

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

**A radioaktív anyagok szállítása során alkalmazott jóváhagyási
rendszer vizsgálata katasztrófavédelmi szemmel**

Jelige: *Bosco*

Pályamunka lezárásának időpontja: 2021. március

2023.

TARTALOMJEGYZÉK

BEVEZETÉS.....	4
TÉMA AKTUALITÁSA, TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA.....	5
KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK.....	6
KUTATÁSI MÓDSZEREK.....	6
1 A RADIOAKTIVITÁS FELFEDEZÉSE ÉS BEMUTATÁSA	8
1.1 A radioaktivitás története	8
1.2 A radioaktivitással kapcsolatos legfontosabb alapfogalmak bemutatása és értékelése.....	11
1.3 A radioaktív anyagok és izotópok előfordulása a környezetben	14
1.3.1 Radioaktív anyagok előfordulása az atmoszférában	14
1.3.2 Radioaktív izotópok előfordulása a hidroszférában	15
1.3.3 Radioaktív izotópok a talajban	15
1.3.4 Radioaktív izotópok a növényekben.....	16
1.3.5 Radioaktív izotópok az állati szervezetben	17
1.3.6 Radioaktív izotópok előfordulása az épített környezetben.....	17
2 A RADIOAKTÍV SUGÁRZÁS (BOMLÁS) BEMUTATÁSA	20
2.1 Az alfa sugárzás bemutatása	20
2.2 A béta sugárzás bemutatása	21
2.3 A gamma sugárzás bemutatása	22
2.4 A radioaktív forrás aktivitásának meghatározása	23
2.5 A radioaktív atommag jellemzői.....	24
2.6 A periódusos rendszer legfontosabb radioaktív elemei és azok bemutatása	25
2.7 A radioaktív anyagok biológiai hatásai.....	28
3 A RADIOAKTÍV ANYAGOK SZÁLLÍTÁSA SORÁN ALKALMAZOTT SZABÁLYZATOK BEMUTATÁSA ÉS A JÓVÁHAGYÁSI RENDSZER ÉRTÉKELÉSE	

3.1	Nemzetközi szabályzatok rövid bemutatása	31
3.1.1	Nemzeti Atomenergia Ügynökség.....	31
3.1.2	Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállítása (ADR)	32
3.1.3	Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozása (RID)	32
3.1.4	Veszélyes Áruk Nemzetközi Légi Szállítása (ICAO-TI)	33
3.1.5	Veszélyes Áruk Nemzetközi Belvízi Szállítása (ADN)	33
3.1.6	Veszélyes Áruk Nemzetközi Tengeri Szállítása (IMDG kódex).....	34
3.2	Hazai szabályzók rövid bemutatása	34
3.3	A radioaktív anyagok lehetséges csomagolásának bemutatása és azok jóváhagyási rendszere	35
3.3.1	A küldeménydarab műszaki leírása	35
3.3.2	A küldeménydarabra vonatkozó követelmények	38
3.3.3	Vizsgálatok, próbák, ellenőrző képességek	41
3.4	Vizsgálatok, próbák és mérések ismertetése	45
3.5	A radioaktív anyagok és hulladékok szállításának menete és a szükséges dokumentáció ismertetése	49
3.6	A radioaktív anyagok és hulladékok szállításának ellenőrzése katasztrófavédelmi szemponttal	50
4	A RADIOAKTÍV ANYAGOK JELENLÉTÉBEN BEKÖVETKEZETT BALESETEK BEMUTATÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE	52
4.1	Nemzetközi baleset bemutatása	52
4.1.1	Brazília.....	52
4.1.2	Tooele	54
4.2	Hazai baleset bemutatása	55
4.2.1	Cegléd.....	55
	ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK.....	57
	FELHASZNÁLT IRODALOM	58

BEVEZETÉS

A dolgozat első fejezetében bemutatom a radioaktivitás felfedezéséhez kapcsolódó személyeket és munkásságukat ebben a témában. Ezt követően ismertetem az alapvető és nélkülözhetetlen fogalmakat annak érdekében, hogy a későbbiekben ezek alkalmazásával mindenki számára érthető legyen a kifejtett téma. Kifejtem, hogy mely közegekben – ideértve az atmoszférát, hidroszférát, növényi és állati szervezetben – miként található meg a radioaktivitás és milyen következményei vannak a sugárzásnak ezekre nézve.

A dolgozatom második fejezetében ismertetem az alfa-, béta-, illetve gamma sugárzás legfontosabb ismérveit. Bemutatom a radioaktív sugárzás bomlását, annak következményeit és összevetem a sugárzási fajták áthatoló képességét is. Meghatározom a radioaktív forrást és bemutatom annak jellemzőit. Ezt követően szemléltetem a radioaktív anyagok biológiai hatásait, továbbá röviden beszélek arról, hogy a káros kimenetek ellenére milyen módszerekkel használhatjuk fel azokat akár az orvostudományban, illetve egy ipari környezetben.

A dolgozatom harmadik fejezetében elsőként beszélek a nemzetközi szabályozók történeti és jogszabályi háttéréről. Itt kiemelem a közúti-, vasúti-, légi-, belvízi-, illetve a tengeri szállítás vonatkozásában alkalmazott szabályozók rendszeréről. Lényegretörően bemutatom a Magyarországon hatályos és alkalmazott szabályozás alappilléreit. Ezt követően bemutatom a radioaktív anyagok lehetséges csomagolásait, illetve azok jóváhagyási rendszerét. Itt beszélek a küldeménydarabok fizikai ismérveiről, a küldeménydarabokra vonatkozó követelményekről és az azokra irányuló mérésekről, próbákról és ellenőrzésekről. Ezt követően ismertetem ezeknek a méréseknek, próbáknak a célkitűzéseit, lefolytatását és azok értékeléseit. Részletezem a radioaktív hulladékokkal kapcsolatos szabályozókat. Bemutatom a hulladékok szállításának menetét és ismertetem a szállításához szükséges dokumentációkat.

A dolgozatom negyedik fejezetében kiemelek két külföldi balesetet a radioaktív szállítással kapcsolatban. Bemutatom a baleset körülményeit, a kiérkező és jelen lévő szerveket és a baleset következtében okozott emberi sérüléseket és környezeti károkat. Ezt követően kitérek egy magyar balesetre, bemutatom a 2012-ben Cegléd közelében történő balesetet. Ismertetem a baleset okát, annak következtében történő személyi sérüléseket és a környezetre mért hatásokat is.

TÉMA AKTUALITÁSA, TÉMAVÁLASZTÁS INDOKLÁSA

Napjainkban a fejlett ipari tevékenységek megfelelő szabályzók mellett biztonságosnak mondhatóak és az elmúlt évek viszonylatában egyre kevesebb káresemény történik. Ez a megfelelő és hatályban lévő jogszabályok betartásának és folyamatos fejlődésének köszönhető.

Ugyanakkor az ipar fejlődése következtében a veszélyes és radioaktív anyagok szállításának is fel kell csatlakoznia és fejlődnie kell. Ugyanakkor a fejlődéssel párhuzamosan a biztonságra is gondolni kell.

Nem csak az ipari területen belül történhet káresemény. A XXI. században fontos és nélkülözhetetlen a veszélyes, illetve a radioaktív anyagok szállítása az ismert szállítási ágazatok tekintetében. Számomra érdekes és fontos ez a téma, mert olyan problémák megoldására és esetleges balesetek elhárítására összpontosít megelőző tevékenységekkel, amely széles körben, ám ennek ellenére rendkívül specifikus módon van szabályozva. Foglalkozni kell a csomagolások műszaki leírásaival, a próbák fajtaival és végrehajtási módjaival, és az ehhez kapcsolódó követelményekkel. Érdekesnek tartom, hogy milyen részletes és különböző eljárásmenetek vannak egyes anyagok és csomagolásaik közt. Figyelni kell arra, hogy milyen anyagról van szó, illetve annak a lehető legnagyobb biztonsággal való szállítására is.

Fontos megismerni és elsajátítani a szállítással kapcsolatos jogszabályi hátteret. Ideértve a közúti-, a légi-, a vasúti-, a belvízi- és tengeri szállítási ágazatot is. Számos olyan területet ismerünk, amelynek elengedhetetlen elemei a radioaktív izotópok. Fontos tennünk azért, hogy ezek szállítása közben a lehető legkisebb kockázati faktor mellett szállítsák a feladótól az átvevőig a rakományt. Áttekintően tanulmányoztam a csomagolással kapcsolatos paramétereket, illetve a mérések menetét, próbák elvégzését. Ezek elengedhetetlen felügyeleti és megelőzési tevékenységek a biztonságos szállítás előrehaladásában. Szeretnék jobban elmélyülni ebben a témában és a jövőre tekintettel méréseket, próbákat végezni. Megismerni és elsajátítani azokat annak érdekében, hogy javaslatokat téve megóvjuk a szállítók, a közlekedők és a környezet egészségét, épségét.

