

36. Országos Tudományos Diákköri Konferencia
Had- és Rendészettudományi Szekció
Budapest, 2023. április 18-20.
Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Rendészettudományi Kar

**A Vörös-erdő nyomában,
avagy a radioaktivitás hatása az élővilágra**

Jelige: M1l3s in ru6rums1lv4

2022. szeptember

2023.

TARTALOMJEGYZÉK:

1. BEVEZETÉS	3
1.1. A témaválasztás indoklása	3
1.2. Célkitűzések	3
2. AZ ATOMERŐMŰ BALESETE ÉS KÖVETKEZMÉNYEI	5
2.1. Az események rövid leírása	5
2.2. A baleset területi kiterjedése	6
2.3. A Vörös-erdő	8
3. RADIOLÓGIAI ALAPFOGALMAK	11
4. AZ ESET HATÁSAI KÖRNYEZETVÉDELMI SZEMPONTBÓL	17
4.1. A baleset azonnali hatásai a környezetre	17
4.2. A beavatkozás során történt szennyezés	24
4.3. Hosszabb távú környezeti hatások	24
4.4. A mentesítés érdekében tett lépések	27
5. A VÖRÖS-ERDŐ RÉSZLETESEBB VIZSGÁLATA	29
5.1. Az eredetileg ott élő organizmusok	30
5.2. A baleset utáni élővilág	32
6. TECHNOLÓGIAI LEHETŐSÉGEK A ZÓNÁBAN	42
6.1. A természet mentesítésének lehetőségei	42
6.2. A terület ipari felhasználásának lehetőségei	43
6.3. Radioaktív hulladékok kezelése	44
7. AZ ATOMENERGIA ÉS A RADIOAKTIVITÁS MEGÍTÉLÉSE	48
7.1. Megítélés tudományos szempontból	48
7.2. Megítélés társadalmi szempontból	49
8. VONATKOZÓ TÖRVÉNYEK ÉS SZABÁLYOZÁSOK	51
9. JAVASLATOK A TANULSÁGOK TÜKRÉBEN	53
9.1. Iparbiztonsági szempontból	53
9.2. Környezetvédelmi szempontból	54
10. ÖSSZEFOGLALÁS	56
FELHASZNÁLT IRODALOM	57
MELLÉKLETEK	63

1. BEVEZETÉS

1.1. A témaválasztás indoklása

Az emberiség történelme során az egyik legismertebb és a környezetre legnagyobb hatással lévő ipari katasztrófa a csernobili atomerőmű nukleáris balesete, aminek következményei és hatásai a mai napig sem veszítették el aktualitásukat, ezért fontosnak tartom, hogy megfelelő ismeretekkel rendelkezünk róla, és elfeledjük azokat a hiedelmeket, amik a tudás hiányából és félelemből származnak. Véleményem szerint a nukleáris energiával és az ionizáló sugárzással kapcsolatos téveszméket mielőbb el kell oszlatni, hogy megmutatkozhasson az ezekkel történő technikák és eljárások pozitív oldala is.

Fontos, hogy a fizikai és kémiai alapokat megfelelő mértékben elsajátítsuk, egy szakember számára pedig ezen ismeretek elengedhetetlenek.¹ Dolgozatom megírása során nem magára a balesetre koncentráltam, hanem leginkább annak a természeti környezetre gyakorolt hatására, mert fontosnak tartom a környezetvédelmet és szeretném, hogy annak tartsa mindenki, hiszen a természet adja az életet, nélküle az ember sem létezhetne.

1.2. Célkitűzések

Elsődleges célom az, hogy a személyes érdeklődésem miatt választott radiológiai témakört a rendelkezésre álló szakirodalom és egyéb fellelhető források segítségével feldolgozzam és bemutassam. Szeretném, hogy a gyakorlati, radioaktivitással kapcsolatos munkámhoz megfelelő mennyiségű és minőségű információ birtokában legyek.

Következő célom, hogy a nem szakmai közösséghez is eljuttathassak radiológiával kapcsolatos ismereteket, a köztudatba beépüljenek a helyes kifejezések, azokat értsék a témáról író és olvasó emberek, például fordításokban vagy sajtómegjelenítésekben a szennyezés kifejezés helyett ne forduljon elő a radioaktív sugárzás kapcsán helytelenül a fertőzés vagy a mérgezés fogalma.

Végül, szeretném elérni, hogy új nézőpontból szemléljük a csernobili balesetet és helyezzük jobban előtérbe a természetet, ismerjük fel fontosságát. A modern ökológia-tudomány legfőbb céljai az enyéme is, azaz, a természet működésének megértése, gondolkodás arról, miként

¹ Pátzay György- Dobor József (2016): *Ipari tevékenységekből eredő veszélyforrások és elhárításuk*, Egyetemi jegyzet, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest 7.o.

befolyásolja az emberiség, az emberi tevékenység a természetet, és keresni olyan módszereket, hatékony problémamegoldó eljárásokat, hogy enyhíthessük a természetre gyakorolt káros hatásokat.²

²Dr. Domokos Endre sorozat szerk. (2012): Környezetmérnöki Tudástár, Dr. Horváth Erzsébet szerk.: XXIV. kötet, *Talajtan és talajökológia*, Pannon Egyetem, Veszprém ISBN: 978-615-5044-49-6 https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/24-Talajtan_es_talajokologia.pdf 139.o. letöltve: 2022.06.20.

2. AZ ATOMERŐMŰ BALESETE ÉS KÖVETKEZMÉNYEI

2.1. Az események rövid leírása

A csernobili baleset néven elhíresült Vlagyimir Iljics Lenin atomerőmű katasztrófája valójában a Csernobil várostól néhány kilométerre lévő, 1970-ben létrehozott Pripjaty városának volt közvetlen közelében. A hely főképpen az erőmű dolgozóinak és hozzátartozóiknak épült és 1986-ban a május 1-jén tartandó munka ünnepére készültek az itt lakók, mikor előtte 4 nappal, április 26-án bekövetkezett az a nukleáris, rendkívüli esemény, amit ugyan próbált eltitkolni az egykori Szovjetunió vezetősége, azonban hamar fény derült rá és az emberiség történelmének egyik legismertebb ipari katasztrófájává vált.

Az egykori Szovjetunió RBMK típusú atomreaktora öngerjesztő tulajdonságokkal rendelkezik, ami megmutatkozott a 4. blokk rosszul kivitelezett üzemviteli kísérlete során, 1986. április 26-án, szombaton, éjjel 01 óra 23 perckor, mikor olyan üzemállapotba került, aminek következtében a reaktorban zajló láncreakció kontrollálhatatlan lett, vagyis az megszaladt és néhány másodperc alatt a reaktorban megtermelt hőteljesítmény hatalmasat ugrott.

Gőzrobbanás következett be emiatt, ami a hűtőcsatornák csöveinek falát felhasította, így forró víz kerülhetett a grafit moderátorra, ami robbanóképes gázok keletkezéséhez vezetett. Mindez csupán két másodperccel a gőzrobbanást követően egy újabb nagyerejű robbanást okozott. A reaktor teteje ekkor kiszakadt, a környezetbe pedig égő grafit került, amit tíz napig tartott eloltani. Ez a jelenség jelentősen megnövelte a kijutott izotópok mennyiségét.

A reaktor üzemanyagának nagyjából 3,5-4%-a szóródott szét, továbbá kijutottak nemesgázok, illékony izotópok, mint jódt, tellúr, cézium, ezen kívül stroncium és cirkónium.

A radioaktivitás mennyiségét az is fokozta, hogy a hűtés nélküli nukleáris üzemanyag megolvadt. A kibocsátást megközelítőleg egy hónap alatt tudták mérsékelni a nehéz feladatra vállalkozott tűzoltók és a baleset elhárításában résztvevő önkéntesek, vagyis a likvidátorok, akik túlnyomó többségében nem voltak tisztában az őket ért nagy dózisú sugárzás káros következményeivel.³

³ Dr. Aszódi Attila (2006): *Csernobil 20 éve*, Első megjelenés: Fizikai Szemle 56. kötet, 4. szám, 114-118. <http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0604/aszodi0604.html> letöltve: 2022.06.24.

2.2. A baleset területi kiterjedése

A környezet radioaktív izotópokkal való szennyeződése az időjárási viszonyok, főleg a széljárás és a csapadék miatt változatos mértékben következett be a Föld területén. A kiszámíthatatlan meteorológiának köszönhető az is, hogy a katasztrófa ténye a köztudomásra jutott, hiszen a svédországi Forsmark erőmű egyik sugármérő detektora az előtte elsétáló dolgozónál adott jelzést, miszerint emelkedett radioaktivitást észlelt. A talajon végzett sugármérésekkel a szakemberek igazolhatták, hogy kihullás következtében érte őket a szennyezés és valahol, valamilyen komoly probléma merülhetett fel. Az időjárási adatok megvizsgálásával valószínűsítették, hogy a radioaktív sugárzás forrása a csernobili atomerőmű lehet.⁴

Nyilvánvaló, hogy a 4. blokk közvetlen környezete szennyeződött leginkább a radioaktív izotópokkal, és a bizonyos zóna, a napjainkban is lezárt terület, ami nagyjából 2830 négyzetkilométert foglal magába, ahol 555 kBq/m^2 vagy ennél magasabb volt a cézium-137 szennyezettség, viszont jelentős mértékű sugárterhelést, azaz 185 kBq/m^2 fölöttit több, mint 30000 négyzetkilométernyi terület szenvedett.⁵

⁴ Európai Parlament (2014): *Forsmark: ahol először szereztek tudomást a csernobili atomkatasztrófáról* <https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20140514STO47018/forsmark-ahol-eloszor-szereztek-tudomast-a-csernobili-atomkatasztrofarol> letöltve: 2022.07.15.

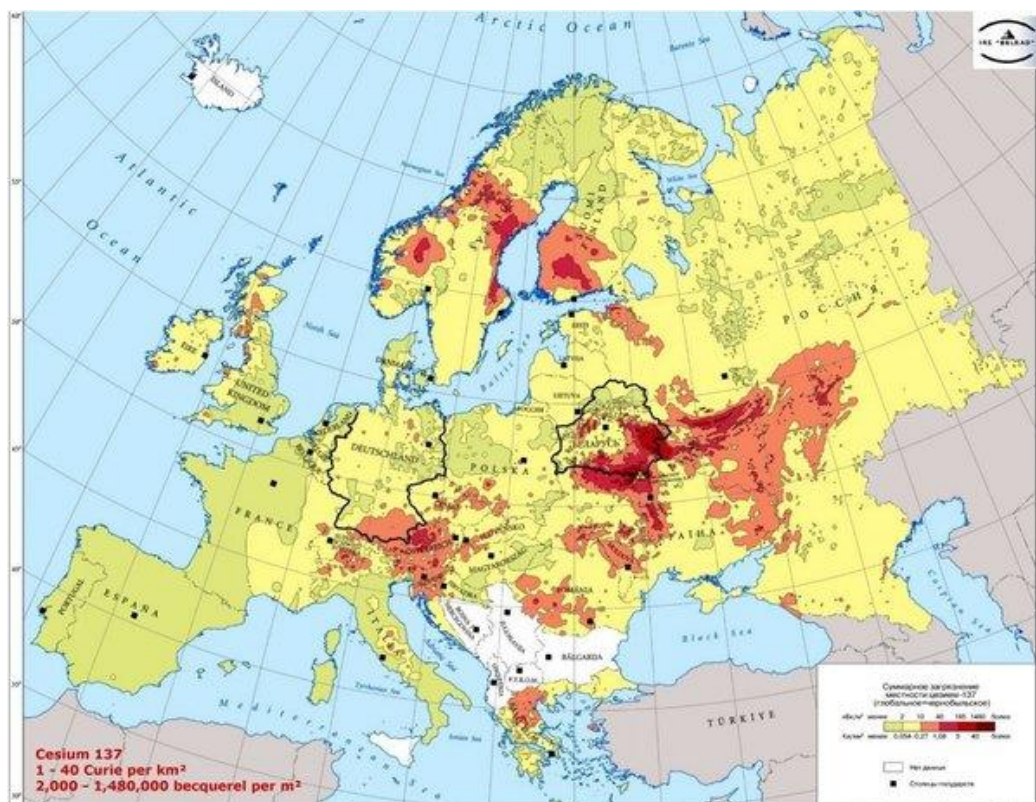
⁵ Szatmáry Zoltán-Aszódi Attila (2005): *Csernobil / Tények, okok, hiedelmek*, Typotex, Budapest 115.o.



1. ábra: A lezárt zóna

forrás: <https://srel.uga.edu/rare-wild-horses-are-seen-living-among-abandoned-homes-in-the-chernobyl-exclusion-zone-after-scientists-set-up-hidden-cameras/> letöltve: 2022.08.01.

A következő képen jól látható, melyik területeket milyen mértékben érintette a balesetet követően a radioaktív Cézium-137 izotóp kihullása. Ez az izotóp jutott ki legnagyobb mértékben és hosszú felezési ideje miatt, sokáig jelen is marad, így a terület szennyezettségének leginkább ez a mutatója. Az ábrával megfelelő rálátást nyerhetünk a katasztrófa súlyosságára, globális méreteire és jelentőségére. A kihullás egyenlőtlen földrajzi eloszlást mutat. Európa szerte és még azon túl is eljutott kisebb-nagyobb mértékben minden országba a radioaktív szennyezés.



2. ábra: A csernobili balesetből származó Cs-137 kihullása

forrás: <https://radio.nilu.no/chernobyl/> letöltve: 2022. 07. 30.

Magyarország viszonylag kismértékben terhelődött a balesetből származó izotópokkal. Az egykori mérések alapján leginkább az északi területek voltak érintettek. A szerencse gondolata ugyan minden tudományosságot nélkülöz, de mondhatni, akkoriban mégis mellénk állt, hiszen a környező országok jóval nagyobb sugárszennyezést kaptak.

2.3. A Vörös-erdő

Az erőműtől nyugati irányba 1,5-2 km távolságban kezdődött és 5 km-re észak-nyugatra terjedt ki egy fenyőerdő, ami jelentős, körülbelül 80 Gy sugárdózist nyelt el. A katasztrófát követő 2-3 héten belül megmutatkoztak az erdei fenyő populáción a radioaktivitás káros hatásai, ugyanis a tűlevelek elkezdtek sárgulni, barnulni, már-már vörös szín jelent meg rajtuk, majd elpusztultak.



1. kép: A Vörös-erdő, távolban az erőművel

forrás: <https://chernobyl-visit.com/chernobyl-diaries/red-forest-in-chernobyl/> letöltve:2022.08.23.

A sugárzás következtében a tűlevelű erdők a levélklorózis és a levélnekrozis tünetei mutatkoztak meg, illetve az erdei fenyő kérge is némileg vöröses árnyalatú, ezek összessége miatt alakult ki a szín, ahonnan kapta a nevét, ami a köztudatban mára elválaszthatatlan kifejezéssé vált a csernobili balesettől.

Érdekes tény, hogy a Vörös-erdő tulajdonképpen már nem létezik, hiszen azokat az erősen szennyezett fákat kivágták és helyben a föld alá temették a felszínhez közel.⁶

A helyén újraéledt erdő már nem az a bizonyos Vörös-erdő így az ott mérhető sugárzás intenzitása is jelentős mértékben kisebb. Tehát a dolgozatomban a valódi Vörös-erdőről csak az azonnali környezeti hatások kapcsán és az eredetileg ott élt organizmusok részen belül ejtek érdemi szót, mindenhol máshol az erdő utódja értendő a Vörös-erdő kifejezés alatt.

A sérült reaktorblokk közvetlen közelében kiugróan nagyfokú volt a szennyeződés, emiatt meglehetősen nagy dózisintenzitások jöttek létre. Itt az eleinte jellemző alfa-sugárzást követően az élővilág sugárterhelése főként béta- és kismértékben gamma-sugárzás volt. A kihullás miatti ionizáló sugárzás a baleset évében determinisztikus sugárhatásokat produkált a természetben, vagyis a nagymértékű sugárzás rövid időn belül sugárbetegséget, elváltozásokat okozott. Sok élőlény elpusztult, a túlélőknek pedig romlott a reprodukciós képességük, a populációk csökkenni kezdtek.

⁶ <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X0900109X>



2. kép: Figyelmeztető jel a veszélyre

forrás: <https://www.weforum.org/agenda/2019/05/what-s-going-on-in-chernobyl-today/>

letöltve: 2022.09.10.

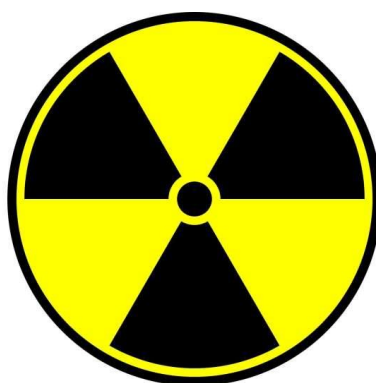
Érdekes azonban az a jelenség, hogy néhány év elteltével az érintett élővilág szinte teljesen regenerálódott. Ennek fő okai azok lehetnek, hogy minél magasabb rendű egy faj, annál inkább érzékeny a sugárzással szemben, tehát az emberekhez viszonyítva kisebb mértékű káros hatása lesz az állatvilágban és még kevesebb a növények körében. A másik ok az lehet, hogy sokkal rövidebb idő alatt éli le teljes életciklusát egy-egy generáció és időről időre ellenállóbb egyedek jönnek létre, mondhatni asszimilálódnak a kedvezőtlen helyzethez. A növények mást nem is tehetnek a túlélés érdekében, hiszen nem képesek elmenekülni, ahogy a többi élőlénynek ez adott.

