online: www.who.int/news/item/05-09-2005-chernobyl-the-true-scale-of-the-accident
- World Health Organisation: *Pandemic (H1N1) 2009 – Update 112*. 2010. augusztus 6. Online: www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2010_08_06-en
- World Health Organisation: *SARS-CoV-2 mink-associated variant strain – Denmark*. 2020. december 3. Online: www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2020-DON301

Jogi források

- Az Európai Parlament és a Tanács 1272/2008/EK Rendelete (2008. december 16.) az anyagok és keverékek osztályozásáról, címkézéséről és csomagolásáról, a 67/548/EGK és az 1999/45/EK irányelv módosításáról és hatályaon kívül helyezéséről, valamint az 1907/2006/EK rendelet módosításáról (EGT-vonatkozású szöveg)
- Az Európai Parlament és a Tanács 1907/2006/EK Rendelete (2006. december 18.) a vegyi anyagok regisztrálásáról, értékeléséről, engedélyezéséről és korlátozásáról (REACH), az Európai Vegyianyag-ügynökség létrehozásáról, az 1999/45/EK irányelv módosításáról, valamint a 793/93/EGK tanácsi rendelet, az 1488/94/EK bizottsági rendelet, a 76/769/EGK tanácsi irányelv, a 91/155/EGK, a 93/67/EGK, a 93/105/EK és a 2000/21/EK bizottsági irányelv hatályaon kívül helyezéséről