Esetleges balesetek bekövetkeztekor fontos a gyors és szakszerű beavatkozás. Nem nagy gyakorisággal, de a hazánkban is előforduló radioaktív anyaggal kapcsolatos balesetek következtében a hivatásos katasztrófavédelem és a társhatóságok hajtják végre a beavatkozást.

KUTATÁSI CÉLKITŰZÉSEK

- Bemutatom a radioaktivitás történetét, valamint, hogy mely nevekhez köthetőek a felfedezés mérföldkövei,
- ismertetem a radioaktivitáshoz kapcsolódó legfontosabb alapfogalmakat, továbbá bemutatom mely közegekben miként és milyen módon vannak jelen az izotópok,
- bemutatom a radioaktív sugárzáshoz kapcsolódó sugárzási fajtákat, továbbá azok meghatározását és az atommag jellemzőit,
- kiemelek három radioaktív elemet a periódusos rendszerből és bemutatom azok legfontosabb jellemzőit, és szót ejtek a radioaktív anyagok biológiai hatásairól,
- külföldi és hazai szabályozók felvezetésével ismertetem a radioaktív anyag szállítása során alkalmazott szabályzatokat és jóváhagyási rendszereket,
- kitérek a különböző típusú szállítási ágazatokra,
- bemutatom a küldeménydarabok paramétereit és hogy mely vizsgálatoknak, próbáknak kell eleget tenniük,
- ismertetek külföldi, illetve hazai radioaktív anyag szállítással kapcsolatos közúti baleseteket.

KUTATÁSI MÓDSZEREK

- Tanulmányoztam a csomagolással, illetve szállítással kapcsolatos jogi háttérrel és szabályozókat,
- megvizsgáltam a történeti, technológiai és szabályozók által okozott fejlődést és módszerekben történő előrehaladást,
- górcső alá vettem a külföldön és nemzetközileg elfogadott és hatályban lévő szabályzókat,
- tanulmányoztam a Magyarországon elfogadott és hatályban lévő szabályzókat mind a szállítási ágazatokra nézve-, mind a csomagolással és ellenőrzéssel kapcsolatos rendszerre nézve,
- megismertem a külföldön -, illetve Magyarországon történt baleseteket,

- az összegyűjtött anyagokat áttanulmányoztam, szelektáltam és rendszereztem az információkat.

1 A RADIOAKTIVITÁS FELFEDEZÉSE ÉS BEMUTATÁSA

A dolgozatom első fejezetében ismertetem a radioaktivitás felfedezésének történetét és annak mérföldköveit. Ezt követően bemutatom a radioaktivitáshoz kapcsolódó legfontosabb alapfogalmakat, melyek ismerete elengedhetetlen a radioaktivitással kapcsolatos tevékenységek során. Ez a fejezet bemutatja, hogy a környezetben, illetve a szervezetben miként és milyen módon van jelen a radioaktivitás. Részletesen szemléltetem többek közt az atmoszférában-, hidroszférában-, talajban-, valamint az állati szervezetben előforduló radioaktív izotópokat.

1.1 A radioaktivitás története

A XIX. században a fizikusok, valamint a vegyészek egyre mélyebben beleásták magukat az elemek és azok létezésének kutatásába. 1803-ban Manchesterben John Dalton felújította és gyökerestől átfogalmazta a görög származású filozófusok atomhipotézisét. A francia származású J.L. Proust, J.L. Gay-Lussac, valamint az olasz származású A. Avogadro, S. Cannizzaro elfogadják az atommodellt. Erőfeszítések következtén és kísérleteik során megkülönböztették a molekulákat az atomoktól. 1890-es években már szerepeltek elemek a tömör anyagok makroszkopikus leírásában, ennek ellenére akkor még nem tudták megvizsgálni kísérlet által az anyagot megalkotó atomokat, sem ezek szerkezetét felderíteni. Ezt követően jelentős fejlődésen ment át a technika, technológia. Fejlődtek a tudományos eszközök, továbbá fejlődtek a kísérletben alkalmazott eszközök is. Az előbb említett kísérletekben alkalmazott eszközök ki tudták mutatni az elektromos töltés kis mennyiségét. [1]

A radioaktivitás felfedezése a francia származású Henri Becquerel nevéhez köthető, aki 1852. december 15-én született Párizsban. 44 év elteltével Wilhelm Conrad Röntgen 1896-ban nyilvánosságra hozta első cikkét. Ezt követően a világ számos fizikusa megkezdte vizsgálatait a nappal kapcsolatban és hozzáálltak a foszforeszkálás kutatásához. Miután Röntgen nyilvánossága hozta cikkét, Becquerel eleinte azt vizsgálta miként reagálnak az ásványok miután kitette azokat a nap sugarainak. Megállapította, hogy a kálium-uranil-diszulfát a napsütés következtében nem csak foszforeszkál, hanem elszűrki egy fotolemezt is, amelyet 2 réteg papírral vont be. További kísérleteihez előre becsomagolt egy fényképlemezt, majd egy rézből előállított keresztet tett rá. Ennek a tetején elhelyezett egy kristályokkal teli tálat. Tervei szerint kirakta volna a napra egy kísérlet szempontjából, de a felhős idő miatt berakta szekrényébe. Viszonylag rövid idő elteltével befejezte a várakozást

és megtekintette az elkészített és becsomagolt fotolemezt. Amikor kivette a szekrényéből megállapította, hogy az elhelyezett kereszt kirajzolódik azon. Kiderült, hogy egy újfajta, fluoreszkálástól elkülönült sugárzást fedezett fel, amely az uránból származik. Előzetesen nem érte azt fény és nem tudta leárnyékolni a papír a fémkereszttel ellentétben. A Becquerl-sugárzás, amely addig ismeretlen volt, komoly problémát jelentett a fizikusoknak. Az addig ismeretlen sugárforrás megsértette az energiamegmaradás elvét. [2]



1. kép: Becquerel eredeti felvétele (1896)¹

Becquerel a következőket fogalmazta meg a Comptes Rendus folyóiratban:

„... még senki sem tudott rájönni, hogy az uránon belülről pontosan honnan ered ez az energia, amelyet ez az anyag ilyen állhatatosan kisugároz”.

November 23-án a következőt jegyezte fel Becquerel:

"Még nem tudjuk, hogy honnan veszi az urán az ilyen tartós sugárzáshoz szükséges energiát."

Ezt követően a Curie-házaspár felfedezte a polóniumot és a rádiumot, amelyet a későbbiekben alkalmazni kezdtek daganatos megbetegedéseknél. [3] Rájöttek arra, hogy nem kell előzetes energiaközlés a radioaktív sugárzás alkalmazásához. [4] Megfigyelték azt is, hogy ez az új sugárzás a kémiai, valamint a fizikai állapottól független. Fontos szerepet játszott a radioaktivitás felfedezésében Ernest Rutherford, aki a radioaktív anyagokból kilépő sugarakat belevezette egy elektromos mezőbe. Ennek köszönhetően a sugárzás több

¹Forrás: <https://slideplayer.hu/slide/2237753/>
A letöltés ideje: 2021. január 10.

összetevőjét is megfigyelte, amely szám szerint három volt. Ezek az alfa-, béta-, gamma-sugárzások. Megfigyelte a sugárzás tulajdonságait, amelyek a következők: nem szükséges külső hatás a keletkezésükhöz; erőssége függ az elem mennyiségétől; nem befolyásolják kémiai, valamint fizikai hatások; megfeketíti a filmet, amely azt jelenti, hogy van kémiai hatása; van ionizáló hatása; károsítja az élő sejteket; foszforeszkálást, valamint fluoreszkálást okoz. Rutherford előállított egy detektort, amivel ki lehetett mutatni messziről a rádióhullámokat. Kapcsolatot létesített a laboratórium és az attól három kilométerre található csillagvizsgáló közt. Ezt követően Wilhelm Conrad Röntgen 1895-ben felfedezte a róla később elnevezett röntgen sugárzást. Henri Becquerel rájött arra, hogy az urán vegyületei beavatkozás hiányában, maguktól ugyancsak sugárzást bocsátanak ki.

1899. novemberében Marie és Pierre Curie egy eddig ismeretlen felfedezést tett, bármilyen szilárd anyag, például alumínium-, cink-, ólomlemez, akár egy papírlap is, a megfelelő erősségű aktív rádiumforrás közelségébe kerül, akkor az radioaktívvá válik. 1903-ban A Curie házaspár elfogadta Rutherford magyarázatát miszerint felszabadul egyfajta radioaktív gőz a tóriumoxidból. Ezt emanációnak nevezett el. Megfigyelte, ha emanációnak tesz ki egy tárgyat akkor egy radioaktív réteggel vonódik be az. Ezt a kísérletet gerjesztett radioaktivitásnak hívta.