3. RADIOLÓGIAI ALAPFOGALMAK

Néhány radiológiai alapfogalom ismerete nélkül a dolgozatom nehezen értelmezhető, így szükségesnek tartom a legfontosabbak rövid leírását.

Radioaktivitásról, radioaktív sugárzásról, tehát egyfajta energiaáramlásról akkor beszélhetünk, ha van egy adott radioaktívan bomló izotóp.

A radioaktivitás jele a kör alakú ábra sárga alapon három, egymástól azonos távolságra lévő fekete körcikkkel, közöttük egy fekete körrel.



3. ábra: A radioaktivitás jele

forrás: <https://phys.org/news/2020-06-agency-source-radioactivity-nordics-unclear.html>

letöltve: 2022.08.23.

radioaktív izotóp:

Az összes anyagot atomok alkotják. Az atomok pedig protonokból, neutronokból és elektronokból épülnek fel. Az atommagban található protonok száma az úgynevezett rendszám, a protonok és neutronok számának összege pedig a tömegszám. Az azonos rendszámú, de más tömegszámmal rendelkező atomokat izotópoknak hívjuk. Az elemek kémiai tulajdonságait leginkább az elektronok száma határozza meg, ebből következik, hogy az atom és izotópja hasonló kémiai tulajdonságokkal írható le.⁷

Egy radioaktív izotóp az aktivitásával és a felezési idejével jellemezhető.

Egy-egy adott radioaktív anyag más mértékű aktivitással rendelkezik, tehát egyik erősebb ionizáló sugárzást bocsát ki, mint a másik.

⁷ Dobor József (2014): *Iparbiztonság fizikai és kémiai alapjai* Nemzeti Közsolgálati Egyetem, Budapest 14.o.

aktivitás:

Az adott egységnyi idő alatt lezajló bomlások száma. Mértékegysége a becquerel, jele Bq.

Az egyik legismertebb fogalom a témakörben a radioaktív izotóp felezési ideje. Kevésbé szakavatott ember számára is sokat sejtet, így könnyen értelmezhető.

felezési idő:

Adott időtartam, ami alatt egy radioaktív anyag fele elbomlik, vagyis aktivitása a kezdeti felére csökken.⁸

Amikor sugárszennyezetté válik egy adott anyag, mérhető a szennyezés mértéke, amit a következő fogalommal jellemezhetünk:

elnyelt dózis:

Az egységnyi tömegű anyagban elnyelt sugárzási energia; eloszlása többnyire heterogén. Az elnyelt dózis jele D, mértékegysége a gray, jele Gy; egy gray egy joule per kilogrammnak felel meg: $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.

Ha a radioaktív sugárzás élő szervezetet érint, akkor két fontos fogalmat kell használnunk. Az effektív dózis az egész testet érintő sugárzást, míg az egyenértékdózis csak egy adott szövetet érő sugárzást jelenti. A testszövet jele a T.⁹

effektív dózis:

Külső és/vagy belső sugárterhelés következtében a test összes szövetét és szervét érő sugárterhelés miatt várható sztochasztikus károsodások jellemzésére szolgál. Az effektív dózis jele E, mértékegysége a sievert.¹⁰

egyenértékdózis:

A T szövetet vagy szervet érő különböző típusú és minőségű sugárzásoknak a T szövetre vagy szervre átlagolt elnyelt dózisa megfelelő sugárzási minőségtényezőkkel súlyozott összege; az egyenértékdózis jele HT.

⁸ Értelmező információk és meghatározások a sugárvédelemben (é.n.) <https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Sugarvedelmi-fogalmak.pdf?la=hu-HU> letöltve: 2022.07.26.

⁹ 2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2200002.oah> letöltve: 2022.08.05.

¹⁰ Fehér István-Deme Sándor szerk. (2010): *Sugárvédelem*, Eötvös Kiadó, Budapest 39.o.

sievert: az egyenértékdózis és az effektív dózis mértékegysége; jele Sv; egy sievert egy joule per kilogrammnak felel meg: $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}^{11}$

sugárbetegség:

Ha az egész szervezetet nagymértékű sugárdózis érte, legalább 1 Gy körüli érték, akkor nagy valószínűséggel sugárbetegség alakul ki. Ennek négy stádiumát lehet egymástól elkülöníteni, amik az elszenvedett sugárdózistól függően játszódnak le. Az első a kezdeti szakasz, ekkor enyhe tünetek jelentkezhetnek, mint általános gyengeség, rossz közérzet, hányinger, étvágytalanság. Ez csupán néhány napig tart. A kezdeti tüneteket a nyugalmi időszak követi, ami néhány naptól néhány hétig tarthat az elnyelt dózis függvényében, de 10 Gy felett el is maradhat. Ezután a kritikus szakaszba lép a sugárbetegség. 6 Gy alatti terhelés esetén a csontvelőt érintő betegségek jelentkeznek, 6-10 Gy között az emésztőrendszer károsodásai mutatkoznak és 10 Gy felett nagyon magas százalékban következik be a halálozás. Végül a lábadozási időszak veszi kezdetét a túlélők körében, ami egy nagyon lassú folyamat.

Az ionizáló sugárzások három fajtájáról olvashatunk a dolgozatomban a teljesség igénye nélkül, ugyanis ez a három volt és van jelen a csernobili baleset környékén, így a Vörös-erdő területén is.

alfa-sugárzás:

Töltése pozitív és tömege nagy, viszont az alfa-sugárzás áthatoló képessége igen csekély mértékű, egy papírlap, a bőr felső rétege vagy egy ruhanemű is képes megállítani, könnyű leárnyékolni. Valódi veszélye akkor van, ha az élő szervezet belsejébe jut lenyelve vagy belélegezve és ott kifejti ionizáló hatását.

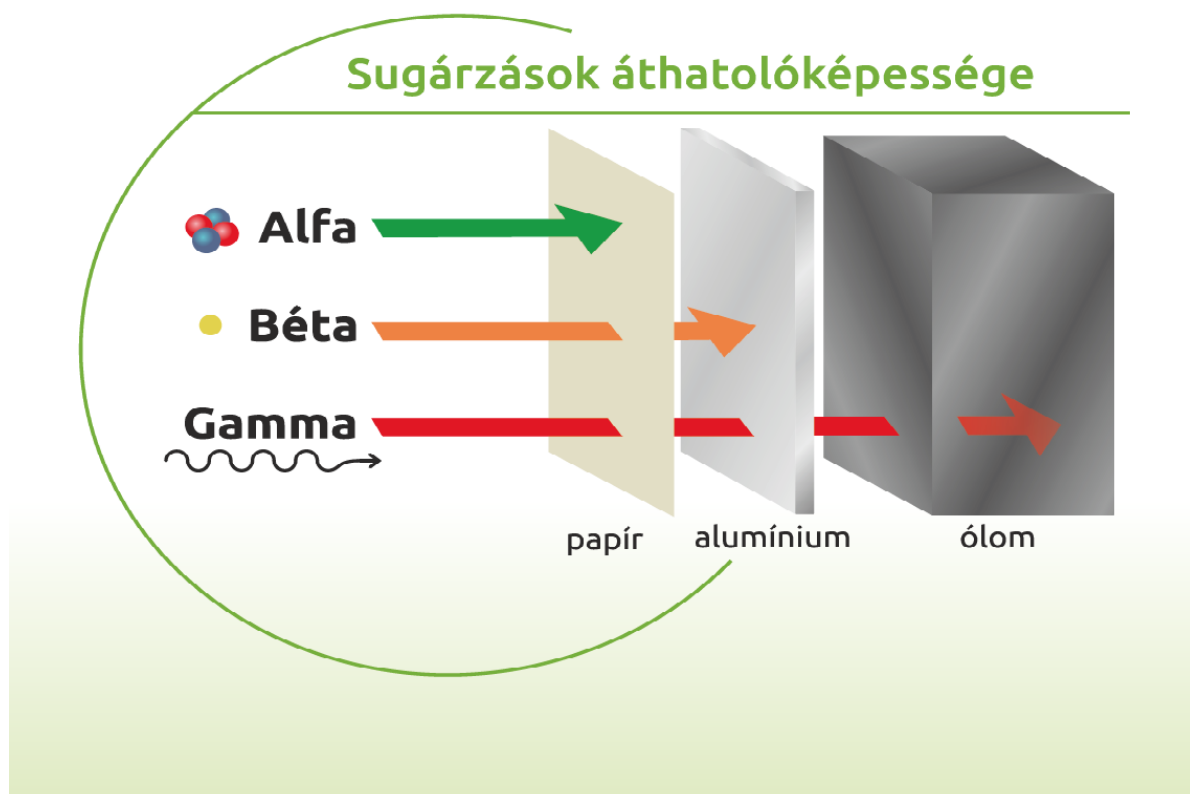
béta-sugárzás:

A béta-sugárzás közepes áthatoló intenzitással bír, nagyobb, mint az alfa részecske, azonban ionizáló hatása attól gyengébb.

gamma-sugárzás:

A gamma-sugárzás rendelkezik a legnagyobb áthatoló erővel és a legkisebb ionizáló képességgel az alfa és béta részecskékhez viszonyítva. Általában ólommal szokás leárnyékolni.¹¹

¹¹ Dr. Ballay László- Dr. Kerti Márta (2016): *Sugárvédelmi oktatás Segédanyag bővített fokozatú képzéshez*, kézirat, Juhász és Makár Bt. Budapest



4. ábra: Sugárzások áthatolóképessége

forrás: <https://rhk.hu/sugarvedelem> letöltve: 2022. 07. 08.

A baleset folyamatának megértéséhez is kapcsolódik néhány szakkifejezés. Elsődlegesen fontos tudni, hogy mi is a nukleáris erőmű.

atomerőmű, atomreaktor:

Olyan energiaátalakító létesítmény, amely nukleáris láncreakció felhasználásával villamos energiát termel.¹²

Sajnos a nem megfelelő biztonsági intézkedések vagy a szabályok be nem tartása miatt előfordulhatnak egy ilyen erőműben veszélyes, nehezen vagy egyáltalán nem visszafordítható hibák, mint a reaktor megszaladása.

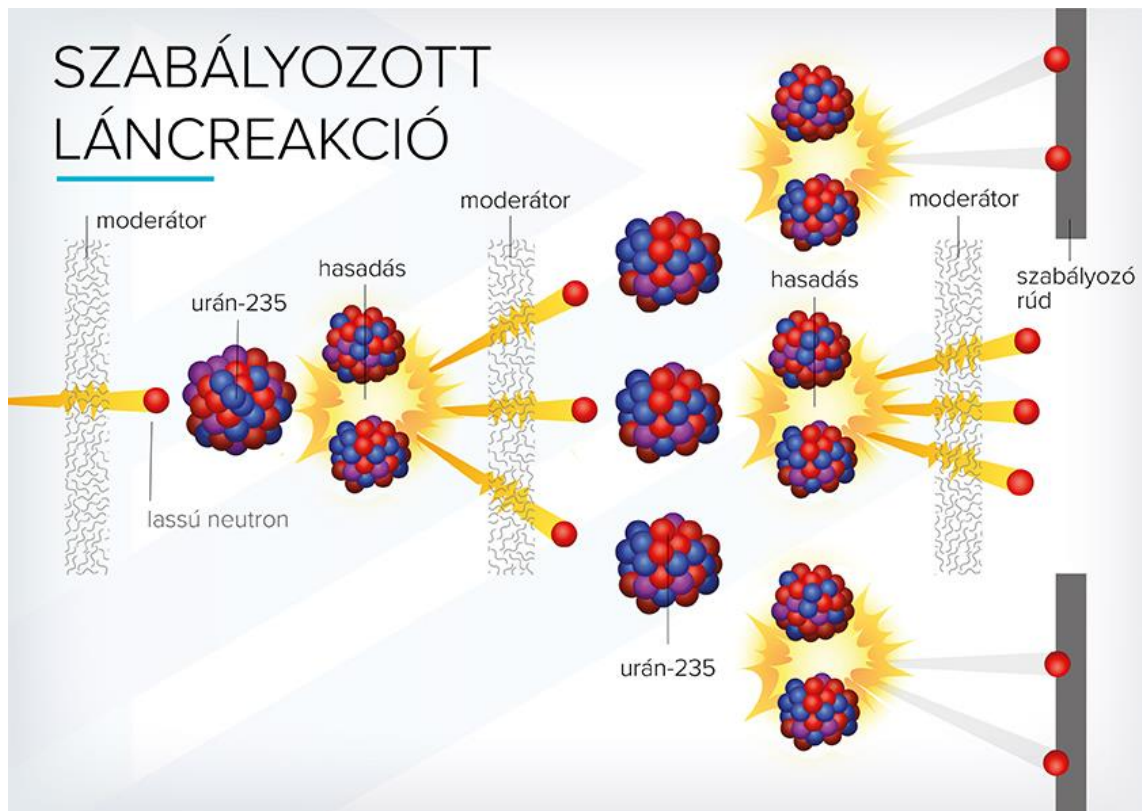
reaktor megszaladása:

¹² 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600116.TV> letöltve: 2022.08.08.

A reaktor teljesítményének nagyon gyors, hirtelen növekedése a normális üzemi szint fölé, ami baleseti helyzetet alakíthat ki.¹³

Nukleáris láncreakció:

Az atommaghasadások olyan sorozata, amelyet a hasadási folyamat során felszabaduló neutronok tartanak fenn.



5. ábra: Az atomerőműben jelenlévő szabályozott láncreakció, forrás:

<https://www.paks2.hu/k%C3%B6z%C3%A9rthet%C5%91en-azatomenergi%C3%A1r%C3%B3l>

letöltve: 2022. 08. 23.

Ilyen hiba előfordulására nagyon kicsi esély van, azonban nem lehetetlen, ahogy erre példa a 4. blokk balesete is, ekkor beszélhetünk a következő fogalomról:

rendkívüli esemény:

Az atomenergia alkalmazását szolgáló létesítményben, berendezésben, vagy radioaktív (nukleáris) anyaggal végzett tevékenység során - bármilyen okból - bekövetkező olyan esemény, amely a biztonságot kedvezőtlenül befolyásolhatja, és az emberek nem tervezett

¹³ Vinnay István(é.n.): *Nukleáris fogalomtár*, kézirat <https://adoc.pub/aktiv-zona-a-reaktornak-az-a-terfogata-melyben-a-lancreakcio.html> letöltve: 2022.07.17.

sugárterhelését, valamint a környezetbe radioaktív anyagok nem tervezett kibocsátását eredményezi vagy eredményezheti.

nukleáris baleset:

Minden olyan rendkívüli esemény, amely atomkárt okoz. ¹⁴

küszöbdózis:

A radioaktív sugárzások hatása csak bizonyos szint felett mutatható ki. Ezt a határértéket nevezzük küszöbdózisnak. ¹⁵

dekontaminálás:

A szennyeződés fizikai, kémiai vagy biológiai eljárással történő eltávolítását dekontaminálásnak nevezzük. ¹⁶

¹⁴ 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról *<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600116.TV>
letöltve: 2022.08.08.

¹⁵ Szabó S. András (1985): *Radioökológia és környezetvédelem*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 203. o.

¹⁶ 2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2200002.oah> letöltve: 2022.08.05.

4. AZ ESET HATÁSAI KÖRNYEZETVÉDELMI SZEMPONTBÓL

A külső sugárterhelés ellen háromféle módon tudnak védekezni a helyváltoztatásra és cselekvésre képes élőlények. Ez a három lehetőség az idővédelem, tehát minél rövidebb ideig szabad a sugárforrás közelében tartózkodni, a második a távolságvédelem, azaz minél nagyobb távolság tartása a radioaktivitástól és a harmadik a sugárelnyelő rétegek alkalmazása, a megfelelő védőfelszerelések használata. Ezek együtt alkalmazva a leghatékonyabbak. Egyértelmű, hogy emberi beavatkozás hiányában a környezetnek, de leginkább a növényvilágnak nincs esélye az előbb említett módokon védekeznie a sugárterheléssel szemben. Kiszolgáltatottak, így nagyon fontosak és szükségesek a környezetvédelmi szabályok alkotása, betartása és a mentesítő beavatkozások. A környezetvédelem mindenkinek az ügye.

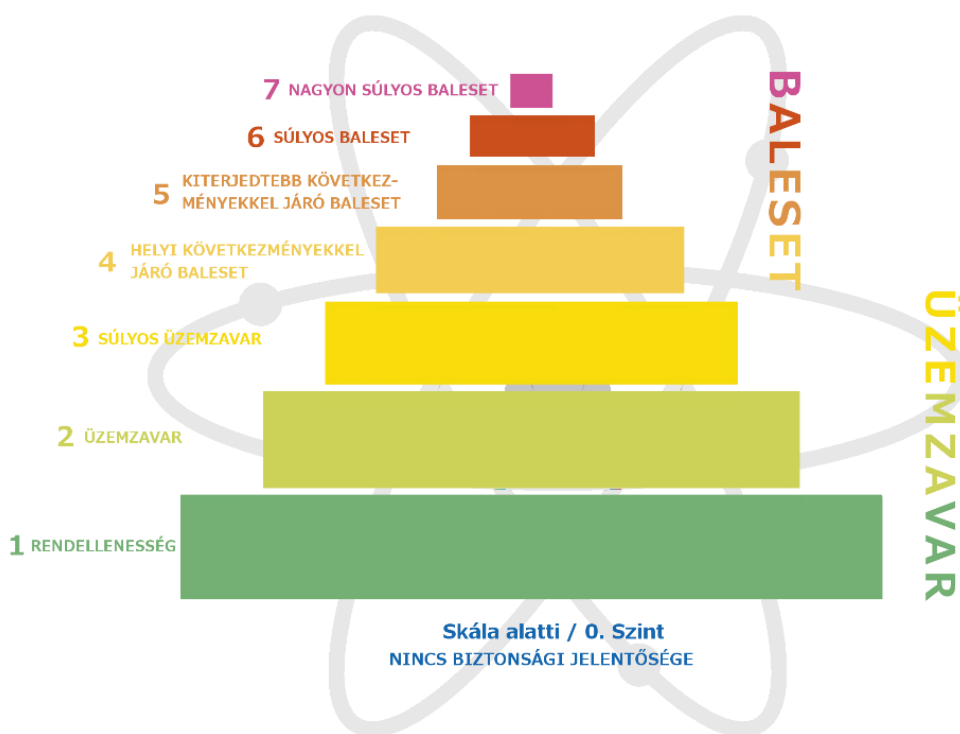
Különböző csoportosítások alapján fel lehet osztani ezeket a hatásokat, én időbeliség szerint osztottam két részre, így a balesetet követő azonnali hatásokat és a későbbi, napjainkig aktuális hatásokat külön szempontok alapján tudom vizsgálni.