Rutherford ezek után édesanyjának üzenetet írt:

"Mostani munkámat amilyen gyorsan csak tudom, publikálni fogom, hogy ne maradjak le a versenyben. A legjobb sprinterek ezen a pályán Becquerel és a Curie házaspár Párizsban, akik az utóbbi néhány évben a radioaktív testekkel kapcsolatban rendkívül sok nagyon fontos munkát végeztek." [5] [6]

Rutherford és társa, Soddy meglehetősen sok új, eddig ismeretlen tény felfedezésére jutott. Kiderítették, hogy az aktív emanáció igazából egy csekély mennyiségű inert gáz jelenlétét jelentette. Ez egy kondenzációs folyamat eredménye.

A korábban említett polónium és rádium felfedezése miatt Henri Becquerel, Pierre és Marie Curie Nobel-díjat kaptak. Ernest Rutherford ezt követően 1908-ban Nobel-díjat kapott kémiából. Ezt díjat a rádium leválasztásáért és annak tulajdonságai ismertetéséért kapta. [7]

1.2 A radioaktivitással kapcsolatos legfontosabb alapfogalmak bemutatása és értékelése

Proton

Az atommagban lévő pozitív töltésű részecskék, amelyek meghatározzák az elem tulajdonságait. Számuk megegyezik az elektronok számával, ezért az atommag elektromosan semleges töltésű. (Későbbiekben összefoglaló ábrával szemléltetem). [8]

Elektron

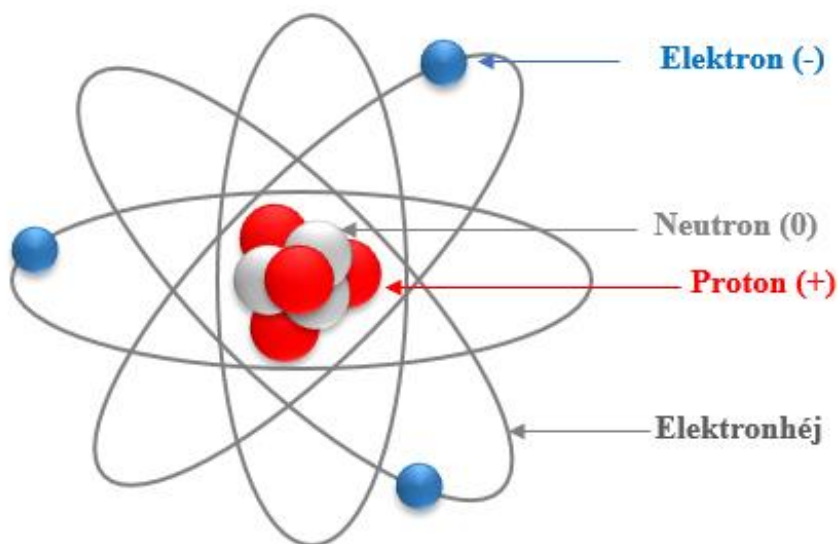
Elektronhéjak találhatók a mag körül. Ezeken a héjakon található meg számos, kis tömegű negatív töltésű részecske. (Későbbiekben összefoglaló ábrával szemléltetem). [8]

Neutron

Az atommagban megtalálható részecskéi. Elektromosan semlegesek, illetve a neutronok száma egyes atomok közt eltérő lehet. (Későbbiekben összefoglaló ábrával szemléltetem). [8]

Elektronhéj

Ez egy olyan térköz, amely az atommag körül helyezkedik el. Ebben a térközben találhatók meg az elektronok. Továbbá fontos tudni, hogy egy atom maximális elektronszáma a 7. Ennél nem helyezkedhet el több elektron egy atom elektronhéjain. [8]



2. ábra: Az atom szerkezete²

Kötési energia

² Saját szerkesztésű ábra. Felhasznált forrás: <https://www.livescience.com/37206-atom-definition.html>
A letöltés ideje: 2021. január 15.

Olyan energia, amely az atomban megtalálható és annak (atom) vagy az atommag alkotó részeit bontja. Egyenes arányosságban beszélhetünk a kötési energiáról és az atom, illetve az atommag kapcsolatáról. Minél nagyobb ez az energia, annál nagyobb az atomban a stabilitás. Az atomban megtalálható potenciális energia kisebb, mint az egyes alkotórészek potenciális energiájának az összege. Természetes törvényként elismert, hogy a kötési energia a minimumra és az alapállapot elérésére törekszik. [8]

Az atommag szerkezete

Az atommag pozitív töltésű protonokból és semleges töltésű neutronokból áll. Itt összpontosul az atom tömege. Az atomot negatív töltésű elektronburok veszi körül. Fontos tudni, hogy egy atomban megtalálható protonok, illetve elektronok száma egyező és ezek összesített töltése azonos. [9]

A radioaktivitás fogalma

Bizonyos atommagoknak az a tulajdonsága, hogy ionizáló sugárzás kibocsátása közben minden külső hatás nélkül más tulajdonságú atommaggá alakulnak át. A bomlás sebességét például a felezési idővel lehet jellemezni. Ez idő alatt a kezdeti aktivitás a felére csökken.

Radioaktív izotóp

Mindenféle külső behatás hiányában, önmaguktól sugároznak. Ezek a radioaktív izotópok olyan sugárzó anyagok, amik atommagokat tartalmaznak. Ezek az atommagok bomlóképesek. A ma ismert sugárzó izotópok száma 2000 darabra tehető, ezek közül 1700 darab instabil és csupán csak 300 darab stabil izotóp. [10]

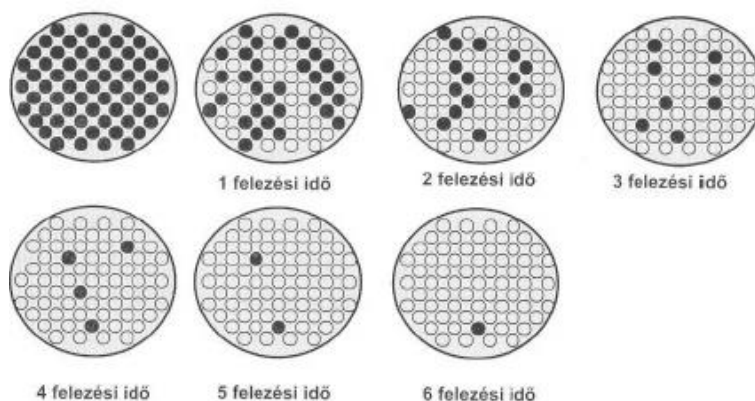
Statikus ingadozás

Olyan folyamat, ahol nem egy időben megy végbe a radioaktív izotópok átalakulása. Az átalakuló atommagok élettartama eltérő így különböző időtartamban történik az átalakulás. Az itt megtalálható törvényszerűség a statisztikus átalakulás. A folyamatot jellemzi még, hogy az egy időegységre eső valószínűség eltérő. [11]

Felezési idő

Ez az átalakulás úgy megy végbe, hogy egy megadott anyagmennyiség egységnyi időintervallumban a megmaradt, még átalakulni képes magoknak mindig azonos hányada

alakul át. Ha egy radioaktív magban korábban már lezajlott egy átalakulás akkor a későbbiekben már nem vesz részt abban az átalakulásban. Ebből következik tehát, hogy az átalakulások csökkentik a magban megtalálható átalakulásra váró magok számát. Gyakran előfordul, hogy ez az új állapot szintén instabil, ezért újabb átalakulásra is sor kerülhet. Fontos tudni még, hogy a korábbi átalakulás nincs befolyásoló hatással a következő átalakulásokra. [11]



2. kép: Szemléltető példa a felezési időre³

Aktivitás

Az aktivitás egy olyan érték, amely a magátalakulások gyakoriságát mutatja meg. Ez az egyik legfontosabb jellemzője a sugárzó anyagoknak. A radioaktív anyagok sugárzó mennyiségének kibocsátása egyenes arányosságot mutat azzal az értékkel, ami az anyagmennyiség megtalálható átalakulások számát jelenti. Az aktivitás rövid megfogalmazása a következő: egy adott időintervallum alatt végbemenő magátalakulások száma. [11]

Árnyékolás

Ha egy sugárzást nézünk, illetve annak részecskéit, akkor azok fokozatosan elveszítik energiájukat, valamint elnyelődnek közelben megtalálható anyagok atomjaiban. Rendkívül változatosak az ütközés során előforduló kölcsönhatások. Függenek a sugárzás energiájától, fajtájától, valamint a benne megtalálható atomok minőségétől. Egyes esetekben a szokottnál is intenzívebb a kölcsönhatás. Olyankor rendkívül gyorsan elnyelődik a sugárzás. [11]

Dózis

³ Forrás: https://grimas.hu/wp-content/uploads/2018/10/Felezesi_ido.jpg
A letöltés ideje: 2021.02.02.