4.1. A baleset azonnali hatásai a környezetre

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség létrehozta az INES-minősítést, hogy kategorizálhassa a baleseteket a Nemzetközi Nukleáris és Radiológiai Esemény Skála szerint, tehát ez az adott esemény biztonsági jelentőségének jelzője.¹⁷

Az INES skála szerint 7-es besorolású lett a reaktor 4. blokkjának szerencsétlensége. Ennek alapján nagyon súlyos balesetnek minősítették, amire csak egyetlen másik esetben volt eddig példa, a 2011. 03. 11-én bekövetkezett fukusimai atomerőmű baleseténél.

¹⁷ 2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről <https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2200002.oah> letöltve: 2022.08.05.



6. ábra: Az INES skála

forrás: https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?openagent&menu=02&submenu=2_6_1

letöltve: 2022.07.10.

A csernobili baleset egy olyan ipari katasztrófa, ami a szabadba jutva a környezet katasztrófáját okozta rövidtávon. Bekövetkezésekor számos radioaktív anyag jutott ki a környezetbe, ezek a következő táblázatban láthatók, amik felezési idejük növekedése szerint állnak sorrendben.

Ezeknek a radioaktív anyagoknak különböző az aktivitásuk és a felezési idejük is, vagyis az az időtartam, ami alatt a radioaktivitása a felére csökken a kezdeti állapothoz képest. 8-10 felezési idő lejárta után az adott terület nagyjából visszaáll az eredeti állapotára. ¹⁸

Ezt figyelembe véve a táblázatból egyértelműen kiderül az is, hogy miért aktuális még napjainkban is a csernobili baleset, hiszen ez nemcsak a múltunkat, jelenünket és a jövőnket érinti, hanem még leendő leszármazottaink jövőjét is.

IZOTÓP	FELEZÉSI IDŐ
--------	--------------

¹⁸ Half-Lives and Radioactive Decay Kinetics

https://saylordotorg.github.io/text_general-chemistry-principles-patterns-and-applications-v1.0/s18-05-half-lives-and-radioactive-dec.html letöltve: 2022.07.19.

²³⁹ Np	2,356 nap
⁹⁹ Mo	2,7489 nap
¹³² Te	3,204 nap
¹³³ Xe	5,2475 nap
¹³¹ I	8,02 nap
¹⁴⁰ Ba	12,752 nap
¹⁴¹ Ce	32,508 nap
¹⁰³ Ru	39,26 nap
⁸⁹ Sr	50,57 nap
⁹⁵ Zr	64,032 nap
²⁴² Cm	162,8 nap
¹⁴⁴ Ce	284,91 nap
¹⁰⁶ Ru	373,59 nap
¹³⁴ Cs	2,0652 év
⁶⁰ Co	5,2713 év
⁸⁵ Kr	10,776 év
²⁴¹ Pu	14,290 év
⁹⁰ Sr	28,90 év
¹³⁷ Cs	30,1671 év
²³⁸ Pu	87,7 év
²⁴¹ Am	432,2 év
²⁴⁰ Pu	6561 év
²³⁹ Pu	24110 év
²⁴² Pu	375000 év

1. táblázat: A csernobili balesetnél szétszóródott radizotópok

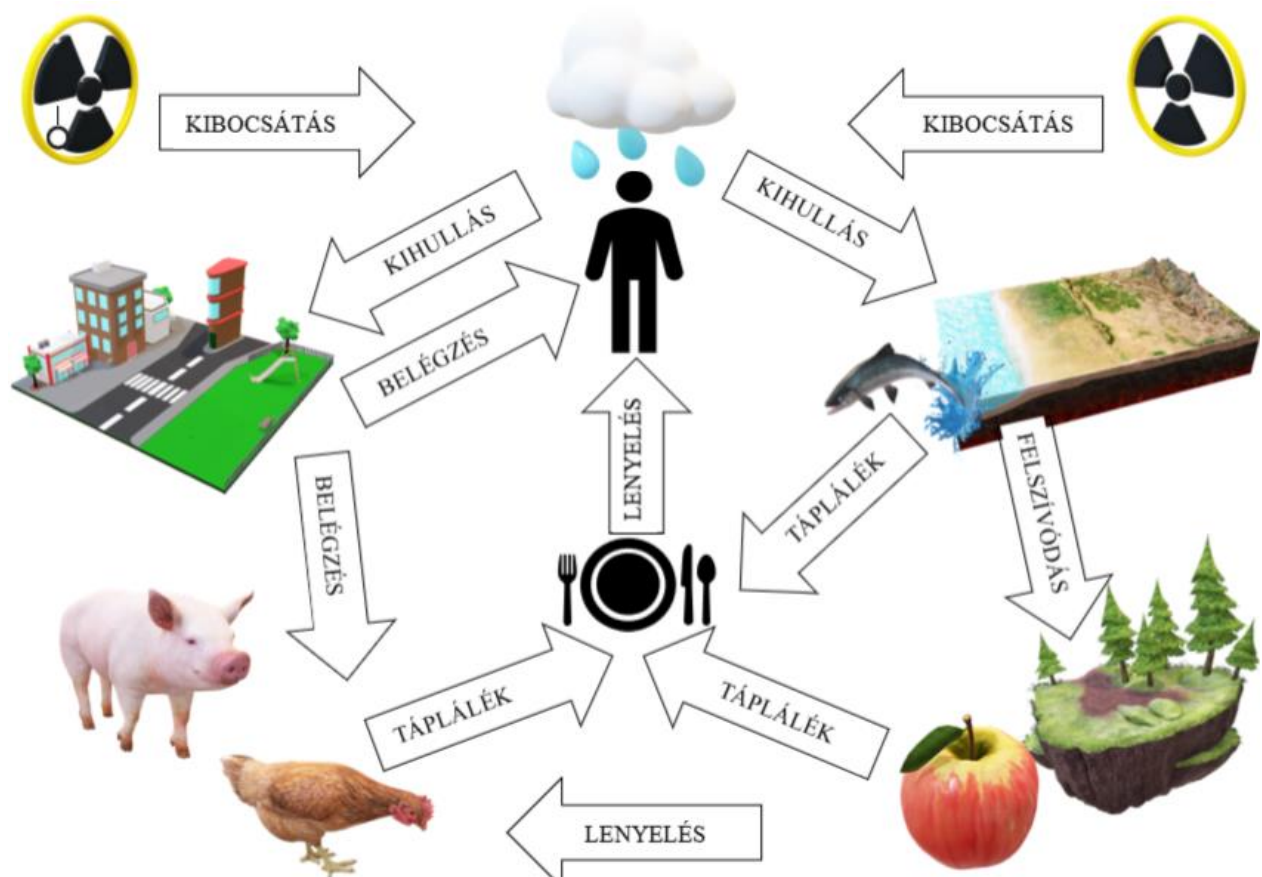
forrás: Szatmáry Zoltán-Aszódi Attila (2005): *Csernobil / Tények, okok, hiedelmek*, Typotex, Budapest alapján saját szerkesztés

A rövidtávú és azonnali következmények legfőbb okozója az aeroszolos és gőz formában megjelenő jód-131-es izotópja volt.¹⁹ Ez az izotóp került ki a sérült blokkból a legnagyobb mennyiségben, azonban 8 napos felezési ideje miatt hetek alatt elbomlott.

A Neptúnium-239, Molibdén-99, Tellúr-132 és a Xenon-133 izotópok a radiojódnál is gyorsabban bomlanak el, így ezen anyagok sugárzása egy hónapon belül visszaállt a normális értékre. A fent említett anyagok és az ionizáló sugárzások is bekerültek az élet körforgásába kisebb-nagyobb mértékben. A következő ábra egyszerűsítve szemlélteti, hogyan történhetett ez. A radioaktivitás alfa-, béta- és gamma-sugárzás formájában jutott ki a szabadba.

¹⁹ Dr. Domokos Endre sorozat szerk. (2012): Környezetmérnöki Tudástár
Dr. Somlai János szerk.: XIV. kötet, *Sugárvédelem*, Pannon Egyetem, Veszprém ISBN: 978-615-5044-39-7
<https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/14-sugvedelem.pdf> 148.o. letöltve: 2022.06.16.

Nem kímélte sem az élőlényeket, növényeket, állatokat, embereket, sem az élettelen világot, a tárgyakat. A radioaktív kihullás volt az egyik fő szennyezési forma. A magasabb légköri rétegekben szálló izotópok részecskéi a szél által sokfelé eljuthattak, majd a földfelszínre fokozatosan kerültek vissza. Leginkább a felhőkben végbemenő kiesőzéssel vagyis a különböző felületekre ráültek a radioaktív részecskék a lehulló csapadék miatt, ezen kívül a felhők alatti kimosódással és száraz, csapadékmentes időszakban gravitációs ülepedéssel is visszakerülhettek.²⁰ Így szennyeződött be sok település egésze, az épületek, építmények, az utak burkolata, a járművek és egyéb használati tárgyak és ugyanígy az erdők, mezők, vizek, az ott élő növényekkel és állatokkal együtt.



7. ábra: A radioaktív izotópok körforgása
forrás: saját készítésű

Az ábra középpontjában azért az emberi alak látható, mert szimbolizálni szeretném, hogy a probléma forrása és legfőbb elszenvedője is az emberiség lett.

²⁰ Szabó S. András (1985): *Radioökológia és környezetvédelem*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 47.o.

A kihullás többféle szempontból is érint mindenkit. Az erdőkben és a városokban a haszonállatok belélegzik majd a szennyezett növényekkel, hússal táplálkozva le is nyelik a sugárzó anyagokat, ahogyan az ember is miután bekapcsolódik a táplálékláncba.

A táplálkozás során a talajból a növénybe, onnan az állat szervezetébe kerülő radioaktív anyagok koncentrációja a kiindulási töménységhez képest változik a különböző anyagcsere folyamatok miatt.²¹

A baleset közelében a Pripjaty-folyó a már említett kihullás mellett a talajból beszivárgó radioaktivitásból is részesült és kis mértékben ugyan, de a mai napig tart ez a típusú sugárterhelése a folyónak. Az így a vízbe került radioaktív részecskék bejuthatnak a vízi élőlények szervezetébe, például olyan halakéba, amit előszeretettel fogyasztanak az emberek, tehát ez is elfogyasztásra kerülhet. Az ivóvíz tisztítására, szűrésére vagy máshonnan kinyerésére van lehetőség, de ez nem jelent garanciát arra, hogy alkalmazzák is ezeket a technológiai eljárásokat.

Mivel növényeket is fogyasztunk, így a sugárszennyezett zöldségek, gyümölcsök, gabonafélék is bejuthattak az emberi szervezetbe.

A veszélyes anyagokkal azonban nem csak így lehetett kapcsolatba kerülni, mert a levegőben szálló radioaktív por belélegzése is jelentős károkat okozott a testben, leginkább a légzésért felelős szövetekben. Inkorporáció esetén a legnagyobb kárt az alfa-sugárzó anyagok okozzák.

A Vörös-erdő is megszenvedte a katasztrófát minden lakójával együtt. Az emberi tünetekhez hasonlóan alakultak ki az állatokban sugársérülések, a későbbiekben pedig sugárbetegség.

Korabeli titkos jelentések alapján, ami mára már nyilvánossá vált, a balesetet követő 2-3 héten belül az környéken ottmaradt kutyák, macskák, varjak és más madarak tömegesen elpusztultak.²²

A korai, vagyis a determinisztikus hatások csak bizonyos elnyelt sugárdózis felett jelentkeznek. Ha a sugárzás által okozott károsodások meghaladják annak a védekező rendszernek a gyorsaságát, kapacitását, ami az élettani folyamatok helyreállítását szolgálja, vagy azok is megsérülnek, akkor az ionizáló hatás a szervezet súlyos működési zavarához vezet, súlyosabb

²¹ Szabó S. András (1985): *Radioökológia és környezetvédelem*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 82. oldal

²² *A kijevi nagykövetség tájékoztatója a csernobil környéki intézkedésekről (1986. május 16.)* (1986) rejteltávirat https://csernobil-archivum.hu/sites/default/files/dokumentumok/26_Marjai_121_42_majus16.pdf letöltve: 2022. 09. 01.

esetben annak vagy egy-egy szervnek a megbetegedéséhez, a legsúlyosabb esetben pedig beáll a halál.

Az ionizáló sugárzásnak nincs íze, nincs szaga, nincs színe... Nincs vészjelzés... Speciálisan erre a célra fejlesztett eszközökkel, mérésekkel szerezhethetünk csak tudomást róla, hogy jelen van valahol vagy a mutatózó tünetekből lehet következtetni rá, ami olykor már késő...

A különböző élőlények, fajok, testrészek, szervek máshogyan reagálnak a sugárzásra. Elmondható, hogy minél magasabb rendű életformáról van szó, annál érzékenyebb a sugárhatásokra.

Az állatokat és növényeket érő nagymértékű, ionizáló sugárzások biológiai hatásai között van a nekrozis, klorózis, szürkehályog kialakulása, bőrfekély keletkezése, ismétlődő fertőzések, rákos daganatok jelentkezése főleg a pajzsmirigy, a vér a csont és a bőr területén, illetve mutagén, teratogén hatása is megjelenhet, DNS-ben, génekben, kromoszómákban okoz maradandó változásokat, fejlődési rendellenességet. Ezek az esetek azon élőlények körében mutatkozott a baleset után, amelyeket 0,3 Gy feletti sugárdózist szenvedtek el.²³

Minden élőlénynek, szövetnek, sejtnak más a sugárzással szembeni érzékenysége. Ez a sugárzás kibocsátása alatt, az azt megelőző és követő időszak környezeti feltételeitől, tehát sok tényezőtől függ. A sugárhatásra befolyással lévő tényezők elkülöníthetők biológiai, kémiai és fizikai szempontok szerint. Ezek lehetnek időjárási, hőmérsékleti viszonyok vagy a sugárzás fajtája, az attól védő vagy éppen arra érzékenyítő vegyületek jelenléte, a sejtek életkora, osztódási sajátosságai és egyéb körülmények, így csak megbecsülni lehet, milyen környezeti válasz érkezik egy adott sugárterhelés elszívése után.²⁴

Jelentős bizonytalansággal találjuk szembe magunkat ezen a ponton, hiszen csak a matematikai valószínűségszámítás adhat támpontot azokhoz az adatokhoz, hogy milyen egyedet milyen mértékben és hogyan fog befolyásolni egy adott sugárterhelés.

²³Dr. Aszódi Attila (2006): *Csernobil 20 éve*, Első megjelenés: Fizikai Szemle 56. kötet, 4. szám, 114-118.
<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0604/aszodi0604.html> letöltve: 2022.06.24.

²⁴ Damjanovich Sándor-Fidy Judit-Szóllósi János szerk. (2007): *Orvosi biofizika* 3. javított kiadás, Medicina, Budapest

Az alábbi táblázatban kerültek rangsorolásra a fajok érzékenységi sorrend szerint:

FAJ MEGNEVEZÉSE	50%-A ELPUSZTUL 1 HÓNAP UTÁN AZ ALÁBBI SUGÁRTERHELÉS MELLETT
emlősök	1,5-10 Sv
szárnyasok	10-150 Sv
gombák, baktériumok	50-300 Sv
rovarok	600-800 Sv
egysejtűek	1000-3000 Sv

2. táblázat: A fajok érzékenysége

forrás: Dr. Ballay László- Dr. Kerti Márta (2016): *Sugárvédelmi oktatás Segédanyag bővített fokozatú képzéshez*, kézirat, Juhász és Makár Bt. Budapest

Nagy különbség van az egész testet, szervezetet ért és lokálisan csak egy-egy szervet érintő sugárzás miatti károsodás között. Előbbi jóval veszélyesebb.

A különböző szervek sugárérzékenységét az alábbi táblázat tartalmazza:

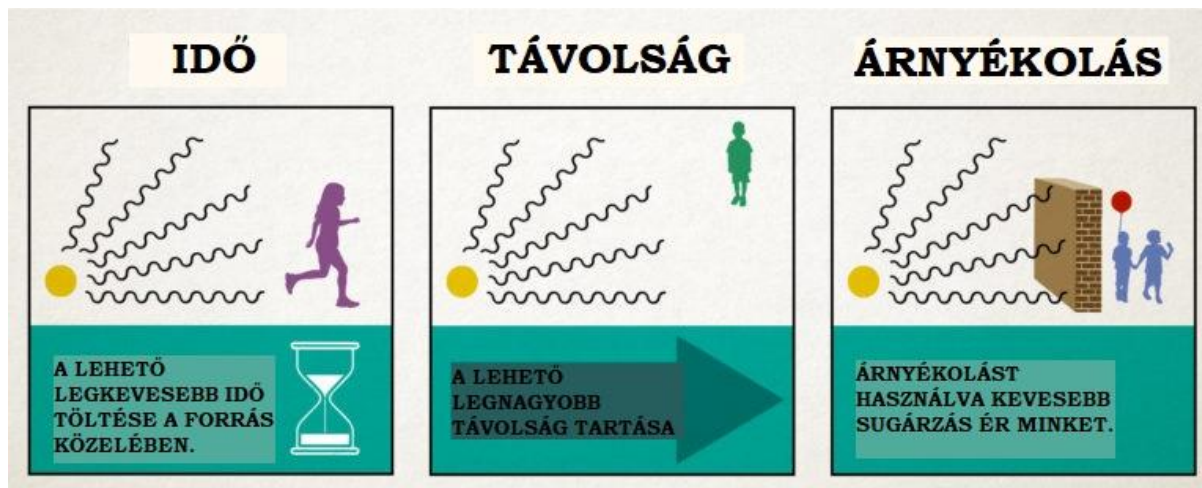
NAGYON ÉRZÉKENYEK	KÖZEPESEN ÉRZÉKENYEK	VISZONYLAG ELLENÁLLÓAK
nyirokszövetek	szív	izomszövet
vékonybélhám	érrendszer	kötőszövet
ivarszervek	belső és külső elválasztási mirigyek	zsírszövet
csontvelő	máj	idegszövet
	vese	bőr

3.táblázat: Szervek sugárérzékenysége, forrás:

<https://atomeromu.mvm.hu//media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Sugarvedelmi-fogalmak.pdf?la=hu-HU> alapján saját szerkesztés

4.2. A beavatkozás során történt szennyezés

Az ALARA-elv egy sugárvédelemre vonatkozó alapvető fogalom, ami az angol „As Low As Reasonable Achievable” kifejezésből származó mozaikszó. Lényege az optimálás, vagyis a lehető legkisebb sugárterhelés mellett kell a sugárveszélyes munkakörben dolgozni.



8. ábra: Az ALARA-elv,

forrás: https://discardstudies.com/2016/05/09/illustrating-the-invisible-an-interview-with-yuko-on-the-radiation-monitoring-project-illustrations/time-distance-shielding_color-768x307/

alapján saját szerkesztés, letöltve: 2022.08.21.

Sajnos a csernobili erőmű baleseténél az elsődlegesen beavatkozó likvidátoroknak ez a feltétel nem adatott meg, lényegében nem is tudták, hogy milyen veszéllyel állnak szemben.

A radioaktivitás csökkentését célzó műveletek során a környezetbe juttatott anyagok, mint a bór, vagy a dolomit, amik kis mennyiségben kedvező hatást fejtenek ki, viszont nagy mennyiségben az élő szervezetbe jutva egészségügyi problémákhoz vezetnek. Ezek a környezetet megváltoztatva negatív hatással voltak az erőmű közvetlen közelére, így a Vörös-erdőre is.

4.3. Hosszabb távú környezeti hatások

Az emberi beavatkozás következménye, hogy az ökológiai egyensúly megbomlott.

A balesetet követő években megjelentek a pripjatyi térség élővilágában a sztochasztikus, vagyis a késői hatásai az ionizáló sugárzásnak. A Vörös-erdőben ezek különböző biológiai károsodások formájában mutatkoztak. Az élő anyagot érő ionizáló sugárhatásokkal a sugárbiológiai tudományága foglalkozik.

A szövetet, szerveket és szervezetet érintő következmények között működési zavar vagy teljes működéskiesés lépett fel. A sejtszintű következmény vagy a sejt elhalása volt, vagy a túlélő sejtekben aberráció, mutáció mutatkozott. A sugárzás okozhatja a DNS károsodását is, ez az elnyelt dózis és a sugárérzékenység függvénye.²⁵ Az egyik leggyakoribb probléma a sejtosztódási zavar volt és ez megfigyelhető napjainkban is például a fák lehullajtott lombkoronáin. A normális és ideális körülmények között lebontó baktériumok és gombák tevékenyen dolgoznának az elszáradt növényi részek megfelelő ütemben történő eltüntetésén, azonban a fent említett funkciós zavarok, sejtpusztulások káros módon befolyásolják az apró élőlények munkáját.

A lassan bomló Stroncium-90, Cézium-137, és a Plutónium különböző izotópjai máig kimutathatóak és mérhetőek és ezek lebomlására még több száz évet, néhány izotóp esetében több ezer évet kell várni. Ami igazán jelentős mértékben megtalálható a zónában és a legfőbb szennyező forrás a természetben, az a Cézium-137.²⁶

Azonban az élővilág kitartó élni akarása eredményeképpen a részben elpusztult erdő helyén új fák növekedtek, viszont a növekedés során a normálistól eltérő fejlődési jelenséget lehetett megfigyelni, például a törzs szokatlan elágazásai, a virágzat duplázódása, hajtás-pamacsok kialakulása, a levelek és virágok szokatlan színe és mérete. Ezek okai közt azok állhattak, hogy a radioaktív izotópok nemcsak a növények felületén tapadtak meg, hanem a felszíni talajba is bemosódva a növények a gyökérzetükön keresztül fel tudták venni.

Megfigyelt jelenség, hogy a céziumot inkább a levélen keresztül, direkt módon veszik fel, míg a stronciumot a talajból.²⁷

Fontos kiemelni azt a tényt, hogy ezek a genetikai eredetű elváltozások csak az erőmű közvetlen közelében, a legnagyobb szennyezést elszenvedett területen voltak megfigyelhetőek.

A térségben az eurázsiai állatvilág egyedei voltak jellemzők, mint például a barna medve, őz, vörös róka vagy a vaddisznó. Számuk megcsappant a balesetet követő időszakban.

²⁵ Fehér István-Deme Sándor szerk. (2010): *Sugárvédelem*, Eötvös Kiadó, Budapest

²⁶ Szatmáry Zoltán-Aszódi Attila (2005): *Csernobil / Tények, okok, hiedelmek*, Typotex, Budapest 103-104.o.

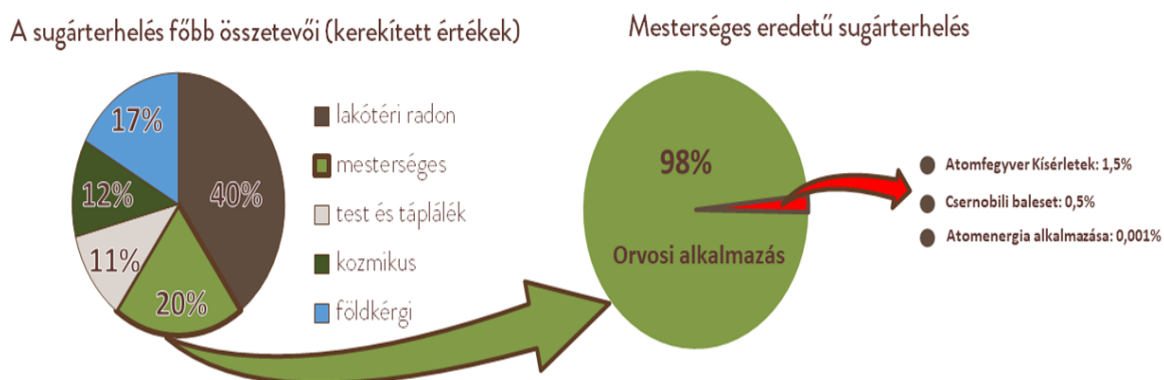
²⁷ Szabó S. András (1985): *Radioökológia és környezetvédelem*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 86.o.

Sok helyen megjelent arról beszámoló sajtóhír, hogy a 0,05 Gy/év alatti dózisintenzitásnak kitett állatok között gyakori születési rendellenesség mutatkozott, azonban ezt tudományosan nem sikerült alátámasztani.

A Vörös-erdő flórája és faunája napjainkra többnyire rendeződött, azonban még mindig mérhető egyes területeken magas sugárzás. Az emberi szervezetre ezek kedvezőtlen hatással lehetnek, azonban az állatok és a növények már meglehetősen jól reagálnak a radioaktivitás jelenlétére.

Élletterük optimálisnak mondható, hiszen a lezárt területen, vagyis a zónán belül csekély annak a mértéke, hogy ember zargatja a békésen élő erdőt, hiszen az lényegében lakatlan, emberi tevékenységektől mentes.

Az állatfajok elszaporodásának is kedvező ez a feltétel, így a kisebb és nagyobb vadak mellett, mint vaddisznó, farkas, megjelent a rétisas újabb egyedekkel és fészkelni kezdett. Számukra szintén az érintetlenség miatt előnyös a terület, mert a faj rendkívül érzékenyen reagál a zavarásra.



9. ábra: A sugárterhelések százalékos eloszlása

forrás: <https://rhk.hu/hirek/2020/4/3/koezerthetoen-a-radonrol>, letöltve: 2022. 07. 07.

Az élőlényeket érő sugárzást két fő részre lehet osztani, így beszélhetünk természetes és mesterséges eredetű sugárzásokról. A kettőt összeadva megkapjuk az elszenvedett sugárterhelés értékét. Ahogyan az ábrán látszik, a természetes eredetű sugárzásnak a nagy részét a levegőben jelen lévő radongáz okozza, ezt követi nagyságrendileg, mintegy 20%-ban a mesterséges sugárzás. Ennek legnagyobb része, megközelítőleg 98%-a orvosi alkalmazás

során keletkezik, ami leginkább csak az embereket érinti, a további 2% megoszlik az atomfegyver kísérletekből visszamaradt sugárzások és a csernobili balesetből származó sugárzás között. Jól látszik, hogy az atomerőművekből kijutó radioaktivitás nagyon csekély mértékű, vagyis a környezetre és az élővilágra gyakorolt hatása nem számottevő.

4.4. A mentesítés érdekében tett lépések

Az erőmű körüli leginkább szennyezett földfelszíni részeket néhány méter mélyen kiásták és új földréteget hordtak rá. A sugárzó földet speciális konténerekben elhelyezve kellett volna elszállítani, azonban ez az esetet taglaló források zöme szerint nem így történt. Az esemény sürgős beavatkozást kívánt meg, így megfelelő felkészültség hiányában a Vörös-erdő leginkább szennyezett részét kivágták és in situ, az erdő területén 2-3 méter mély gödrökbe temették. A felső rétegére csupán 20-30 cm vastagságban hordtak radioaktivitástól mentes homokot. Az utána következő időszakban beültették fenyőfákkal, nyírfákkal és bokros növényzettel a területet, hogy megakadályozzák a talajeróziót vagy azt, hogy a szél elhordja a sugárzó hulladékkal telt gödröket borító felső talajréteget.²⁸

A felszíni talajjavításra a Vörös-erdőben a sűrű növényzet miatt nincs lehetőség, de szükségessége nem elhanyagolható, főleg az úgynevezett forró pontoknál, ahol még mindig magas sugárdózis mutatkozik. A természet radiológiai mentesítése vagy nehezen vagy egyáltalán nem megoldható, hiszen, ha le is mossuk felületükről a szennyeződést, a mentesítő anyag talajra és talajba jutását nehéz lenne megakadályozni, az pedig a növények gyökérzetén keresztül ismét a felszínre és az élet körforgásába jutna.

A területen akkoriban ott élő szerencsétlen sorsú állatok nagy részét elpusztították, ezzel is megkísérelve a káros hatások terjedésének mérséklését.

Összesen 17316 tonna anyagot juttattak légi kiszórással a mentesíteni szükséges 4. blokkra és környékére helikopterekből. A kijuttatás mennyiségének csökkenő sorrendjében az anyagok a következők voltak: ólom, márványtörmelék, zeolit, homok, trinátrium-foszfát, dolomit, kaucsuk, polimerizálódó folyadék, bórkarbid.²⁹

²⁸ Impact of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantings on long term ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr recycling from a waste burial site in the Chernobyl Red Forest. (2009) *Journal of Environmental Radioactivity* Volume 100, Issue 12.1062-1068. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X0900109X> letöltve: 2022.08.14.

²⁹ Pátzay György (2017): *Csernobil-2017 Csernobil hatásai napjainkban*, kézirat <https://kvi.uni-nke.hu/document/kvi-uni-nke-hu/patzay-gyorgy-csernobil-2017.original.pdf> letöltve: 2022.08.14.

6720 tonna ólom. Elemi állapotában szürke színű, hajlékony, jól megmunkálható nehézfém.

Sűrűsége miatt alkalmas a radioaktív sugárzások nagy részének elnyelésére, emiatt leggyakrabban ezt az anyagot használják árnyékolásra. Az emberi szervezetbe bejutva kiszorít egyéb, létfontosságú fémeket (vasat, cinket, kalciumot), nagyobb adagban ólommérgezést okoz.

3532 tonna márványtörmelék. Ez egy kristályosan szemcsés mészkő.

1890 tonna zeolit. Alumínium-szilikát-ásvány. Tisztítószerként gyakran alkalmazzák, molekulaszitának is nevezik. A zeolitok megkötik a vizet, ezért szárításra, vízelvonásra is használhatók.³⁰

1800 tonna homok. Különféle kőzeteknek és ásványi anyagoknak apró szemű törmeléke. Szintén tisztító céllal használható, a vizet átengedi, azonban a nagyobb szemcseméretű szennyeződések megkötik.

1536 tonna trinátrium-foszfát, más néven trisó. A foszforsav nátriummal alkotott sója. Általában fehér por formájában kapható. A trinátrium-foszfátot alkotó foszforsav erős kalcium-megkötő képessége miatt a szervezetből kalciumot von el.

1167 tonna dolomit. Ez egy természetes, üveges fényű karbonátásvány.

489 tonna kaucsuk. Viszkózus anyag. A gumigyártás legfőbb alapanyaga. Vulkanizálás során rugalmassá válik. Jó szigetelő anyag.³¹

140 tonna polimerizálódó folyadék. A polimerizáció olyan kémiai reakció, amelyben, valamely telítetlen (kettős kötésű), kis molekulájú (monomer) vegyület azonos molekulái, melléktermék keletkezése nélkül óriásmolekulává egyesülnek.

42 tonna bórkarbidot bór és szén kristályos vegyülete. Ez egy rendkívül kemény, szintetikusan előállított anyag. Az atomenergia iparban szabályzórudakban alkalmazható.

A bór szagtalan, íztelen, sötétszürke fémes fényű, szilárd, kemény anyagként vagy barna por formában jelenik meg. Elektromos vezetőképessége a hőmérséklet növekedésével egyenesen arányosan növekszik. Neutronelnyelő képességű.

³⁰ A zeolit (1999) kézirat

<https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/tudakozo/mm/zeolit.html> letöltve: 2022. 07. 22.

³¹ Schelb Tamás (é.n.): *A gumi története*, kézirat, Budapest

<https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/tudakozo/kokel/gumi.html> letöltve: 2022.07.20.

5. A VÖRÖS-ERDŐ RÉSZLETESEBB VIZSGÁLATA



3. kép: A Vörös-erdő a baleset utáni állapotban

forrás:https://www.reddit.com/r/Damnthatsinteresting/comments/ty0cds/the_red_forest_chernobyl_1996_it_is_red_because/ letöltve:2022.08.20.

Az egykori Vörös-erdő legnagyobb része ugyan kivágásra került, de az el nem pusztult fák egy része és rajtuk kívül számos más növény és a talaj is ottmaradt, illetve a kivágott fák sem kerültek messzire, ahogyan korábban már szó esett erről, azokat az erdő területén talajfelszínközelsben helyezték el. Azok a sugárzó részecskék, amik 1986-ban kihullottak erre a területre és hosszú felezési idővel rendelkeznek, még mindig jelentős mértékben kimutathatóak.

A mesterséges eredetű radioaktív kontamináció legnagyobb mértékben a ^{137}Cs és a ^{90}Sr izotóptól származik és néhány helyen úgynevezett forró pontokat alakít ki, tehát ott koncentrálódik. ³² Ezeket a szakemberek környezeti monitorozással követik nyomon, a sugárzó anyagokból származó külső dózisteljesítményt, azokat folyamatosan mérik, vizsgálják.

³² Szabó S. András (1985): *Radioökológia és környezetvédelem*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 37.o.

Az erdőben, ahogy más természeti közegben is a növények jelzést adnak a maguk módján és informálódhatnak az állapotukról, a környezetben bekövetkezett változásokról, esetünkben a sugárszennyezettségükről. Jelzik a károsodást, ezáltal segítséget nyújthatnak a védekezésben is. Ha időben észleljük, reagálhatunk a jelzéseikre és lehetőségünk adódik a helyzet javítására vagy meg tudjuk akadályozni a környezetet érő további negatív folyamatok végbemenetelét.

Biológiai indikátorként jelzéseket adhat számunkra többek között a zuzmó, tűlevelű fák levelei, a jegenyenyár, amik megtalálhatóak a Vörös-erdő területén is.

A látható károsodás alapján értékelhetjük a biológiai indikátorokat. Ezek makroszkopikus tünetek, mint a levélnekrozis, amikor a terhelés hatására a sejtek és a szövetek elhalnak. A tűlevelűeknél, például az erdeifenyőnél -mint ami a Vörös-erdőt is alkotta- a levél hegyén kezdődik a barnás elszíneződés. Egy másik makroszkopikus tünet lehet a levélklorózis, ami abban az esetben fordul elő, amikor kis mennyiségű szennyező anyag hosszú ideig tartó krónikus hatást fejt ki. Ekkor a levélben látható zöld klorofil elbomlik -ami érzékenysége révén enyhe hatásra is károsodik- , így megjelenhetnek a vöröses színárnyalatok is.