Az az érték, amit egy adott közegben egy meghatározott mennyiségű energia jelent. Ez az előbb említett mennyiség az anyag kölcsönhatására, illetve a sugárzásra jellemző. Megkülönböztetünk többféle dózismennyiséget is az energiaátadás függvényében. Az elnyelt dózis nagyságát gray-ben határozzuk meg. 1 gray érték megfelel 1J/kg-nak. [12]

1.3 A radioaktív anyagok és izotópok előfordulása a környezetben

A radioaktív anyagok különböző módokon kerülhetnek a környezetbe. Odakerülhetnek mesterséges (antropogén) forrásokból, valamint természetes módon is. Előfordulnak a hidroszférában, hidroszférában, atmoszférában és a talajban is.

1.3.1 Radioaktív anyagok előfordulása az atmoszférában

Különböző kémiai, fizikai és biológiai folyamatok eredményei hozzák létre a környezetben a radioaktív anyagokat. Ezek az anyagok akkumulálódnak, elszállítódnak és folyamatos átalakuláson mennek keresztül. Az atmoszférában előforduló és kialakult radioaktivitás a levegőben megtalálható radioaktív gázokból és aeroszolokból épül fel, de ezt a radioaktivitást okozhatják folyékony, valamint szilárd részecskék is. Két fő forrásból meríti aktivitását az atmoszférában megtalálható radioaktivitás. Ennek egyik lehetséges módja, hogy a föld felszínén lévő vizekben rádiumizotópok találhatók meg. Ezek bomlástermékeként keletkező radon izotópokat képeznek, és ezek kerülnek a légkörbe. Másik tápláló forrás lehetséges és alátámasztott módja a nagy energiájú kozmikus sugárzás, amely fentről érkezik és így tesz hozzá a radioaktivitáshoz. A sugárzás kölcsönhatásba lép a levegőben megtalálható atomok magjaival és ennek következtében alakulnak ki a radioaktív izotópok is. A kozmikus sugárzás nagyenergiájú összetevője áthatol az atmoszféra felső rétegén, ennek következtében kialakulnak másodlagos részecskék, ezek elveszítik energiájukat az ionizáció következtében. Ennek hatására részecskék (neutronok, protonok, elektronok, valamint pimezonok) fotonok és kozmogén radioizotópok jönnek létre. Ez a dózis, amely kozmikus komponensből érkezik, függ a tengerszint feletti magasságtól és a földrajzi szélességtől. [13]

1.3.2 Radioaktív izotópok előfordulása a hidroszférában

Ebben a környezetben, a hidroszférához hasonlóan előfordulhat radioaktív anyag mesterséges, valamint természetes forrásokból is. Fellép egy kölcsönhatás az atmoszférával és a litoszférával. Ennek a kölcsönhatásnak az eredménye a hidroszféra természetes radioaktivitása.

A természetből eredeztethető sugárzó anyagok közé azok a radionuklidok tartoznak, amelyek a kőzetekből és a talajból kioldódva szivárognak fel a felszín alatt elhúzódó vizekbe. Itt említendő a radioaktív izotópok és azoknak a radioaktív leányelemei. Ezt befolyásolják és módosítják a vízben élő algák, moszatok halak (élő szervezetek). Ennek oka az, hogy testükbe juttatják a korábban említett radioaktív izotópokat. Haláluk, illetve elpusztulásuk következtében ezek a radioaktív izotópok visszakerülnek a környezetbe és egy újabb körforgás veszi kezdetét. Ide tartoznak azok a radionuklidok is, amelyek a kozmikus sugárzás következtében képződnek a felső légkörben. Felszínen megtalálható vizek esetében kimutatható különbség van az álló- illetve a folyóvizek közt. A folyóvizek radioaktivitása kisebb mivel a bekerülő izotópok az álló vizekkel ellentétben nem akkumulálódnak. Továbbá említésre érdemes kimutatás, hogy a gyógyvizeknél, valamint az ásványvizeknél az átlagnál jelentősen magasabb radioaktivitás mutatható ki. [13]

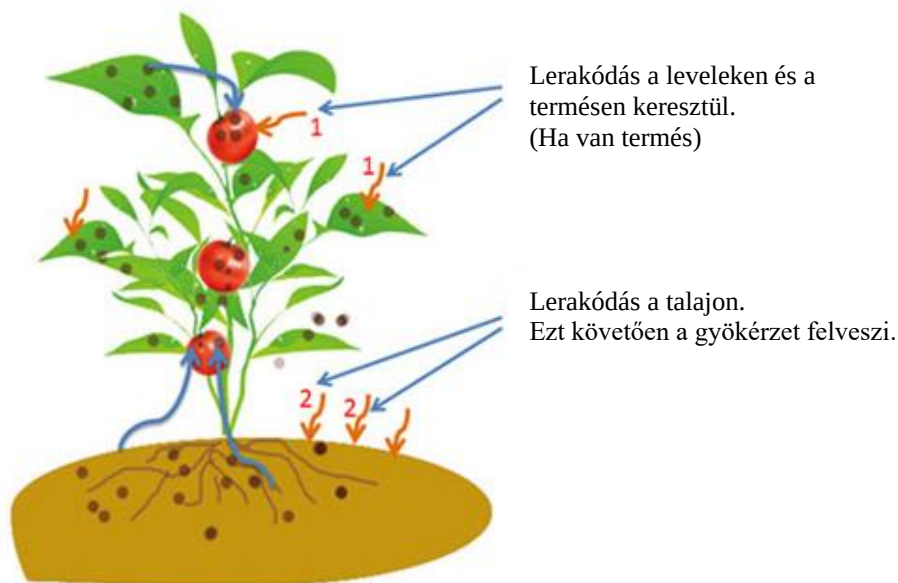
1.3.3 Radioaktív izotópok a talajban

Ez a közeg nagyon jelentős szerepet nyújt a radioaktív anyagok felhalmozásában és azok megkötésében. Nagy mennyiségű radioaktív izotóp fordul itt elő, ezzel magyarázható ennek a természetes közegnek a radioaktivitása. A talaj radioaktivitásának függvénye az alapkőzet összetétele, származása, talajképződés jellege. Ennek következtében egy savas kőzetből nagyobb intenzitású radioaktivitás származik. Ezért a kötött talajokban nagyobb a radioaktív elemek százaléka, mint például egy homokos talajban. Egyenletes eloszlás figyelhető meg a talaj profiljában az izotópok függvényében. Ebben a közegben az aktivitás szintje a kálium, tórium, rádium és urán tartalmától függ. Ezeknek az elemeknek a sugárzása kiadja a természetben megelhető sugárzás csaknem 98 százalékát. Hazánk talajának alfa-aktivitása $0,4\text{--}3,0 \text{ Bq} \cdot \text{g}^{-1}$. A pedoszféra azaz a talaj aktivitását befolyásolják az emberek által alkalmazott agrotechnikai munkálatok. Továbbá függ a meteorológiai paraméterektől és a geológiai viszonyoktól is. Nyári időszakban mérhetjük a maximum, télen mérhetjük a minimum értéket. A radon koncentrációja ezen túl függ a mélységtől is. Megtalálható az

emberek által szándékos, illetve akaraton kívüli radioaktív szennyezés is a talajban, amely mértékét több dolog is befolyásolja.

1.3.4 Radioaktív izotópok a növényekben

A növényvilág radioaktivitása azért is alakult ki, mivel a növények állandó kapcsolatnak vannak kitéve a talajjal, vízzel és a levegővel. Ezek a radioaktív növények fontos szerepet játszanak a táplálékláncban, mivel közvetett vagy közvetlen kapcsolatot alkotnak a természet és az emberek kapcsolatában. A talaj hatása (ahol a növények vannak) rendkívül meghatározza a növény felépítését, tekintettel arra, hogy a növény a gyökerén keresztül veszi fel az ásványi anyagok egy meghatározott részét a talajból. Ezeknek az ásványi anyagoknak az összetételét, illetve mennyiségét a termőtalaj kémiai és fizikai jellemzői határozzák meg. Felvételük után a növények is képesek módosítani ezeket az anyagokat. Másik módja a radioaktív anyagoknak felvételére a levél szolgál. Ezen keresztül képesek közvetlenül felvenni a radioaktív anyagokat a levegőből. Erre példa a ^{14}C radioaktív izotóp, amelyet CO_2 formában vesz fel a növény fotoszintézis által. A növényekben jelentősebb mennyiségű radioaktív izotóp is felhalmozódhat annak ellenére, hogy nem okoz fejlődési zavart. Viszont ezeknek a növényeknek, amiben nagy mennyiségű, oda nem való izotóp van az állatok vagy emberek általi elfogyasztása kifejtheti hatását. Ez jelentősen károsíthatja azok egészségének mértékét. A növények sem képesek ellenállni elváltozás és rendellenesség nélkül a nagy dózisu radioaktív izotópoknak. A növények radioaktivitását természetes, valamint mesterséges úton tudjuk előidézni. A természetes módon történő radioaktivitás főbb befolyásoló tényezőinek tudhatjuk az ághajlati és a meteorológiai hatásokat. Mesterséges befolyásnak az agrotechnikát hozhatjuk fel példának. Ez a kettő befolyásoló tényező határozza meg az állatok és az emberek által elfogyasztani kívánt, élelmiszernek tekintendő növényi radioaktivitást. [13]