A növekedés megváltozása szintén makroszkopikus tünet. Az immisszió hatására az érzékeny növényeken különböző tünetek mutatkoznak meg.

A másik nagy csoport a mikroszkopikus tüneteké, itt citológiai károsodás jelentkezik.

A harmadik csoport a fiziológiai és biokémiai, kémiai változásoké. Ide sorolhatóak az ökofiziológiai tünetek, biokémiai tünetek és a kémiai változások.³³

5.1. Az eredetileg ott élő organizmusok

A korabeli képek alapján a Kis Növényhatározó című könyv³⁴ segítségével beazonosítottam néhány eredetileg ott élt növényt, amelyek az egykori Vörös-erdőben éltek.

Erdei fenyő (pinus sylvestris): a nyitvatermők közé tartozó tűlevelű, örökzöld fenyőfajta.

Az eredeti erdő zömét ilyen fák alkották.

³³ dr. Kovács Margit et al. (1986): *A környezetszennyezést jelző és mérő élőlények*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest

³⁴ Simon Tibor-Csapody Vera (1984): *Kis növényhatározó rendszertani és ökológiai tájékoztatóval*, 11. bővített kiadás, Tankönyvkiadó, Budapest



4. kép: Erdei fenyő

forrás: <https://www.profifaiskola.hu/novenykatologus/tujak-ciprusok-fenyok/pinus-sylvestris-erdeifeny%C5%91-> letöltve: 2022.08.19.

A kijutott radioaktív anyagokat nemcsak a levélzeten és a kérgen keresztül közvetlenül vették fel a fák, hanem a talajból is. Meglehetősen nagy dózist kaptak azok a példányok, amelyikek a klorózis és nekrosis jeleit mutatták, ezt jól bizonyítja az a tény is, hogy a növények képesek tünetmentesen akkora nagyságú dózist inkorporálni, amekkora egy állati vagy emberi szervezetben már jelentős károkat okozna.

A botanikában a klorózis az az állapot, amikor a levelek nem állítanak elő megfelelő mennyiségű klorofillt, ami a zöld színt adja, ennek következtében fakul, sárgul.

A növényeket sok biotikus és abiotikus hatás éri, amik növényi stresszt okoznak. A biotikus stresszorok közé leginkább a kártevők jelenléte, rongálása tartozik, az abiotikus stresszorok pedig a növény környezetében megjelenő nagyfokú változások lehetnek, például rendkívüli hőség vagy éppen extrém hideg, de ide sorolható a nagymértékű sugárzás is, mint, amilyen a Vörös-erdőt is érte.³⁵

A sugárzás negatív hatásaival szemben a növények szaporodását szolgáló részek, a virágzat, termés, mag sokkal érzékenyebbek, mint a vegetatív gyökér, szár vagy a levél.³⁶

³⁵ dr. Tamás László et al. (2013): *Növényélettani vizsgáló módszerek*, Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Budapest https://www.eltereader.hu/media/2014/05/Novenyelettani_vizsgalo_READER.pdf 25.o.

letöltve: 2022. 08. 12.

³⁶ Szabó S. András (1985): *Radioökológia és környezetvédelem*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 91.o.

Jegenyenyár (Populus nigra 'Italica'):

Formája oszlop alakú, keskeny lombkoronája van. A jó vízelvezető képességgel rendelkező talajt kedvelik és a napsütést. Nagyon gyorsan nő és éri el akár a 15 méteres magasságot is. Rövid életűek, mert érzékenyek a kártevőkre és a betegségekre, éppen emiatt jó szolgálatot tehet indikátorként.



5. kép: Jegenyenyár

forrás: <http://www.botanikaland.hu/populus-nigra-italica/jegenyenyar/> letöltve 2022.08.19.

5.2. A baleset utáni élővilág

A balesetet követő évben a növények reprodukciós képességeinek csökkenése mutatkozott azoknál a példányoknál, amik 1 Gy feletti sugárterhelést kaptak, viszont a későbbiekben nem voltak egyértelmű jelei annak, hogy a Vörös-erdő nagy részét alkotó erdei fenyő szaporodási képessége megváltozott volna, tehát a közhiedelemmel ellentétben nem érintett minden növényt súlyos genetikai mutáció, egyéb elváltozás.³⁷

³⁷Stanislav A Geras'kin -Alla A Udalova (2011): *Effects of radioactive contamination on Scots pines in the remote period after the Chernobyl accident*, Ecotoxicology, Springer Nature
https://www.researchgate.net/publication/50937340_Effects_of_radioactive_contamination_on_Scots_pines_in_the_remote_period_after_the_Chernobyl_accident letöltve: 2022.09.09.

Biológiai alkalmazkodóképessége minden élőlénynek van, persze nem egyforma mértékben. Ezek olyan tulajdonságok, amiknek köszönhetően az adott élőlény rugalmas marad bizonyos határokon belül az őt ért környezeti hatásokkal szemben. Ha egy populáció minden egyede képes tolerálni a megváltozott körülményeket, akkor beszélhetünk ökológiai akklimatizációról.³⁸

A teljesség igénye nélkül néhány Vörös-erdőben élő növény és állat rövid bemutatása következik:

-erdei fenyő (pinus sylvestris):

Néhány eredeti fenyő is megmaradt, de telepítettek is újakat. Különös elváltozás nem látható ezeken a példányokon.



6. kép: Erdei fenyő közelről,

forrás:https://www.fitoland.hu/kategoriak/ampolnas_novenyek_13/erdei_fenyo_20261, letöltve: 2022.08.27.

-jegenyenyár (Populus nigra 'Italica'):

Érzékenysége ellenére sok van belőle a szennyezett területeken. Ez egy újabb bizonyítéka lehet annak, hogy a sugárzás szintje nem annyira magas, ami káros elváltozást okozhatna a növényekben.

³⁸ Székely Pál (1983): *Ökológia kislexikon*, Natura, Budapest 13. o.



7. kép: Jegenyenyár közelről

forrás: https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Ramilla-de-alamo-Populus-nigra-var-Italica_fig1_28057246 letöltve: 2022.08.27.

-közönséges nyírfa (betula pendula):

Leginkább a csapadékos vagy vízközei helyeket kedveli, de laza és kötött talajon is jól érzi magát, azonban jól tűri a szélsőséges körülményeket is.³⁹



8. kép: Nyírfa

forrás: <https://tajkertesz.com/termek/betula-pendula-kozonseges-nyirfa/> letöltve 2022. 08. 27.

³⁹ Fűzek <https://web.archive.org/web/20080614040939/http://www.aeszveszprem.t-online.hu/Fafajok/Fuzek.htm>
letöltve: 2022. 09. 09.

-*przewalski ló (equus ferus przewalskii)*:

Eredeti élőhelye Mongóliában volt és arról a kutatóról kapta a nevét, aki felfedezte az 1800-as évek végén. Már ekkor is kevés példány volt belőle, ez manapság sincs másképpen, főleg a ténylegesen vadon élőkből. Ezt a lófajtát szándékosan telepítették be a területre, és rövidesen megnövekedett ott a számuk. A megfigyelések alapján a zónában elhagyatott épületeket használják menedékként.⁴⁰



9. kép: Ménes

forrás: <https://www.rte.ie/news/newslens/2021/0423/1211647-chernobyl-wild-horses/> letöltve 2022. 08. 28.

-*gímszarvas (cervus elaphus)*:

A zónában elhelyezett vadkamerák segítségével sok ott élő állat megfigyelhető. A következő képen egy ilyen eszköz által készített kép látható a Vörös-erdőben élő gímszarvasról. Kedvelt élőhelye az erdős terület, ami gazdag cserjékben, ez takarást és nyugodt körülményeket biztosít számára. Leginkább lombleveleket, rügyeket és gyümölcsöket fogyaszt.⁴¹



⁴⁰ Chris Dyer (2019): *Rare wild horses are seen living among abandoned homes in the Chernobyl exclusion zone after scientists set up hidden cameras*, Mailonline, Daily Mail.com, London <https://srel.uga.edu/rare-wild-horses-are-seen-living-among-abandoned-homes-in-the-chernobyl-exclusion-zone-after-scientists-set-up-hidden-cameras/> letöltve: 2022.06.29.

⁴¹ Dr. Faragó Sándor (2006): *Magyar vadász enciklopédia*, Totem Plusz, Budapest

10. kép: Gímszarvas a zónában

forrás:<https://wildlife.org/wild-cam-wildlife-abundant-in-chernobyl-exclusion-zone/> letöltve:2022.08.28.

-jávorszarvas (*alces alces*):

A legnagyobb szarvasfaj a jávorszarvas, teste masszív felépítésű. Főleg a sűrű erdős, mocsaras vidékeket kedveli. Legveszélyesebb ellensége a farkas és a barna medve. A zord teleket nehezen viseli, ekkor a legyengült állat könnyebben válhat prédává. Tülevelekkel, lomblevelekkel, rügyekkel és vízi növényekkel táplálkozik.⁴²



11. kép: Jávorszarvas

forrás:https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_male_moose_takes_a_rest_in_a_field_during_a_light_rainshower.jpg, leöltve: 2022. 09. 01.

-vaddisznó (*sus scrofa*)

A vaddisznó ezen térségében élő alfajának szőrzete sötétbarna színű. Kedvelt élőhelye a nedves, mocsaras talajú sűrű erdő, de sok mindenhez alkalmazkodik, csak a teljesen nyílt, bűvőhely nélküli részeket és a magas hegyeket kerüli el. Ahol táplálékban gazdag területet talál, ott nagyobb kondákba verődnek össze.⁴³



12. kép: Vaddisznó a zónában

⁴² Csodálatos állatvilág kártyagyűjtemény, Mester Kiadó 1. csoport 38. kártya

⁴³ Dr. Faragó Sándor (2006): *Magyar vadász enciklopédia*, Totem Plusz, Budapest

forrás: <https://wildlife.org/wild-cam-wildlife-abundant-in-chernobyl-exclusion-zone/> letöltve:2022.08.29.

-vörös róka (*Vulpes vulpes*):

Nevében benne van a kinézetére jellemző szín, a testszőrzete javarészt vöröses árnyalatú. Nagyon elterjedt és ismert ragadozó állat, kisebb méretű állatokkal táplálkozik, például nyúllal. Élőhelyének megválasztása szempontjából nem válogatós, a létszükségletének kielégítéséhez sokfelé megtalálja a kínálkozó lehetőségeket.⁴⁴



13. kép: A vörös róka

forrás: <https://erdeiprogramok.hu/esemenyek/latvanytetesek-a-korosvolgyi-allatparkban/>

letöltve: 2022. 09. 02.

-eurázsiai hiúz (*Lynx lynx*):

Igazi ragadozó. Vadászterületének alkalmas a fenyves Vörös-erdő, amit leginkább sötétedés után használ zsákmányszerzésre. Fő tápláléka az őz, róka, nyúl és kisebb rágcsálók, ezért az állatpopulációk egyedszámának egészséges egyensúlyát segít megtartani.⁴⁵



14. kép: A hiúz

⁴⁴ Dr. Faragó Sándor (2006): *Magyar vadász enciklopédia*, Totem Plusz, Budapest

⁴⁵ Csodálatos állatvilág kártyagyűjtemény, Mester Kiadó 1. csoport 101. kártya

forrás: <http://zoldvaden.blogspot.com/2014/04/az-eurazsiai-hiuz-vedelme.html> letöltve:2022. 09. 02.

-szürke farkas (*canis lupus*):

Veszélyes ragadozó, de óvatos és intelligens, nem jellemző a ráaggatott kegyetlen jelző. Táplálkozásában nem válogatós, a kistestű állatoktól kezdve akár a testsúlyának tízszeresét nyomó nagyvadat is elejti. A különböző élőhelyekhez könnyedén idomul. Bundájának színe a fehértől a feketéig terjedhet.⁴⁶ A zónában az egyik legnagyobb számban előforduló állatfaj.



15. kép: Farkasok a zónában

forrás: <https://wildlife.org/wild-cam-wildlife-abundant-in-chernobyl-exclusion-zone/> letöltve 2022. 08. 29.

-közönséges denevér (*Myotis myotis*):

Éjjel aktív emlős. Rovarokkal táplálkozik. Lakhelyének kiválasztásakor a ritkás erdőket részesíti előnyben, de a barlangok, üreges fák is gyakori szállásuk.⁴⁷ Kedvező számára a zónában lévő sok, elhagyatott épület is, ahol a legmagasabb ponton fejjel lefelé csüngve pihen.



16. kép: Denevér repülés közben

forrás: <https://www.batcon.org/bat/myotis-austroriparius/> letöltve: 2022. 09. 03.

⁴⁶Csodálatos állatvilág kártyagyűjtemény, Mester Kiadó 1. csoport 128. kártya

⁴⁷Csodálatos állatvilág kártyagyűjtemény, Mester Kiadó 1. csoport 313. kártya

- barnamedve (*Ursus arctos*):

A medvefélék leginkább elterjedt képviselője. Élőhelyének megválasztása meglehetősen változatos. Színe a világosbarnától a sötétbarnáig különböző árnyalatokban fordul elő. Táplálékként a növényektől kezdve a kis rovarokon át, a nagyobb testű szarvasig mindenféle szolgálhat számára. Territoriális viselkedés nem jellemző rá. ⁴⁸



17. kép: A barnamedve

forrás:https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eurasian_brown_bear_%28Ursus_arctos_arctos%29_female_3.jpg letöltve: 2022. 09. 04.

-európai őz (*capreolus capreolus*):

A mérsékelt övi területeken nagyon elterjedt, általában az erdő rejtekében él. Fák és bokrok zsenge hajtásai jelentik legfőbb táplálékát, de előszeretettel fogyaszt egyéb növényi részeket, gyümölcsöket is. ⁴⁹



18. kép: Őzbak

⁴⁸A barnamedve <https://www.hu/archiv/barnamedve> letöltve: 2022.09. 20.

⁴⁹ Csodálatos állatvilág kártyagyűjtemény, Mester Kiadó 1. csoport 309. kártya

forrás: <https://www.deerstalkinguk.com/knowledge/roe-deer-capreolus-capreolus/> letöltve: 2022. 09. 06.

-európai bölény (*bison bonasus*):

A mérsékelt öv egyik legnagyobb képviselője. Súlya akár 1000 kg is lehet. Testfelépítését tekintve a szarvasmarhára hasonlít a legjobban.



19. kép: Bölény a zónában

forrás: <https://wildlife.org/wild-cam-wildlife-abundant-in-chernobyl-exclusion-zone/> letöltve 2022. 08. 30.

A genetikai ártalmak kockázatát az emberben a II. világháborús atomrobbantások, az utána következő atomfegyverkezési verseny miatti atomrobbantási kísérletekből származó kihullás és az atomiparban bekövetkező katasztrófák mellett a kísérleti állatokon kapott eredmények alapján becsülik, tehát elmondható, hogy nagyon hasonló hatásai vannak a sugárzásnak az emberekre és az állatokra.⁵⁰

Faj	Félhalálos dózis (Gy)
kutya	3-4,3
egér	4-6,5
denevér	150
amőba	1000

4. táblázat: A különböző fajok összehasonlítása a félhalálos dózisok kapcsán,

⁵⁰ Sugárfizikai és sugárvédelmi ismeretek (é.n.) SZTE Nukleáris Medicina Intézet
<https://u-szeged.hu/download.php?docID=86451> letöltve: 2022.08.11.

forrás: Damjanovich Sándor-Fidy Judit-Szöllősi János szerk. (2007): Orvosi biofizika 3. javított kiadás, Medicina, Budapest alapján saját szerkesztés

2016. 04. 26-án, a baleset 30. évfordulójának napján a zóna területét hivatalosan vadrezervátumként minősítették, aminek legfőbb célja az egyedülálló növény- és állatvilág megőrzése, a szennyezés mérséklése és kutatások végzése a természettudomány különféle területein. A területen 23 féle szárazföldi állatot és 7 vízit figyeltek meg, továbbá 1256 magasabb rendű növényfajt, 120 fajta zuzmót és 200 féle mohát találtak.⁵¹

⁵¹ *Chernobyl radiation and ecological biosphere reserve*
https://www.iaea.org/en/press/news/2012/07/12_chernobyl_radiation_and_ecological_biosphere_reserve letöltve: 2022.07.12.

6. TECHNOLÓGIAI LEHETŐSÉGEK A ZÓNÁBAN

A zónában több szervezet és vállalkozó is tevékenykedik. A napjainkban is aktuális projektek között ott szerepel az IAEA támogatása jelentős összeggel az ukrán intézményeknek, a radioaktív hulladékok és kiégett nukleáris fűtőelemek kezeléséhez, az erőmű leszereléséhez és a radioökológiai megfigyelésekhez vagy az Assystem Engineering and Operation Services SAS segítségével a dozimetriás ellenőrző rendszer korszerűsítésére és a környezet sugárzásának ellenőrzésére.⁵²

6.1. A természet mentesítésének lehetőségei

A Vörös-erdőt ért radioaktív szennyeződés eltávolítására vagy a sugárzás csökkentésére léteznek különböző módszerek, melyek között vannak hatékonyabb és kevésbé hatékony eljárások is, de felmerül a kérdés, hogy szükséges-e megbolygatni a természetet, az ottani flórát és faunát, ami már alkalmazkodott a helyzethez? Jót tenne-e az élővilágnak egy kevésbé radioaktív környezet, aminek eléréséhez egy ideig emberi jelenlét szükséges és bizonyos esetekben a természetben okozott változásokkal jár?

A mentesítés során megkülönböztethetünk in situ, azaz a természetes közegben, lelőhelyen végzett eljárást és ex situ, vagyis a természetes lelőhelyen kívül végzett technikákat. Egy nagyobb kiterjedésű terület esetében, amilyen a Vörös-erdő is, egyszerűbb lenne in situ végezni a mentesítést.

Ismerünk talajmentesítő eljárásokat, mint például a fitoremediáció, talajlevegőztetés, talajmosás, oldószeres extrakció, amikkel lehetőség lenne a sugárzás csökkentésére.⁵³

⁵² ChNPP Decommissioning, Current Projects

<https://chnpp.gov.ua/en/activity/chnpp-decommissioning/ongoing-projects> letöltve: 2022.09.07.

⁵³ Dr. Domokos Endre sorozat szerk. (2012): Környezetmérnöki Tudástár,

Dr. Horváth Erzsébet szerk.: XXIV. kötet, *Talajtan és talajökológia*, Pannon Egyetem, Veszprém https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/24-Talajtan_es_talajokologia.pdf 117.o. letöltve: 2022.06.20.

A fitoremediáció egy jó tűrőképességű növénytakaró kialakításán alapuló természetbarát biotechnológia. Időigényes ugyan és a szennyeződés egy részét nem lehet vele eltávolítani, viszont véleményem szerint a Vörös-erdő helyszínének sajátosságait figyelembe véve ez az egyik leginkább és leghatékonyabban alkalmazható úgy, hogy az ottani élővilág szempontját is figyelembe vesszük.

Előnye más mentesítő eljárásokkal szemben, hogy alkalmazása olcsóbb, viszonylag nagy területen is hatékonyan működik, nincs szükség külön speciális létesítmények létrehozására, nem fogyaszt energiát, nem bocsát ki káros anyagokat.

Hátránya, hogy a dekontamináció csak korlátozott mélységű és kiterjedésű területen valósítható meg vele, ott, ahol a növények gyökérzete található, csak innen képes felszívni magába a szennyeződést. További előnytelen tulajdonsága, hogy lassú az eljárás, hiszen a növények növekedése időigényes folyamat.⁵⁴

Talajmosás, ami akár mentesítő, semlegesítő folyadékkal, akár egyszerű vízzel is történhet, azonban kötött talaj esetében, szinte hatástalan, de lazább talajtípusnál is csak csekély mértékben hatékony és egyáltalán nem környezetkímélő.

A talajlazítás szintén a sugárzás csökkentését célzó eljárás lehet.

A könnyű szerkezetű talajok a kötöttel szemben sokkal gyorsabban áteresztik magukon a radioaktív szemcséket, hamarabb a mélyebb rétegekbe tud mosódni, például a homok esetében kevésbé van akadályoztatva az izotóp lefelé irányuló mozgása, ezáltal a felszíni kibocsátás csökken és a vertikálisan nem túl mélyre hatoló gyökérzettel rendelkező növények egyre kevesebb szennyeződést képesek felszívni onnan.⁵⁵

A sajtóhírek beszámolója szerint egészen újfajta eljárásokkal is kísérleteznek a szakértők. Egy Exlterra nevű svájci cég 2019-ben kezdett telepíteni a zónában egy Nucleus Separation Passive System nevű rendszert együttműködésben az ukrán SSE Ecocentre-el összefogva. 2020 közepé óta üzemeltetik, ami azon az elven működik, hogy nagy sebességű pozitron részecskékkel megbontják az izotópok kötéseit, amivel semlegesíthetők. A technológia még annyira új, hogy

⁵⁴ R.O. Carpena - M. Pilar Bernal (2007): *Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos*, Ecosistemas es la revista científica y técnica de ecología y medio ambiente, Asociación Española de Ecología Terrestre https://www.researchgate.net/publication/39439864_Claves_de_la_fitorremediacion_fitotecnologias_para_la_recuperacion_de_suelos letöltve: 2022.09.14.

⁵⁵ Szabó S. András (1985): *Radioökológia és környezetvédelem*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest 69.o.

hosszútávú következtetéseket jelenleg még nem lehet levonni az eredményekről, de áttörést jelenthet a környezetvédelem sugármentesítésében.⁵⁶

6.2. A terület ipari felhasználásának lehetőségei

Az elhagyatott területek bizonyos részein olyan alacsony szintű a sugárterhelés, hogy ismét alkalmassá válhatnak a különböző ipari tevékenységekre, mint például fakitermelésre vagy megújuló energiát termelő eszközök telepítésére, azonban nincs szükség a környezet további denaturálására, ezért minősítették 2016-ban vadrezervátummá a lezárt zóna területét, ezzel lehetőséget adva az ottani élőlényeknek, hogy tovább tartson háborítatlan életük. Azonban olyan iparágnak, mint például a bioipar, lenne lehetősége alkalmazni a technológiai újdonságokat, így az innovatív sugármentesítési technológiákkal teret hódíthatna magának. A biológia, radiokémia és a nukleáris fizika területén pedig kísérletekhez, vizsgálatokhoz járulhat hozzá.

6.3. Radioaktív hulladékok kezelése

Mi lesz a zónában maradt radioaktív hulladékkal? Van lehetőség a kontamináció csökkentésére?

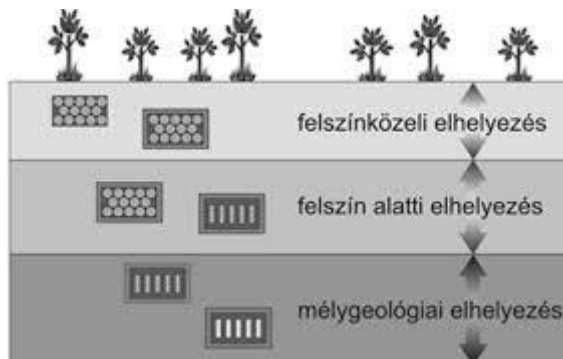
A sugárzó anyagok kezelése nem egyszerű feladat. A hosszú felezési idővel bíró izotópokkal szennyezett hulladék tárolására olyan megoldást kell találni, aminek köszönhetően az nem juthat ki a természetes környezetbe. Erre például a föld alatti izotóptemetők vagy a vasbeton kutak alkalmasak, amik tervezésénél fontos szempont, hogy vízzárók és ellenállók legyenek a talajvízbe és a talajba való beszivárgás ellen is.⁵⁷

Ebből egyértelműen következik, hogy a Vörös-erdő alatt lévő veszélyes hulladéknak nem szabadon a felszín közelében elásva kellene lennie, hanem sugárzó anyag számára speciálisan

⁵⁶Bobák Áron (2021) *Egy svájci cég azt állítja, hogy csaknem felére csökkentették a sugárzás szintjét Csernobil egy részén*, *Rakéta.hu* <https://raketa.hu/egy-svajci-ceg-azt-allitja-hogy-csaknem-felere-csokkentettek-a-sugarzas-szintjet-csernobil-egy-reszen> letöltve: 2022. 09. 19.

⁵⁷ Bakács Tibor (1977): *Környezetvédelem*, Medicina, Budapest ISBN 963-240-064-x 170.o.

kialakított hulladéktárolóban. Ilyen hulladékok számára több szintű elhelyezési gyakorlat létezik, amit a következő ábra szemléltet.



10. ábra: A radioaktív hulladékok elhelyezésének szintjei

forrás: <http://www.matud.iif.hu/07jan/07.html> letöltve 2022. 08. 17.

Veszélyes hulladéknak minősülnek azok a különböző halmazállapotú és minőségű anyagok, amik a keletkezési helyükön feleslegessé válnak, ott nem lehet tovább felhasználni azokat. A radioaktív hulladékok veszélyes hulladékok, különböző kategóriákba sorolhatóak.

Felosztásuk történhet halmazállapot szerint, ekkor megkülönböztetünk szilárd, folyékony és légnemű anyagokat.

Aktivitásuk koncentrációja alapján léteznek kis, közepes és nagy aktivitású csoportok.

Felezési idejük figyelembevételével is osztályozhatók, ekkor rövid, közepes és hosszú élettartamú radioaktív hulladékokról beszélünk.⁵⁸

A zónában maradt épületek, tárgyak, járművek, eszközök különböző mértékben szennyezettek és az atomerőmű mentesítése mellett ezekre is fontos figyelmet és energiát fordítani. Olyan hulladékkezelési eljárásra van szükség, amely a hulladék anyagi minőségének megváltoztatásával, illetve a hulladéknak a környezettől való elszigetelésével megakadályozza a további környezetkárosítást.

⁵⁸ Kátai-Urbán Lajos szerk. (2013): *Iparbiztonságtan 1. Kézikönyv az iparbiztonsági üzemeltetői és hatósági feladatok ellátásához*, Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Budapest 509.o.



11. ábra: A radioaktív hulladékokhoz használt védőeszközök

forrás: <https://rhk.hu/timeline/nemzeti-radioaktivhulladek-tarolo> letöltve: 2022. 09. 04.

A megfelelő műszaki védelemmel ellátott hulladéklerakóban való elhelyezés célja pont ez, vagyis a hulladék környezetterhelő hatásának a lehető legminimálisabb szintre való csökkentése.

A veszélyes hulladékok lerakásánál legalább 20-30 éves távlatban szükséges gondolkodni, és be kell tartani a legszigorúbb környezetvédelmi előírásokat, hogy a negatív hatású kockázatokat alacsony szinten tarthassuk.

A radioaktív hulladék elhelyezése leginkább föld alatti speciális tárolóban oldható meg.

Ennek létrehozásánál, kiépítésénél fontos figyelembe venni bizonyos szempontokat. A legfontosabbak közül néhány; a terület mérete, lehetőség van-e a bővítésére, a következő a megközelíthetősége a szennyeződés gyűjtőhelyéről, ezeken túl figyelembe kell venni biztonsági okokból, hogy milyen távolságban van a természetes vizektől, közművektől, illetve néhány környezetvédelmi szempontot is ki kell emelni, mint a hely ökológiai adottságait, tájvédelmi, természetvédelmi szabályokat és a vonatkozó környezetvédelmi előírásokat.

Az Európai Unióban és hazánkban is ezt jelenleg a COM (97) 0105 Final-Syn 97/005 számú előírás foglalja össze.⁵⁹ Ez azonban jelenleg még nem vonatkozik az Ukrajna területén lévő csernobili térségre, mivel egyelőre- 2022-ben- nem tagja az Európai Uniónak.

A V.I.L. erőmű már nem üzemel, de a leszerelése, ártalmatlanítása és elbontása nagyon hosszú folyamat.

⁵⁹Dr. Domokos Endre sorozat szerk. (2012): Környezetmérnöki Tudástár, Dr. Horváth Erzsébet szerk.: XXIV. kötet, *Talajtan és talajökológia*, Pannon Egyetem, Veszprém https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/24-Talajtan_es_talajokologia.pdf 123-124.o. letöltve: 2022.06.20.



20. kép: A csernobili erőmű az új szarkofággal

forrás: <https://24.hu/tudomany/2020/02/07/csernobili-atomeromu-gombak/> letöltve: 2022. 09. 05.

Az erőmű közelében ideiglenes veszélyeshulladék-tárolókat alakítottak ki és külön kezelik a folyékony és a szilárd halmazállapotú radioaktív anyagokat.

A folyékony állagú sugárzó hulladékot a Liquid RAW Treatment Plant (LRTP)-Belgatom helyezi biztonságos tárolókba miután elvégezték a bepárlás és a cementezés műveleteit, majd a cementtel alkotott keveréket megszilárdult formában 200 literes hordókba csomagolják és vasbeton konténerekbe helyezve szállítják el a hulladéklerakóba.⁶⁰

A szilárd radioaktív hulladékok kezelésére a Industrial Complex for SRW Management - NUKEM egy veszélyes hulladékok kezelésére szolgáló ipari komplexumot hozott létre a zónán belül. Itt lehetőség van különböző munkafolyamatok végrehajtására, mint a válogatás aktivitás szerint, a méretcsökkentés és a tárolás.⁶¹

⁶⁰Liquid Radioactive Waste Treatment Plant (LRTP) (2019)

<https://chnpp.gov.ua/en/187-projects/completed-projects/436-2010-09-13-07-21-32436> letöltve: 2022.08.06.

⁶¹ChNPP has obtained the separate permit to commission Industrial Complex for Solid Radioactive Waste (ICSRM) (2014) <https://www.uatem.org/en/2014/06/02/chnpp-has-obtained-the-separate-permit-to-commission-industrial-complex-for-solid-radioactive-waste-icsrm.html> letöltve: 2022.08.24.

7. AZ ATOMENERGIA ÉS A RADIOAKTIVITÁS MEGÍTÉLÉSE

7.1. Megítélés tudományos szempontból

Sajnos a hangzatos és misztikus címekkel megjelenő áltudományos vagy tudományosságot teljesen nélkülöző publikációkból sincs hiány az online térben. Ezek a figyelemfelkeltő kezdősoraikkal jobban vonzzák az olvasók többségét, mint a valóban tudományos alapokon nyugvó írások. Szeretném, ha igazság megfelelő teret nyerne és széles körben belátná az emberiség az atomenergia és a radioaktív izotópok alkalmazásának számos előnyét és azt, hogyha biztonságos rendszerek, műszerek kerülnek megépítésre és betartják az üzemeltetők a szigorú biztonsági szabályokat, akkor ezek használatának veszélye csekély mértékű.

A csernobili erőmű balesete kétségkívül az egész Földön változásokat indított el az atomenergetika világában. A katasztrófa után létrehozták a Nemzetközi Nukleáris Eseményskálát, röviden az INES-t és az Atomerőmű Üzemeltetők Nemzetközi Szervezetét, a WANO-t, amiben a tagok az atomerőművekkel kapcsolatos tapasztalatokat, új információkat osztották meg egymással. ⁶²

Az atomenergia népszerűsége valószínűleg a hozzá értő szakemberek szemében és tudományos körökben nem változott, de társadalmi nyomásra -főleg a történelem második leghíresebb nukleáris balesete, a fukushimai után- kénytelenek voltak sokan más energiatermelő lehetőségek felé húzni, hiszen sok atomerőművet leszereltettek, például Németországban.

A radioaktív izotópok alkalmazására számos más lehetőség is kínálkozik a tudományos életben az energiatermelésen kívül. Az ionizáló sugárzások nemcsak pusztításra képesek, hanem állhatnak a tudás szolgálatában is. A nyomjelzés aktivációs analízissel fontos szerepet tölt be a gyógyászatban, például a vas vagy a B₁₂ vitamin hatásának tanulmányozásában, csontok vizsgálatában, mérgezések kimutatásában. Az orvoslás legismertebb eljárása a társadalom számára a rákos sejtek és szövetek sugárterápiája.

Szintén aktivációs analízissel végezhetők a radiokémia területén is vizsgálatok, kormeghatározásra is alkalmas, ami a régészetet segíti. A mezőgazdaságban is hasznossá

⁶² Prof. Dr. Aszódi Attila (2019): *System error – gondolatok a csernobili minisorozatról*
https://aszodiattila.blog.hu/2019/06/23/system_error_gondolatok_a_csernobili_minisorozatrol
letöltve: 2022.07.28.

tehető, többek között a tápanyagok útját, felszívódását figyelhetjük meg a növényekben vagy magok csíráztatásához alkalmazható.

Ipari használata is jelentős, az aktivációs analízissel olaj- és vízvezetékek vizsgálatát, föld alatti kutatásokat is lehet végezni. Az indikátor módszerrel különböző folyamatok nyomkövetésére nyílik lehetőség, az ipari kutatásban és az ipari termelésben egyaránt. Néhány példa ezekre; abszorpciós vastagság- és sűrűségmérők, visszaszórásos vastagságmérők, kopásvizsgálatok, statikus töltések semlegesítése, lumineszcens fény gerjesztése, gumigyártás, üveggyártás, korróziós vizsgálatok.⁶³

7.2. Megítélés társadalmi szempontból

Egy rövid teszt formájában információt gyűjtöttem a magyar lakosság tájékozottságáról a radioaktivitás témakörében 250 fő részvételével. A teszt kitöltőinek 52,4%-a legalább érettségivel és 37,2%-a főiskolai vagy egyetemi végzettséggel rendelkezik, tehát feltételezhető, hogy rendelkeznek némi alapvető ismerettel ebben a témakörben is, azonban a válaszok arra engednek következtetni, hogy komoly hiányosságok vannak a radioaktivitás ismeretének témakörében.

Általánosan elmondható, hogy a népesség tart az atomerőművektől - amiben nagy szerepe van a csernobili balesetnek is - és jobbnak gondolják a megújuló energiaforrások használatát. A kitöltők 8%-a a fosszilis energia alkalmazását, 56,8%-a pedig a megújuló energiaforrásokat tartja jobbnak.

Véleményem szerint ez a félelem és megítélés a nem tudásból vagy a hiányos ismeretekből származik. Ugyanezen okokra gondolok, mikor arra a kérdésre, hogy „Hallott-e már arról, milyen hatást gyakorolhat a radioaktivitás a növényvilágra? Ha igen, írjon néhány példát!” 250-ből 141 válaszadó jelölte meg az igent és a legtöbb válaszuk a pusztulás vagy azzal kapcsolatos volt. Az emberek jelentős részének fejében a radioaktivitás és a pusztulás elválaszthatatlan szópárrá vált, holott megfigyelhető, hogy azok a területek, amik jelentős sugárterhelésnek lettek kitéve, rövid idő múlva tele vannak élettel, ahogyan a Vörös-erdő is. A zóna területén, amit a balesetet szenvedett erőmű körül jelöltek ki, számos növényi és állati populáció megtalálható. Ezek az egy időben és térben létező fajok egyedei erősek és a biológia élni akarása mutatkozik meg bennük lenyűgöző módon.