3. ábra: A radioaktivitás felvétele⁴

1.3.5 Radioaktív izotópok az állati szervezetben

Elsősorban a növényzet szennyezettségének tudható be az állati szervezet radioaktív izotóp tartalma. Az állatok elfogyasztják azokat a növényeket, amikben felhalmozódott radioaktivitás található. Emellett bekerülhet még a szervezetükbe levegő és ivóvíz által, viszont ez csekély mennyiség így elhanyagolható az élelmiszer által bevitt mennyiség mellett. Szoros kapcsolatot ápol a növény- és állatvilág. Ennek eredménye, hogy kettős irányban tud hatni a radioaktivitás. Nem csak a növények az állatokra, hanem az állatok a növényekre is. Az állatokat ugyancsak természetes és mesterséges hatások érik. Hatással van rájuk a természetből eredő közvetlen sugárzás. Ez a belső (élelmiszer által okozott), illetve külső (természetből erdő sugárzás) sugárzás megközelítőleg azonos nagyságrenddel bír. [13]

1.3.6 Radioaktív izotópok előfordulása az épített környezetben

Az épített környezetben ugyancsak megtalálható a radioaktivitás. A lakosság innen kapja a legnagyobb sugárterhelést, amely a radontól, illetve a radon bomlástermékeiből származik. Ennek oka az, hogy megközelítőleg egy nagyságrenddel nagyobb az épületekben mérhető sugárterhelés mint a levegőé. Ez az érték (10–100 Bq/m³). Másrészt annak tudható

⁴ Forrás: <http://www-naweb.iaea.org/nafa/faqs-food-agriculture.html>
A letöltés ideje: 2021. január 15.

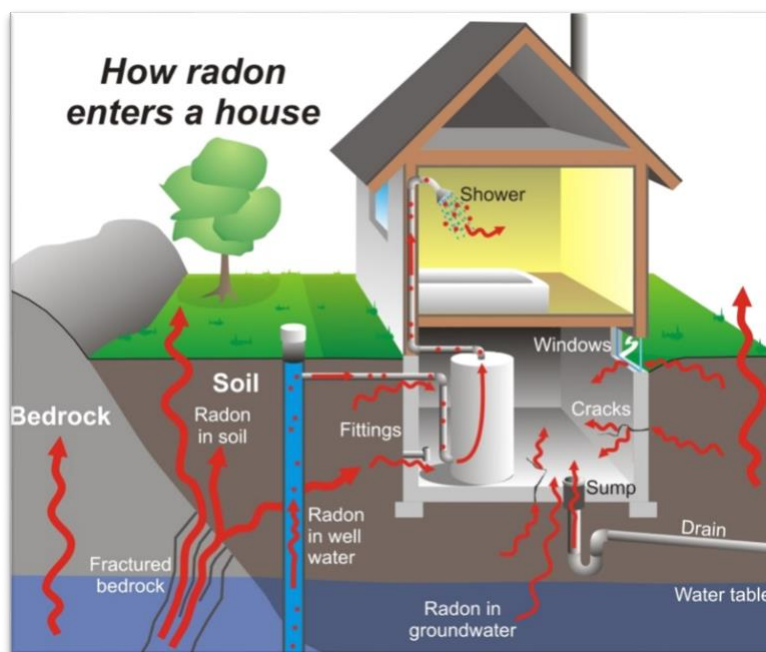
be ez a terhelés, hogy az emberek sokkal több időt töltenek épületekben, mint a szabad levegőn. Kezdve egészen kicsi koruktól az óvodában, azt követően az iskolában, valamint a legtöbb esetben a munkahelynek szolgáló épületben. Több irányból és módon is érkezik a sugárzás az épületekbe. Elsőként említendő a talajból érkező radon. Ez át tud szivárogni az épület alsó felén. Oka lehet egy repedés vagy akár egy nem jól kialakított szigetelés is. Befolyásolja az építőanyag összetétele és a kialakított építőanyag mennyisége, vastagsága. Radon forrásként említendő még a víz, külső levegő valamint a földgáz. Ezek mind hozzátesznek és befolyásolják a sugárzást. Lehetőség a radon koncentrációjának csökkentésére a szellőztetés.

Építőanyag	Átlagos radon koncentráció [Bq·m ⁻³]	[mSv · év ⁻¹]
Összes háztípus	55,2	2,2
Vályog	87,4	3,5
Tégla	46,5	1,8

1. táblázat: Egyes építőanyagok közti különbség sugárzás vonatkozásában⁵

Ez a táblázat az mutatja be, hogy milyen értékeket mértek 1985-1987 években Magyarországon. Ezt a felmérést mintegy 122 lakásban végezték el. Baloldali oszlopban láthatjuk az egyes építőanyagokat. A középső oszlopban feltüntetett értékek az átlagos radonkoncentrációt jelentik Bq·m⁻³ értékben. Első helyen az összes háztípus vonatkozásában az átlagértéket láthatjuk. Továbbá megvizsgálhatjuk, hogy mennyi eltérés van a vályog, illetve a téglá építésű ház közt. Harmadik oszlopban láthatjuk a sievert értéket, valamint az anyagok közti eltérést. [13]

⁵ Forrás: <https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch08s02.html#id790927>
A letöltés ideje: 2021. január 22.



4. ábra: Radon belépése a környezetből a házba⁶

A 4. számú ábrán azt láthatjuk, hogy jelen esetben a radon miként és milyen módokon jut be egy többszintes lakóházba. Alapesetben már a talajvízből indul ez a folyamat. Balról indulva az alapkőzetén keresztül jut fel a radon (Bedrock). Ezt követően az alapkőzet hajszáll-, illetve nagyon repedésein keresztül átszivárog a radon (Fractured bedrock). Miután átjutott a kőzetben a talaj összetétele sem állítja meg, így feljut a felszínre. A következő példaként említendő, amikor a radon a mélyre fúrt kút falán átjut, a felhasznált kútvízzel a kiépített vízvezetékén keresztül egészen a házba jut, ott pedig felhasználjuk mindennapos vízhasználatunkban (Radon in well water). Említeném még azt is amikor a ház megépítése után, esetleges repedések keletkeznek az alapzaton, házfalon, így ott a radon könnyedén bejut a házba (Cracks). Ezt követő példa jobbra, amikor a radon a kiépített csatornán keresztül jut be a házba (Drain). Utolsóként azt szeretném feltüntetni, hogy egy alacsonyan fekvő, akár a földszinttel azonos helyen elhelyezkedő ablakon miként jut be a radon (Windows). A példán keresztül próbálom szemléltetni, hogy egy általunk kiépített környezet miként viselkedik a radonnal szemben. A talajvízen, alapkőzetén átszivárgó radont nem képes teljes mértékben kizárni egy épület.

⁶ Forrás: <https://www.interiorhealth.ca/YourEnvironment/RadonGas/Pages/Access.aspx>
A letöltés ideje: 2021. január 22.

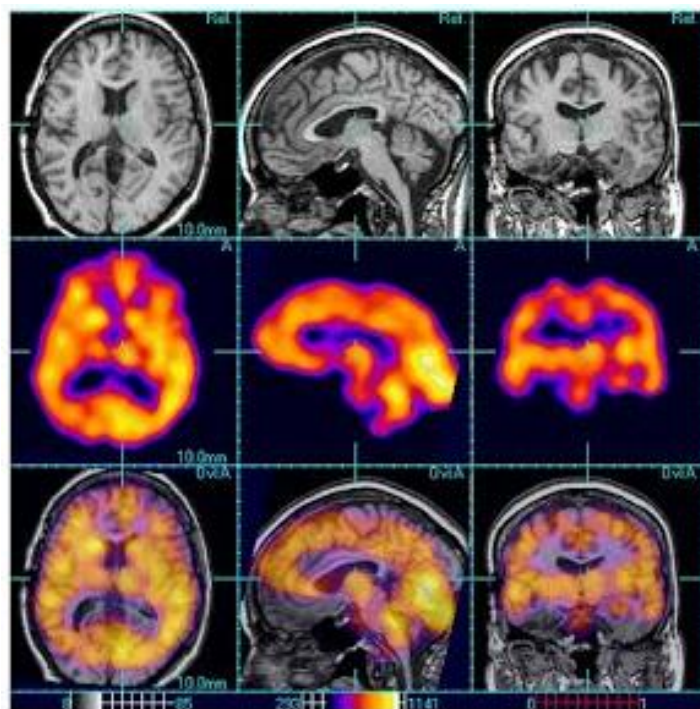
2 A RADIOAKTÍV SUGÁRZÁS (BOMLÁS) BEMUTATÁSA

A következő fejezet ismerteti az alfa-, béta-, illetve a gamma sugárzás legfontosabb jellemzőit, sajátosságait. Továbbá kiemeli a radioaktív atommag sajátosságait, valamint a radioaktív forrás meghatározását. Ezek bemutatása után kiemeltem három radioaktív anyagot a periódusos rendszerből, majd demonstrálok azokat. Végül ismertetem a radioaktív anyagok biológiai hatásait. Betekintést nyújt arra, hogy miként és milyen módon határozza meg a sugárzás az élő szövet különböző fajtáit.