⁶³ Kroó Norbert, Quittner Pál (1969): *Radioaktív izotópok gyakorlati alkalmazása*, Gondolat, Budapest 57-154.o.

A kérdőívemben található „Mennyit tud a radioaktivitásról?” kérdésre a megkérdezettek 5,2%-a ismerte el, hogy nem tud róla semmit, 75,2% felelte, hogy kevés ismerettel rendelkezik és 20% nyilatkozta azt, hogy sokat tud a témáról. A teszt egészéből kiderült számomra, hogy a valamennyi ismerettel rendelkező 238 fő egy része vélhetően a teszt kitöltése közben tájékozódott nem hiteles forrásokból, hiszen az olyan alapvető, a témakörhöz kötődő fogalmakra adott válaszokat -mint a radioaktív izotóp és a felezési idő- felismerhetően az internetes keresés első taláлатаiból másolták be, azonban beismerni nem akarták, hogy nem rendelkeznek a kérdésben megfelelő tudással.

Érdeklődtem a kérdőívben, hogy lenne-e igényük az embereknek arra, hogy bővítsék a radioaktivitással kapcsolatos ismereteiket és szerencsére túlnyomó részt, 74,8%-ban igenleges választ kaptam, amit azért gondolok pozitívnak, mert ez is egy fontos témakör és a társadalomnak szükséges ismernie, hogy mi veszi körbe. A radioaktivitást, bár nem halljuk, nem érezzük és nem látjuk, de ott van mindenhol... A földkéregből származó és a kozmikus sugárzás a mindennapjaink természetes része, amiken túl egyéb sugárterhelés is ér legtöbbünket, például egy orvosi képalkotó röntgenvizsgálat során.

8. VONATKOZÓ SZABÁLYOZÁSOK

A szabályok megalkotásának célja, hogy egyéni és társadalmi szinten is meghatározzák, mi a helyes. Alkalmanként ezek csak informális, szóbeli formában jelennek meg, azonban a veszélyes anyagokkal és iparral kapcsolatban nagyon fontosak az írott formában létrehozott, mindenki számára világossá tett szigorú követelmények létrehozása és betartása.

Az ionizáló sugárzás biztonságos használatának elősegítéséhez szükség van a sugárzó anyagok megismerésére is és azok fejlődésével együtt a sugárvédelem haladása is fontos, így alakultak ki a különböző szabályozások és ajánlások a törvényeken túl.

A felsoroltak között csak a csernobili baleset utániak szerepelnek.

-ICRP 26 megfogalmazza a sugárvédelem 3 fő alapelvét: indoklás, optimalás, korlátozás

-1991 ICRP 60

-1996, IAEA, Nemzetközi Biztonsági Alapszabályzat: Az ionizáló sugárzás elleni védelem és a sugárforrások biztonsága, Biztonsági sorozat No.115 ajánlás

Tulajdonképpen ez az alapja a jelenleg érvényben lévő sugárvédelmi szabályozásnak is.

-2006 IAEA: biztonsági alapelveket magába foglaló SF-1, vagyis a Fundamental Safety Principles.

-2007 ICRP 103⁶⁴

-IBSS-60 A sugárvédelem alapelveit tartalmazó kiadvány

⁶⁴ Fehér István-Deme Sándor szerk. (2010): *Sugárvédelem*, Eötvös Kiadó, Budapest 22.o.

9. JAVASLATOK A TANULSÁGOK TÜKRÉBEN

9.1. Iparbiztonsági szempontból

A szakembereket a mai napig foglalkoztatja az 1986. 04. 26-ai ipari katasztrófa témája és számos értekezésre került sor, ahol részletesen megvizsgálták a balesethez vezető eseménysort, az esemény lefolyását és annak következményeit. Sokkal szigorúbb biztonsági szabályokat alkottak az atomerőművek üzemeltetésével és működésével kapcsolatban is, hogy a jövőben ne fordulhasson elő hasonlóan súlyos, a környezetre és az atomenergetikára is hosszú időn át negatívan ható cselekmény. A villamosenergia-ipar szolgáltatása a mai modern technológiák működésének egyik legfontosabb feltétele, a termelést kiszolgáló infrastrukturális alapszolgáltatás. Szinte mindenki használ a mindennapokban villamos energiát egészen egyszerű rutinmozdulatok során, például lámpa felkapcsolásakor, különböző készülékeink töltésekor, főzéskor vagy a víz melegítéséhez. Elképzelhetetlennek tűnik a megszokott, kényelmes életvitel feladása, lemondás az elektromos árammal működő eszközökről ezért a nagymértékű és inkább csak növekvő energiaigénnyel lépést kell tartani. Az atomenergia békés célú felhasználását igyekeznek sokféle módon kiváltani a szakemberek, azonban még mindig nem találtak olyan jó és hatékony konstrukciót, amivel ténylegesen pótolni lehetne az atomenergiát. A nukleáris ipar egy nagyon költséges, de nagyon eredményes energiatermelő forrás is, azonban az RBMK reaktortípus nem veszélytelen a tervezési és kivitelezési hibái miatt. Ezt az egykori Szovjetunió megtapasztalta 1986-ban és a V. I. Lenin erőmű sérült blokkját azonnal, a másik 3 blokkot pedig lassanként kénytelen volt leállítani. Ez jelentős energiakiesést jelentett számára és komoly anyagi vonzatai is voltak. Ezen felül a környezet mentesítése érdekében tett lépések is jelentős kiadásokat jelentettek, így gazdasági szempontból meglehetősen veszteséges volt. A baleset rávilágított, hogy jóval szigorúbb szabályok és többlépcsős biztonsági rendszer kialakítása szükséges, ami garantálhatja a biztonságos üzemelést az RBMK reaktortípusoknál is.

Az eddigi fejlesztések jó irányba mutatnak, viszont nem szabad megelégedni az elért szintekkel, az újabb kutatások eredményeit figyelembe véve lehetne tovább fejleszteni minden szabályozót és érvényre juttatni azokat, miközben kialakításra kerülhetne vele egy modernebb vállalati kultúra.

A veszélyes hulladékok kezelésének korszerűsítése szintén elengedhetetlen. Jól átgondolt, frissülő szabályozókra és innovatív szakemberek kellene. Hogy ez megvalósulhasson,

nélkülözhetetlen a tudás megszerzése, ami állhatna egy középfokú intézmény által nyújtott oktatásból, ahol a szakmai alapokat lehetne elsajátítani, illetve a témával kapcsolatos érzékenyítésnek is fontos szerepe lenne, ezt követően pedig minőségi képzéssel a felsőfokú tanulmányok folytatása következne. A veszélyes iparral kapcsolatos munkaköröket szükséges lenne jobban népszerűsíteni és megismertetni is, akár egészen fiatal életkorban, a pályaválasztás előtti időszakban. A cél, hogy környezettudatos, kreatívan gondolkodó és tenni akaró szakembereket nyerjünk.

9.2. Környezetvédelmi szempontból



12. ábra: Kétarcú világ

forrás: <https://www.elte.hu/content/kornyezetvedelmi-szakpszichologus-kepzes-indul-a-ppk-n.t.23328>

letöltve:2022. 08. 23.

Az elhagyni kényszerült Pripjaty várossal és más környező településekkel csúnya sebeket ejtettek az emberek a táj arculatán. Idővel a hasonlóan elhagyatott területek rekultiválhatók válnak, de a zóna emberi újrafelhasználásának megkezdéséhez még több időre van szükség.

Az eltelt idő során azonban a parlagon heverő területeken jól működő állat- és növénytakasulások alakultak ki. A vaddisznó, farkas, vörös róka, barna nyúl, erdei gombák, jegenyenyár, csak néhány példa a sok élőlény közül, amik meglehetősen jól érzik magukat a barátságatlannak látszó ember által elhagyott területeken.

A zóna vadrezervátummá minősítése kifejezetten előnyös lépés volt a természet lakói számára. Véleményem szerint ez az eljárás más ipari katasztrófa sújtotta vidéken is működőképes lehetne. Azok a térségek, amik emberi lakhatásra valamilyen oknál fogva alkalmatlanok, kiváló közeget nyújthatnak kevésbé érzékeny szervezetek, élőlények számára és a folyamatos

környezeti monitorozással értékes információkhoz juthatna a kémia és bioipar. Ezzel teret kaphatna a természet és tudomány is egyszerre.

A nukleáris tudománnyal és energiával foglalkozó szakemberek legtöbbje küzd azért, hogy a keserű emlékek árnyékában élő atomenergia jó színben tűnhessen fel.

10. ÖSSZEFOGLALÁS

Dolgozatom megírása közben meglehetősen sok forrásanyagot találtam és számos új ismeretre tettem szert, tehát célkitűzéseim közül az elsőt sikeresen teljesítettem és eközben bizonyossá vált, hogy az ionizáló sugárzások hatásának vizsgálata a kis és nagy dózist elnyelt organizmusokban is nagymértékben hozzájárulhatnak a tudomány előrehaladásához.

Második célkitűzésem egy hosszadalmas folyamat, azonban közvetlen környezetemben már igyekszem népszerűsíteni a forrásjegyzékben megjelölt dokumentumokat és átadni a radiológiával kapcsolatos ismereteket az érdeklődés függvényében. A kérdőívemben feltettem a kérdést, hogy szívesen bővítenék-e a radioaktivitással kapcsolatos ismereteiket a kitöltők, amire szerencsére nagyrészt igennel feleltek, tehát, a nem szakmai körökben lenne befogadóképesség az új információkra, amit pozitívumként értékelek.

Ezekén kívül szerettem volna egy sokak számára új csernobili perspektívát is adni, ami a scenario helyett a természetre gyakorolt sugárhatásokat vizsgálja. Véleményem szerint sikerült teljesíteni és remélem, hogy a rövid tanulmányom olvasása közben kedvet kap ahhoz a tisztelt Olvasó, hogy jobban elmélyüljön a témában és felfedezze, milyen sok tudományágot érint az esemény.

A Vörös-erdő tanulmányozása után megállapítható, hogy a területén mutatkozó biológiai sokféleség látványos. Az ott élő állatfajok sokasága és a rengeteg különböző növény jelenléte, zavartalan élete arra enged következtetni, hogy a legsúlyosabb kárt nem a mesterséges radioaktivitás okozza a természetben, hanem az, aki létrehozta... Az ember.⁶⁵

⁶⁵ Joshua Rapp Learn (2015): *TWS Member Finds Mammals In Chernobyl Recovering*, The Wildlife Society <https://wildlife.org/tws-member-finds-large-mammals-in-chernobyl-recovering/>
letöltve: 2022.08.18.

FORRÁSJEGYZÉK:

Dobor József (2014): *Iparbiztonság fizikai és kémiai alapjai* Nemzeti Közzolgálati Egyetem, Budapest, ISBN:978-615-5491-06-1

Pátzay György- Dobor József (2016): *Ipari tevékenységekből eredő veszélyforrások és elhárításuk*, Egyetemi jegyzet, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, Budapest, ISBN: 978-615-5527-91-3

Kátai-Urbán Lajos szerk. (2013): *Iparbiztonságtan 1. Kézikönyv az iparbiztonsági üzemeltetői és hatósági feladatok ellátásához*, Nemzeti Közzolgálati Egyetem, Budapest

Szatmáry Zoltán-Aszódi Attila (2005): *Csernobil / Tények, okok, hiedelmek*, Typotex, Budapest, ISBN: 978-963-493-060-0

Fehér István-Deme Sándor szerk. (2010): *Sugárvédelem*, Eötvös Kiadó, Budapest ISBN: 978-963-284-080-2

Dr. Ballay László- Dr. Kerti Márta (2016): *Sugárvédelmi oktatás Segédanyag bővített fokozatú képzéshez*, kézirat, Juhász és Makár Bt. Budapest

Szabó S. András (1985): *Radioökológia és környezetvédelem*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest ISBN:963-231-986-9

Damjanovich Sándor-Fidy Judit-Szöllősi János szerk. (2007): *Orvosi biofizika 3. javított kiadás*, Medicina, Budapest ISBN:978-963-226-127-0

Csodálatos állatvilág kártyagyűjtemény, Mester Kiadó

dr. Kovács Margit et al. (1986): *A környezetszennyezést jelző és mérő élőlények*, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest ISBN 963-232-245-7

Simon Tibor-Csapody Vera (1984): *Kis növényhatározó rendszertani és ökológiai tájékoztatóval*, 11. bővített kiadás, Tankönyvkiadó, Budapest ISBN 963-17-7926-2

Dr. Faragó Sándor (2006): *Magyar vadász enciklopédia*, Totem Plusz, Budapest ISBN: 978-963-590-398-6

Bakács Tibor (1977): *Környezetvédelem*, Medicina, Budapest ISBN 963-240-064-x

Kroó Norbert, Quittner Pál (1969): *Radioaktív izotópok gyakorlati alkalmazása*, Gondolat, Budapest

Széky Pál (1983): *Ökológia kislexikon*, Natura, Budapest ISBN: 963-233-095-1

Internetes források:

Dr. Domokos Endre sorozat szerk. (2012): *Környezetmérnöki Tudástár*

Dr. Somlai János szerk.: XIV. kötet, *Sugárvédelem*, Pannon Egyetem, Veszprém ISBN: 978-615-5044-39-7

<https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/14-sugvedelem.pdf>

letöltve: 2022.06.16.

Dr. Domokos Endre sorozat szerk. (2012): Környezetmérnöki Tudástár,
Dr. Horváth Erzsébet szerk.: XXIV. kötet, *Talajtan és talajökológia*, Pannon Egyetem,
Veszprém ISBN: 978-615-5044-49-6

https://tudastar.mk.uni-pannon.hu/anyagok/24-Talajtan_es_talajokologia.pdf

letöltve: 2022.06.20.

Dr. Aszódi Attila (2006): *Csernobil 20 éve*, Első megjelenés: Fizikai Szemle 56. kötet, 4. szám, 114-118.

<http://fizikaiszemle.hu/archivum/fsz0604/aszodi0604.html>

letöltve: 2022.06.24.

Európai Parlament (2014): *Forsmark: ahol először szereztek tudomást a csernobili atomkatasztrófáról*

<https://www.europarl.europa.eu/news/hu/headlines/society/20140514STO47018/forsmark-ahol-eloszor-szerettek-tudomast-a-csernobili-atomkatasztrofaraol>

letöltve: 2022.07.15.

Értelmező információk és meghatározások a sugárvédelemben (é.n.)

<https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Sugarvedelmi-fogalmak.pdf?la=hu-HU>

[/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Sugarvedelmi-fogalmak.pdf?la=hu-HU](https://atomeromu.mvm.hu/-/media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Sugarvedelmi-fogalmak.pdf?la=hu-HU)

letöltve: 2022.07.26.

A barnamedve <https://wwf.hu/archiv/barnamedve>

letöltve: 2022.09. 20.

2/2022. (IV. 29.) OAH rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről

<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=a2200002.oah>

letöltve: 2022.08.05.

1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról*

<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=99600116.TV>

letöltve: 2022.08.08.

Vinnay István(é.n.): *Nukleáris fogalomtár*, kézirat

<https://adoc.pub/aktiv-zona-a-reaktornak-az-a-terfogata-melyben-a-lancreakcio.html>

letöltve: 2022.07.17.

A kijevi nagykövetség tájékoztatója a csernobil környéki intézkedésekről (1986. május 16.)
(1986) rejtjeltávirat

[https://csernobil-](https://csernobil-archivum.hu/sites/default/files/dokumentumok/26_Marjai_121_42_majus16.pdf)

[archivum.hu/sites/default/files/dokumentumok/26_Marjai_121_42_majus16.pdf](https://csernobil-archivum.hu/sites/default/files/dokumentumok/26_Marjai_121_42_majus16.pdf)

letöltve: 2022. 09. 01.

Pátzay György (2017): *Csernobil-2017 Csernobil hatásai napjainkban*, kézirat

<https://kvi.uni-nke.hu/document/kvi-uni-nke-hu/patzay-gyorgy-csernobil-2017.original.pdf>

letöltve: 2022.08.14.

A zeolit (1999) kézirat

<https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/tudakozo/mm/zeolit.html>

letöltve: 2022. 07. 22.

Schelb Tamás (é.n.): *A gumi története*, kézirat, Budapest

<https://www.kfki.hu/~cheminfo/hun/tudakozo/kokel/gumi.html>

letöltve: 2022.07.20.

Sugárfizikai és sugárvédelmi ismeretek (é.n.) SZTE Nukleáris Medicina Intézet

<https://u-szeged.hu/download.php?docID=86451>

letöltve: 2022.08.11.

Bobák Áron (2021) *Egy svájci cég azt állítja, hogy csaknem felére csökkentették a sugárzás szintjét Csernobil egy részén*, *Rakéta.hu*

<https://raketa.hu/egy-svajci-ceg-azt-allitja-hogy-csaknem-felere-csokkentettek-a-sugarzas-szintjet-csernobil-egy-reszen>

letöltve: 2022. 09. 19.

Fűzek

<https://web.archive.org/web/20080614040939/http://www.aeszveszprem.t-online.hu/Fafajok/Fuzek.htm>

letöltve: 2022. 09. 09.