2.1 Az alfa sugárzás bemutatása

Az alfa-részecske a következőkből épül fel: 4 nukleon, 2 proton, 2 neutron. Ez a mag ezek alapján kétszeres pozitív töltéssel bír, tömegszáma 4. Az alfa-részecske egy hélium atommag. [14] Az itt található hélium ionok rendkívül nagy sebességgel bírnak. Ennek a sugárzásnak a legnagyobb az ionizáló hatása, mindezek ellenére az átható képessége az alfa-, béta-, illetve a gamma-sugárzások közül a legkisebb.[15] Ez a fajta sugárzás rövid hatótávolságú. Megállíthatja az emberi bőr szerkezete, illetve egy közönséges papírlap is képes erre. Meglehetősen rövid a levegőben megtett hatótávolsága. Értéke 2-10 centiméterig változhat. Rendkívül veszélyes az emberi szervezetre nézve a nagy ionizáló képessége miatt, de csak akkor fejt ki hatását, ha az bejut egy sebbe, illetve valamilyen nyílt bőrmentes területen keresztül a szervezetbe. [16]

Az alfa sugárzást felhasználják többek közt az iparban, mezőgazdaságban, illetve az orvostudományban. Utóbbinál fontos kitérni arra, hogy a mai technológia alkalmazásával képesek érfestésre, amely azt jelenti, hogy alfa részecskét juttatnak az emberi érhalózatra és így észlelhetővé teszik a műszerek számára „befestik” a könnyű elemzéséért. Alkalmazása a diagnosztikán túl a terápiában is ismert és előszeretettel alkalmazott. Ezen túl jelen van az alfa-részecske a pacemakerekben is. Ez lehetővé teszi a nyílt, gyakran előforduló mellkas műtétek elkerülését, amely nagy kockázattal járhat. Felhasználják sterilizálásra is.[17]



3. számú kép: A sugárzás felhasználása az orvostudományban.⁷

2.2 A béta sugárzás bemutatása

A béta sugárzás akkor keletkezik, amikor nagy sebességű és energiájú protonok, illetve elektronok lépnek ki a sugárzó anyagból. Ionizáló képességük az alfa-sugárzáshoz képest egy nagyságrenddel kisebb.[18] A béta-sugárzás tömege sokkal kisebb, közel 8 ezrede az alfa-sugárzásénak. Ennek a sugárzásnak az elektronjai fénysebesség közeli sebességre is képesek. [15] Hatótávolságuk levegőben meghaladhatja a néhány métert. [16] Levegőben 50-100 iont hoznak létre centiméterenként. Alumíniumban, illetve a közönséges papírban folyamatosan, fokozatosan nyelődik el. Ez az elnyelődés egy exponenciális görbe. Megkülönböztetünk negatív és pozitív béta - sugárzást. [18]

Negatív béta-sugárzás akkor jöhet létre, amikor egy gyenge kölcsönhatású folyamatról beszélünk. A neutron átalakul protonná emellé keletkezik egy antineutrínó⁸ és egy elektron. A negatív béta bomlás a természetben megtalálható radioaktív átalakulások mintegy 46%-át teszi ki. [19]

⁷ Forrás: <https://sites.google.com/site/brheo9atomenergia/az-atomenergia-felhasznalasa>

A letöltés ideje: 2021. január. 27.

⁸ Antineutrínó: Tömege nagyon kicsi, esetleg 0. Töltése nincs Gyenge radioaktív bomlás során keletkezik. 3 ismert fajtája: elektronneutrínó, müonneutrínó, taunneutrínó. [21]

A letöltés ideje: 2021. február 02.

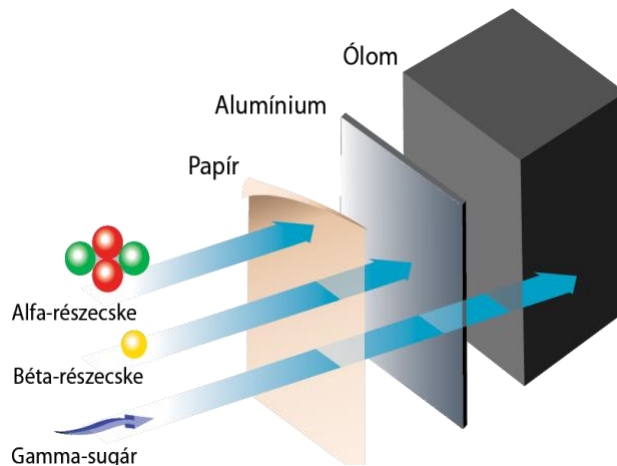
Pozitív béta sugárzásról akkor beszélünk, amikor az atommag kibocsát egy pozitront. Ez akkor alakulhat így, ha az atommag tömege meghaladja egy vele azonos tömegszámú, de egyel kisebb rendszámú atommag és egy pozitron össztömegét. A pozitív béta bomlás a természetben fellelhető átalakulások 11%-át teszi ki. [19]

A béta-sugárzás számos felhasználási területe mellett most kiemelem az orvostudományban alkalmazott technológiát. Alkalmazásra kerül kóros pajzsmirigy, daganatok, vörösvértest megszorodása során. A pajzsmirigy diagnosztizálását követően jódizótoppal kezelik azt. A daganatos megbetegedéseket pedig szájon át történő bejuttatással, illetve véráramba befecskendezett foszforizotópok segítségével gyógyítják. Továbbá csökkenti és szinten tartja a kórosan elszaporodott vörösvértesteket. [17]

2.3 A gamma sugárzás bemutatása

Olyan elektromágneses hullám, ami nagyobb energiával bír, mint a röntgen-sugárzás. Energiája az emberi szem által látott fény milliószorosát is elérheti, melynek sebessége megegyezik a fénysebességgel. Az alfa-, illetve a béta-sugárzással szemben ennek a legkisebb az ionizáló hatása, viszont áthatóképessége a három említett sugárzás közül a legnagyobb. Itt levegőben több száz méterről is beszélhetünk. [14] Ezt az áthatóképességet még egy betonfal, illetve egy néhány centiméteres ólomlemez is csak kis mértékben befolyásolja, csökkenti. [16] A gamma-sugárzás akkor jöhet létre, amikor bomlás után az atom még gerjesztett állapotban marad. Ilyenkor lead egy vagy akár több gamma-fotont is. Amikor erről az esetről van szó, akkor nem változik a tömegszám és a rendszám. [14] Az alfa-sugárzást gyakran követi a magreakciókat, az alfa-, és a béta-bomlást is. [21]

A gamma-sugárzást felhasználják az orvostudományban. Említendő a kobalt-terápia, ahol ^{60}Co gamma-sugárzásával kezelik a daganatos megbetegedéseket. Ez az izotóp egy néhány méteres cső végében van elhelyezve, amely meglehetősen vastag ólomköpeny alatt található. Így tudják elérni, hogy csak a kívánt testrészt fejtse ki hatását. Megelőzve azt, hogy a pozitív hatását jóval súlyosabb negatív hatás váltsa fel. Az említett módszerrel a néhány száz méter helyett csupán 50-100 centiméteres hatótávolság érhető el. Ezzel finomítva és pontosítva az eszközt. Ha megnövelik az izotóp mennyiségét a berendezésben, akkor nagyobb területet is képes besugározni. [22]



4. számú kép: A sugárzások áthatóképessége⁹

2.4 A radioaktív forrás aktivitásának meghatározása

„Az aktivitás a radioaktív anyagok egy adott halmazában időegység alatt bekövetkező bomlások száma. A radioaktív anyagok (sugárforrások) aktivitása fokozatosan csökken.”¹⁰

- Mértékegysége: becquerel
- Jele: Bq [23]

A radioaktív izotópoknak számos bomlási lehetőségét ismerjük. Itt beszélhetünk alfa, béta-, gamma-sugárzásról. Az atommagok átalakulásakor a keletkező sugárzások többnyire keverték. Amikor bomlik a radioaktív atom akkor nem csak egy, hanem több ilyen részecske is ki fog válni. Ilyen esetekben egy vagy akár több gamma-foton bocsátódik ki. Amikor pozitron bomlásról beszélünk, akkor lelassul, majd találkozik egy elektronnal és szétsugárzódik. Az előbb említett két részecske nyugalmi energiája átalakul sugárzási energiává. Az is előfordulhat, hogy a bomlások többféle módon is végződhetnek. [24]

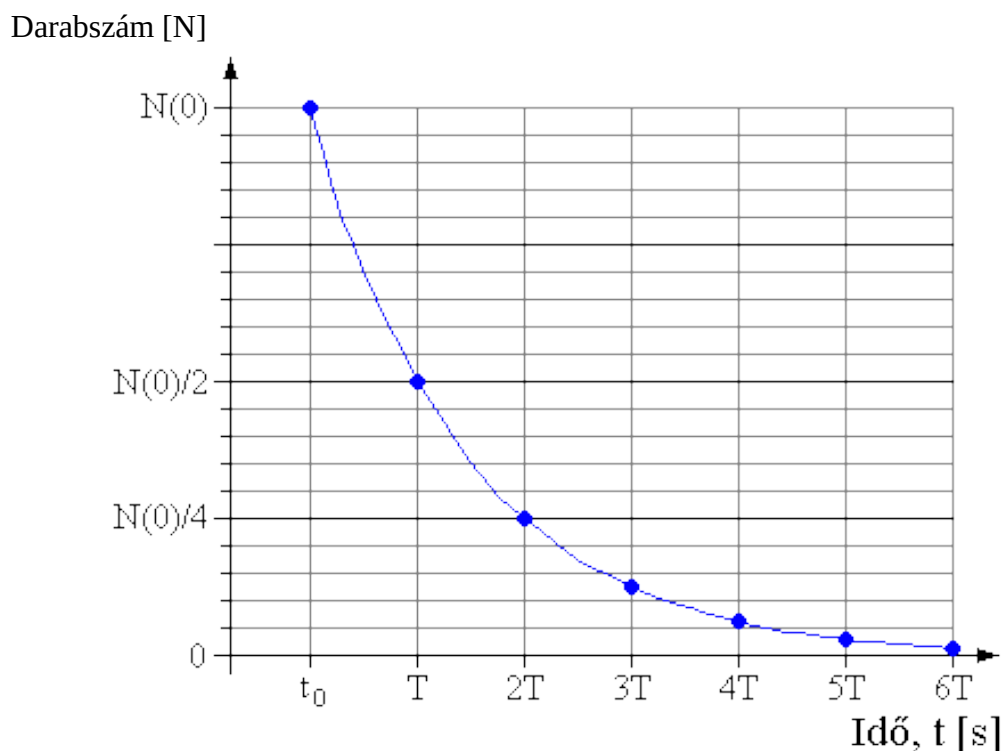
⁹ Forrás:

https://www.google.com/search?q=b%C3%A9ta+sug%C3%A1r%C3%A1s&sxsrf=ALeKk01hCj1GhwOWWxX6szwbyJ0k-IGhuw:1612288759081&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwis8onW48vuAhXGpIsKHV0EDVoQ_AUoAXoECAsQAw#imgrc=6aDVJ_-xw_ABxM&imgdii=IGv0vQv-prTMnM

A letöltés ideje: 2021. február 02.

¹⁰ Forrás: <http://www.t-es-t.hu/termtud/atom/aktivita.htm>.

A letöltés ideje: 2021. február 6.



5. számú ábra: Bomlásra képes magok száma¹¹

Ezen az ábrán az látható, hogy egy adott időtartam elteltével a bomlásra hajlamos és képes magok száma miként feleződik. A „t” sík értelemszerűen az időt jelenti, amely vonatkozásában a felezési időről beszélhetünk. Az „N” síkon a darabszámról beszélünk. Jól látható, hogy a kiinduló darabszám az idő elteltével közelít a nullához. Minden időegység elteltével a felére csökken. [23]

2.5 A radioaktív atommag jellemzői

A radioaktív elemek magja instabil. Ezek a magok idővel lebomlanak, így csökkentve a visszamaradt elem mennyiségét. Ez a bomlás természetes úton következik be, ami annyit jelent, hogy nem kell emberi beavatkozás hozzá. Ezt a bomlást a felezési idővel jellemezhetjük. Ebből megtudhatjuk, hogy az általunk vizsgált radioaktív mag mennyire stabil vagy mennyire instabil. Itt példaként tudom említeni a franciumot, melynek felezési ideje csupán 20 perc. Ellenben az urán felezési ideje mintegy 4 milliárd év.

Az atomból felszabaduló energiát nevezzük sugárzásnak. Ilyen sugárzás lehet a fény és a mikrohullám is. Amikor felszabadítja energiáját a radioaktív elem akkor azt ionizáló sugárzásnak nevezzük. Ezek a töltött részecskék azok, amelyek veszélyesek többek közt az

¹¹ Forrás: <http://www.t-es-t.hu/termtud/atom/aktivita.htm>
A letöltés ideje: 2021. február 6.

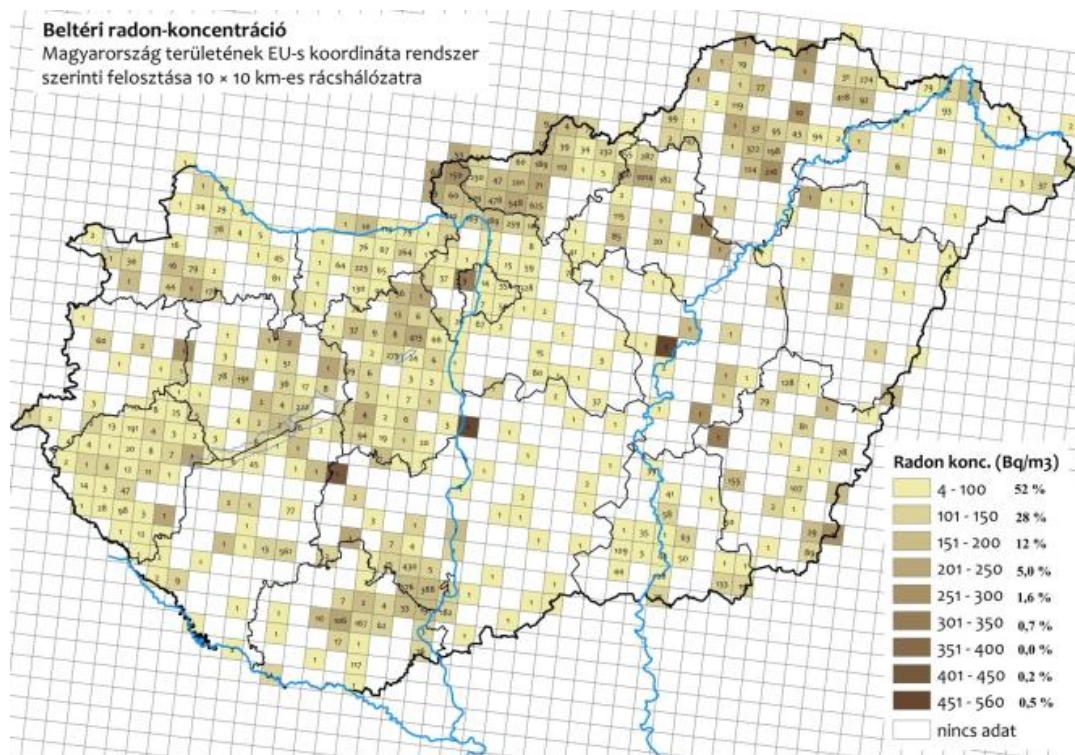
emberi szervezetre. Vannak olyan sugárzások is, amelyeket felhasználnak gyógyászati célokra, megbetegedések kezelésére és gyógyítására. Itt az alfa-, és a béta-sugárzást emelem ki. [25]

2.6 A periódusos rendszer legfontosabb radioaktív elemei és azok bemutatása

Radon

- Vegyjele: Rn
 - A radon ma ismert neve a rádium megnevezésből származik.
 - Színtelen és szagtalan gáz.
 - Egyatomos molekula.
 - Az urán bomlásából keletkezik.
 - Szilárd, illetve cseppfolyós halmazállapotban fluoreszkál radioaktivitása végett.
 - A megszokottnál nehezebben vonható be kémiai reakcióba.
 - Radioaktív izotópjaiból 27 darab ismert.
 - A periódusos rendszerben a 86. elemként van feltüntetve.
 - Felfedezése Ernest Rutherford, illetve Frederick Soddy nevéhez köthető (1900).
 - A radon relatív atomtömege 222. Ezzel az ismert nemesgázok közül a legnehezebb.
- [26]