Prof. Dr. Aszódi Attila (2019): *System error – gondolatok a csernobili minisorozatról*

https://aszodiattila.blog.hu/2019/06/23/system_error_gondolatok_a_csernobili_minisorozatrol

letöltve: 2022.07.28.

dr. Tamás László et al. (2013): *Növényélettani vizsgáló módszerek*, Eötvös Lóránd Tudományegyetem, Budapest

https://www.eltereader.hu/media/2014/05/Novenyelettani_vizsgalo_READER.pdf

letöltve: 2022. 08. 12.

Idegen nyelvű internetes források:

Stanislav A Geras'kin -Alla A Udalova (2011): *Effects of radioactive contamination on Scots pines in the remote period after the Chernobyl accident*, Ecotoxicology, Springer Nature

https://www.researchgate.net/publication/50937340_Effects_of_radioactive_contamination_on_Scots_pines_in_the_remote_period_after_the_Chernobyl_accident

letöltve: 2022.09.09.

ChNPP Decommissioning, Current Projects

<https://chnpp.gov.ua/en/activity/chnpp-decommissioning/ongoing-projects>

letöltve: 2022.09.07.

Liquid Radioactive Waste Treatment Plant (LRTP) (2019)

<https://chnpp.gov.ua/en/187-projects/completed-projects/436-2010-09-13-07-21-32436>

letöltve: 2022.08.06.

ChNPP has obtained the separate permit to commission Industrial Complex for Solid Radioactive Waste (ICSRM) (2014)

<https://www.ATOM.org/en/2014/06/02/chnpp-has-obtained-the-separate-permit-to-commission-industrial-complex-for-solid-radioactive-waste-icsrm.html>

letöltve: 2022.08.24.

Half-Lives and Radioactive Decay Kinetics

https://saylordotorg.github.io/text_general-chemistry-principles-patterns-and-applications-v1.0/s18-05-half-lives-and-radioactive-dec.html

letöltve: 2022.07.19.

Joshua Rapp Learn (2015): *TWS Member Finds Mammals In Chernobyl Recovering*, The Wildlife Society

<https://wildlife.org/tws-member-finds-large-mammals-in-chernobyl-recovering/>

letöltve: 2022.08.18.

Chris Dyer (2019): *Rare wild horses are seen living among abandoned homes in the Chernobyl exclusion zone after scientists set up hidden cameras*, Mailonline, Daily Mail.com, London

<https://srel.uga.edu/rare-wild-horses-are-seen-living-among-abandoned-homes-in-the-chernobyl-exclusion-zone-after-scientists-set-up-hidden-cameras/>

letöltve: 2022.06.29.

Impact of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantings on long term ^{137}Cs and ^{90}Sr recycling from a waste burial site in the Chernobyl Red Forest. (2009) *Journal of Environmental Radioactivity* Volume 100, Issue 12.1062-1068.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0265931X0900109X>

letöltve: 2022.08.14.

Chernobyl radiation and ecological biosphere reserve

<https://www.ATOM.org/en/chernobyl-radiation-and-ecological-biosphere-reserve>

letöltve: 2022.07.12.

R.O. Carpena - M. Pilar Bernal (2007): *Claves de la fitorremediación:*

fitotecnologías para la recuperación de suelos, Ecosistemas es la revista científica y técnica de ecología y medio ambiente, Asociación Española de Ecología Terrestre

https://www.researchgate.net/publication/39439864_Claves_de_la_fitorremediacion_fitotecnologias_para_la_recuperacion_de_suelos

letöltve: 2022.09.14.

Képek forrása:

1. kép: A Vörös-erdő, távolban az erőművel

forrás: <https://chernobyl-visit.com/chernobyl-diaries/red-forest-in-chernobyl/>

letöltve: 2022.08.23.

2. kép: Figyelmeztető jel a veszélyre

forrás: <https://www.weforum.org/agenda/2019/05/what-s-going-on-in-chernobyl-today/>

letöltve: 2022. 09. 10.

3. kép: A Vörös-erdő a baleset utáni állapotban

forrás:https://www.reddit.com/r/Damnthatinteresting/comments/ty0cds/the_red_forest_chernobyl_1996_it_is_red_because/ letöltve:2022.08.20.

4. kép: Erdei fenyő

forrás: <https://www.prolifaiskola.hu/novenykatalogus/tujak-ciprusok-fenyok/pinus-sylvestris-erdeifeny%C5%91-> letöltve: 2022.08.19.

5. kép: Jegenyenyár

forrás: <http://www.botanikaland.hu/populus-nigra-italica/jegenyenyar/> letöltve 2022.08.19.

6. kép: Erdei fenyő közelről,

forrás:https://www.fitoland.hu/kategoriak/ampolnas_novenyek_13/erdei_fenyo_20261,letöltve:2022.08.27.

7. kép: Jegenyenyár közelről

forrás: https://www.researchgate.net/figure/Figura-5-Ramilla-de-alamo-Populus-nigra-var-Italica_fig1_28057246 letöltve: 2022.08.27.

8. kép: Nyírfa

forrás: <https://tajkertesz.com/termek/betula-pendula-kozonseges-nyirfa/> letöltve 2022. 08. 27.

9. kép: Ménes

forrás: <https://www.rte.ie/news/newslens/2021/0423/1211647-chernobyl-wild-horses/> letöltve 2022. 08. 28.

10. kép: Gímszarvas a zónában

forrás:<https://wildlife.org/wild-cam-wildlife-abundant-in-chernobyl-exclusion-zone/> letöltve:2022.08.28.

11. kép: Jávorszarvas

forrás:https://commons.wikimedia.org/wiki/File:A_male_moose_takes_a_rest_in_a_field_during_a_light_rainshower.jpg, leöltve: 2022. 09. 01.

12. kép: Vaddisznó a zónában

forrás: <https://wildlife.org/wild-cam-wildlife-abundant-in-chernobyl-exclusion-zone/> letöltve:2022.08.29.

13. kép: A vörös róka

forrás: <https://erdeiprogramok.hu/esemenyek/latvanytetesek-a-korosvolgyi-allatparkban/> letöltve: 2022. 09. 02.

14. kép: A hiúz

forrás: <http://zoldvadon.blogspot.com/2014/04/az-eurazsiai-hiuz-vedelme.html> letöltve:2022. 09. 02.

15. kép: Farkasok a zónában

forrás: <https://wildlife.org/wild-cam-wildlife-abundant-in-chernobyl-exclusion-zone/> letöltve 2022. 08. 29.

16. kép: Denevér, repülés közben

forrás: <https://www.batcon.org/bat/myotis-austroipariius/> letöltve: 2022. 09. 03.

17. kép: A barna medve

forrás: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Eurasian_brown_bear_%28Ursus_arctos_arctos%29_female_3.jpg letöltve: 2022. 09. 04.

18. kép: Őzbak

forrás: <https://www.deerstalkinguk.com/knowledge/roe-deer-capreolus-capreolus/> letöltve: 2022. 09. 06.

19. kép: Bölény a zónában

forrás: <https://wildlife.org/wild-cam-wildlife-abundant-in-chernobyl-exclusion-zone/> letöltve: 2022. 08. 30.

20. kép: A csernobili erőmű az új szarkofággal

forrás: <https://24.hu/tudomany/2020/02/07/csernobili-atomeromu-gombak/> letöltve: 2022.09.05.

Ábrák forrása:

1. ábra: A lezárt zóna

forrás: <https://srel.uga.edu/rare-wild-horses-are-seen-living-among-abandoned-homes-in-the-chernobyl-exclusion-zone-after-scientists-set-up-hidden-cameras/> letöltve: 2022.08.01.

2. ábra: A csernobili balesetből származó Cs-137 kihullása

forrás: <https://radio.nilu.no/chernobyl/> letöltve: 2022. 07. 30.

3. ábra: A radioaktivitás jele

forrás: <https://phys.org/news/2020-06-agency-source-radioactivity-nordics-unclear.html> letöltve: 2022.08.23.

4. ábra: Sugárzások áthatolóképessége

forrás: <https://rhk.hu/sugarvedelem> letöltve: 2022. 07. 08.

5. ábra: Az atomerőműben jelenlévő szabályozott láncreakció, forrás:

<https://www.paks2.hu/k%C3%B6z%C3%A9rt%C5%91en-azatomenergi%C3%A1r%C3%B3l> letöltve: 2022. 08. 23.

6. ábra: Az INES skála

forrás:

https://www.haea.gov.hu/web/v3/oahportal.nsf/web?openagent&menu=02&submenu=2_6_1 letöltve: 2022.07.10.

7. ábra: A radioaktív izotópok körforgása

forrás: saját készítésű

8. ábra: Az ALARA-elv,

forrás: https://discardstudies.com/2016/05/09/illustrating-the-invisible-an-interview-with-yuko-on-the-radiation-monitoring-project-illustrations/time-distance-shielding_color-768x307/

alapján saját szerkesztés, letöltve: 2022.08.21.

9. ábra: A sugárterhelések százalékos eloszlása

forrás: <https://rhk.hu/hirek/2020/4/3/koezerthetoen-a-radonrol>, letöltve: 2022. 07. 07.

10. ábra: A radioaktív hulladékok elhelyezésének szintjei

forrás: <http://www.matud.iif.hu/07jan/07.html> letöltve 2022. 08. 17. 11. ábra: A radioaktív hulladékokhoz használt védőeszközök

forrás: <https://rhk.hu/timeline/nemzeti-radioaktivhulladek-tarolo> letöltve: 2022. 09. 04.

12. ábra: Kétarcú világ

forrás: <https://www.elte.hu/content/kornyezetvedelmi-szakpszichologus-kepzes-indul-a-ppk-n.t.23328> letöltve: 2022. 08. 23.

Táblázatok forrása:

1. táblázat: A csernobili balesetnél szétszóródott radizotópok

forrás: Szatmáry Zoltán-Aszódi Attila (2005): *Csernobil / Tények, okok, hiedelmek*, Typotex, Budapest, alapján saját szerkesztés

2. táblázat: A fajok érzékenysége

forrás: Dr. Ballay László- Dr. Kerti Márta (2016): *Sugárvédelmi oktatás Segédanyag bővített fokozatú képzéshez*, kézirat, Juhász és Makár Bt. Budapest

3. táblázat: Szervek sugárérzékenysége, forrás:

<https://atomeromu.mvm.hu//media/PAZrtSite/Documents/Tudastar/HogyanMukodik/Sugarvedelmi-fogalmak.pdf?la=hu-HU> alapján saját szerkesztés

4. táblázat: A különböző fajok összehasonlítása a félhalálos dózisok kapcsán,

forrás: Damjanovich Sándor-Fidy Judit-Szöllősi János szerk. (2007): *Orvosi biofizika 3.* javított kiadás, Medicina, Budapest, alapján saját szerkesztés

MELLÉKLETEK:

1. SZÁMÚ MELLÉKLET:

Interjú Ladányi László törzsszáslós Úrral:

1. Kérem mutakozzon be!

-Ladányi László törzsszáslós vagyok a Magyar Honvédség Görgei Artúr Vegyivédelmi Információs Központ, Havária Laboratórium vegyi laboratórium főtechnikusa vagyok, korábban pedig a radiológiai laboratóriumé voltam.

2. Mióta foglalkozik a radioaktivitás témakörével, mióta dolgozik ilyen területen?

-2000. óta, tehát 22 éve csinálom ezt. Mondhatnám, hogy szakértő vagyok, de még nem, mert az ember sosem tudhat eleget, mindig van mit tanulni, tehát próbálom minél alaposabban elsajátítani ezt a szakmát.

3. Milyen végzettség szükséges ehhez a munkakörhöz?

-Nálunk a vegyésztechnikai végzettség az alapkövetelmény. Az altisztek vegyésztechnikusok a tisztek pedig vegyészmérnökök, de azon kívül átfogó sugárvédelmi vagy sugárvédelmi szakértői tanfolyami végzettséggel is kell rendelkezni.

4. A szükséges képzéssel önállóan lehet munkát végezni?

-Nem, a laborban sosem végzünk egyedül munkát, mindig legalább párban dolgozunk, de általában hárman szoktunk; egy vegyészmérnök, egy technikus segítő és egy személy, aki jegyzőkönyvez, fényképez, ő a clean man, aki bármilyen gond és probléma esetén tud segíteni nekünk.

5. Milyen radioaktív izotópokkal került eddig kapcsolatba munkája során?

-Nagyon sokfajta. Általában zárt izotópjaink vannak, ezek kalibráló izotópsorok a különböző műszerekhez. Ezek kis aktivitásúak, de régebben voltak nagyobb aktivitásúak, 5 MBq-es, 25 MBq-es kobalt források. Ezeken kívül nagy aktivitású, 9 TBq-es Cs-137 sugárforrást is kezeltem. Légisugárfelderítéshez volt radiojód szennyezésem folyékony állapotban, tehát ez nyílt izotóppal történő munkavégzés volt. Amerícium, Plutónium, Berillium forrással is dolgoztam.

6. Szokott gyakorlatokon részt venni?

-Igen, a társszervekkel együtt. Izotópokkal főleg hazai gyakorlatok szoktak lenni.

7. Milyen műszereket használ a radioaktív izotópok detektálásához, az ionizáló sugárzások méréséhez?

-A katonai műszereken túl a civil nukleáris mérés technikából származó műszereket is használunk. A gázionizációs detektorokon kívül, van szcintillációs, nátriumjodidos és cink-szulfidos is, de van sokcsatornás germánium detektorunk is, ami gamma spektrométer. A GM csövek a háttérsugárzás mérésére alkalmasak, dózisteljesítmény mérők. A szcintillációsak alkalmasak az izotópok meghatározására is és a germánium detektor pedig csak gamma sugárzó izotóp detektálására alkalmas. Az alfa és béta sugárzóakat végablakos gázionizációs detektorral, illetve a cink-szulfidos detektorok alkalmasak erre.

8. Mitől függ, hogy mikor milyen műszert kell alkalmazni?

-Nagyon sok körülménytől függ. Függ attól, hogy ismerjük-e magát a kiszóródást, de először mindig azzal a detektorral megyünk, ami a legérzékenyebb, ami képes mind a 4 fajta ionizáló sugárzást detektálni, mindig ezzel megyünk előre és ha már van egy elképzelésünk, hogy

milyen fajta izotóppal vagy sugárzással van dolgunk, onnantól kezdve fogunk célműszerrel, érzékenyebb műszerrel pontosítani, ha lehetséges, ha nem, akkor begyűjtjük a mintát a laboratóriumba.

9. Radiológiai mentesítés során milyen eszközök, anyagok használatára van lehetőség?

-A radioaktív izotópokat viszonylag egyszerű lemosni valamilyen felületaktív anyaggal. A Cs-137 esetében, ami alkálifém, az etilén diamin tetraecetsav dinátrium sója az EDTO, mint mentesítő szer, nagyon jól bevált. Könnyen képes oldani a szilárd céziumot. Különböző ásványi savak, sósav, salétromsav vizes oldatai is alkalmasak erre a célra. Zsíros felületek esetében nem alkalmasak a savak, ekkor használhatunk alkoholokat a lemosásra. A lemosáshoz továbbá megfelelő védőruházat, szivacs és mentesítő tálca szükséges, amiben gyűjtjük a szennyeződést. A szennyezett folyadékot hordókban lehet elszállítani a radioaktív hulladéktárolóba.

10. Növények esetében alkalmazhatóak ezek a mentesítési eljárások?

-Erdő esetében legegyszerűbb kivágni azt és radioaktív hulladékgyűjtőben elhelyezni, de nem lehet mindent megvalósítani.

Köszönöm válaszait!

2. SZÁMÚ MELLÉKLET:

Kérdőív 250 fő kitöltő részvételével:

<https://docs.google.com/forms/d/112Kh9cFNYpeOzcwVuFREHHpnViL36J0xd4HhDVvR2LQ/edit?chromeless=1>

Ön melyik korcsoportba tartozik?

- ☐ 10-20
- ☐ 21-30
- ☐ 31-40
- ☐ 41-50
- ☐ 51+

Milyen szintű a legmagasabb iskolai végzettsége?

- ☐ általános iskolai
- ☐ szakközépiskolai
- ☐ érettségi bizonyítványa van
- ☐ főiskolai/egyetemi végzettség

Mennyire gondolja veszélyesnek az atomerőműveket?

- ☐ egyáltalán nem veszélyesek
- ☐ kissé veszélyesek

- ☐ veszélyesek
- ☐ nagyon veszélyesek

Jobbnak gondolja-e a fosszilis vagy a megújuló energia alkalmazását, felhasználását, mint az atomerőműből származót?

- ☐ csak a fosszilis jobb
- ☐ csak a megújuló jobb
- ☐ nem gondolom jobbnak ezeket

Mennyit tud a radioaktivitásról?

- ☐ semennyit
- ☐ keveset
- ☐ sokat

Tudja-e, mit jelent a radioaktív izotóp?

- ☐ igen
- ☐ nem

Ha igen, fejtse ki röviden saját szavaival!

Ismeri-e a Cézium-137, Jód-131 izotópokat?

- ☐ igen
- ☐ nem

Tudja-e, mit jelent a felezési idő?

- ☐ igen
- ☐ nem

Ha igen, fejtse ki saját szavaival!

Hallott-e már arról, milyen hatást gyakorolhat a radioaktivitás a növényvilágra?

- ☐ igen
- ☐ nem

Ha igen, írjon néhány példát!

Szívesen bővítené ismeretét a radioaktivitás témakörében?

- ☐ igen
- ☐ nem

Érdekelne Önt, ha környezetében radioaktív sugárzás lenne jelen?

- ☐ igen
- ☐ nem

Tudja, hogy dohányzás közben radioaktivitás szabadul fel?

- ☐ igen
- ☐ nem

Köszönöm, hogy kitöltötte! Milyennek találta?

◦ ◦ ◦ ◦ ◦

1 2 3 4 5