A radon tehát a természetben is megtalálható radioaktív gáz, ami nem csak az általunk épített környezeten kívül található meg. Megtalálható a beltéri környezetben is. Itt említem az otthonokat, munkahelyeket, sportlétesítményeket és minden hozzánk kapcsolódó épületet. Fontos tudni, hogy a kültéri radonszint felhígul levegőben így az ott kapott érték 5 Bq/m³ és 15 Bq/m³. Ezzel ellentétben, az épületekben, ahol nem megfelelő a szellőztetés és a levegőcsere, a radon fel tud gyülemelni és sokkal magasabb értékeket kapunk. Az itt mért alsó érték átlagosan 10 Bq/m³. Szélsőséges esetben az itt mért érték elérheti akár a 10.000 Bq/m³-t is. Fontos tudni az egészségügyi hatásait is. Szervezetünkben lerakódva jelentősen károsítja az emberi DNS-t. Potenciális tüdőrák okozó. Ezt súlyosbíthatják káros szokások is, amelyek összeadódva megnövelhetik a betegségek kockázatát és végkimenetelét. [27]



5. számú kép: Magyarország radon koncentrációja 2016-ban¹²

Urán/Uránium

- A periódusos rendszer 92. elemeként ismert.
- Vegyjele: U
- Felfedezése 1789-re tehető (uránszurokérc).
- Relatív atomtömege: 238,03
- Periódusos rendszerben a 92. helyen található.
- Nagy sűrűséggel bíró ezüstfehér fém.
- Rendkívül aktív. [28]
- Különböző oxidációs számmal található meg vegyületekben. [29]
- Elszórtan megtalálható az egész földkérgen. [30]

Az urán geológiáját kiemelve fontos beszélni a következőkről. Az urán rendkívül sok ásványban megtalálható annak ellenére, hogy saját maga nem alkot különálló ásványt. Ezeknek a kristályoknak a kialakulásai szorosan köthetőek a magma kristályosodási, valamint hidrotermális átalakulásokhoz. Kialakulhatnak másodlagos ércásványok is. Fontos

¹² Forrás: [https://www.elftsv.hu/svonline/docs/kulonsz/2018sv/Cs/6.%20Hszob Radon HZs 20180419.pdf](https://www.elftsv.hu/svonline/docs/kulonsz/2018sv/Cs/6.%20Hszob%20Radon%20HZs%20180419.pdf)
A letöltés ideje: 2021. február 11.

tudni, hogy ezért csak az ásványok oldódásakor juthatunk hozzá. Nagyon jól oldják mind a savas, mind a lúgos kémhatású oldószerek. Oldódásának kedvez a magas oxidációs állapot.

Fontos beszélni arról, hogy minden természetes vízben található urán, még ha csak csekély, elhanyagolható mértékben is. Hazánk vizeinek átlagos urántartalma 2- 3 µg/l. A Föld teljes víztartalmára nézve ez az átlag 0,1-8 µg/l. [29]

Az urán felhasználása atomerőművekben történik. Itt nem szintisza uránt, hanem egy dúsított változatát használják fel. Ezeket urán-dioxin pasztilláknak nevezzük. Ezt a megfelelő technológiával elhelyezik a reaktorokban és alkalmazzák elektromos áram előállítására. [30]

Polónium

- Vegyjele: Po
- A periódusos rendszerben a 84. elemként ismert.
- Felfedezése Marie Curie nevéhez köthető. 1898.
- Relatív atomtömege: 127,6
- Felezési ideje 136 nap.
- A polóniumnak mindössze 24 db izotópját ismerjük.
- Nem mágneses, szilárd anyag.
- Félfémes jellegű.[31]

Természetben rendkívül ritkán található meg. Radioaktív egyensúlyban áll a rádiummal. Előállítása uránszurokérc felhasználásával történik. Szulfidokat választanak le kén-hidrogén alkalmazásával. A leválasztott szulfidok polóniumot is tartalmaznak. Ezt követően ammóniát tesznek hozzá, így bizmut-hidroxid keletkezik. Ezt követően sósavval oldják, majd elektrolízist használva előállítják a polóniumot.

A polónium felhasználása számos területen jelen van. Elsőként említendő a textilipart. Itt az eljárás során polóniumot alkalmaznak a statikus töltődés megszüntetésére. Előnyei közé sorolható, hogy megfizethető és könnyen szállítható. További alkalmazása egészen távoli körökben figyelhető meg. Űreszközök radioaktív áramforrásaként használják fel. Ennek oka, hogy rendkívül magas a bomlási hője. [31]

2.7 A radioaktív anyagok biológiai hatásai

A radioaktív anyagok biológiai hatásánál két fő csoportját különböztetjük meg:

- Beszélhetünk szomatikus hatásról.

Itt személyesen jelentkeznek a tünetek. Ezt pontosítva előfordul korai károsodás; illetve kései károsodás. Itt az eltelt időt hangsúlyoznám. A korai károsodásnál beszélhetünk hetekről, míg a kései károsodásnál évekről van szó.

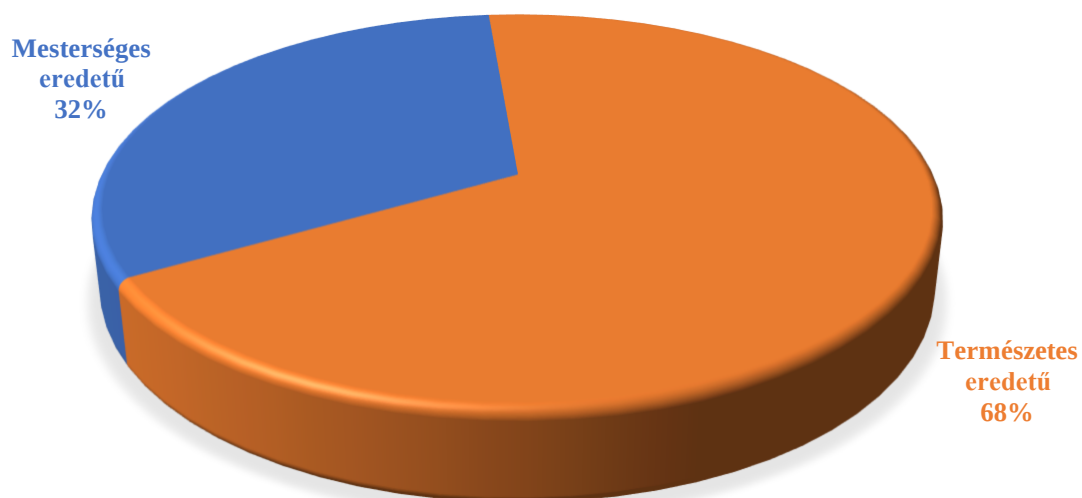
- Beszélhetünk azonban genetikus hatásról is.

Ebben az esetben a DNS-molekulák fognak károsodni, így nem azon a személyen jelentkeznek a tünetek, aki megterhelt a sugárzás, hanem következő generáción fog jelentkezni. [32]

A radioaktív anyagok emberre kifejtett hatása.

A sugárzás következtében kialakulnak olyan ionok, amelyek reakcióképesek. Ezek az ionok képesek arra, hogy megváltoztassák az enzimeket és a nukleinsavakat. Ezek biológiailag fontos molekulák. Ebben az esetben a DNS károsodásáról beszélhetünk. A sugárzás hatása lehet mutagén, karcinogén, valamint teratogén. Fontos tudni még azt, hogy fiatal korban sokkal fogékonyabbak és hajlamosabbak az emberek a károsodás elszenvedésére, mivel a fiatal szervezetben sokkal nagyobb a sejtosztódás aktivitása. [32]

A DNS-t károsító ionizálás két csoportját különböztethetjük meg: beszélhetünk indirekt károsodásról. Ebben az esetben nem közvetlenül a DNS-t károsítja a sugárzás. Elsősorban a testben megtalálható vízmolekulák ionizálódnak. Ilyenkor reaktív OH keletkezik a szervezetben majd a radioaktív hidroxidion (OH) károsítja az emberi DNS-t. Párosítatlan elektronok keletkeznek, amelyek erősen reaktívak. Az itt említett mód a DNS-károsodás mintegy 75%-át teszi ki. Továbbá beszélhetünk direkt károsodásról. Ebben az esetben magát a DNS-ben okoz károsodást a radioaktív részecske.



1. számú diagram: A Föld lakosságának sugárterhelése¹³

Az diagramon százalékos értékeket látni a mesterséges, illetve a természetes eredetű sugárterhelésre. Ezek összesített fokozatait a következőképpen lehet felosztani: elsőfokú sugárbetegség. Ebben az esetben enyhe sugárbetegség jelentkezik. Itt egy személy élete során 100-200 R¹⁴ közti értéket kap. A következő szint a másodfokú sugárbetegség. Itt egy átlagos személy élete során 200-300 R közti értéket kap. A következő szint a harmadfokú sugárbetegség. Ennél az esetenél 300-500 R közti értéket kap egy személy élete során. Utolsóként a negyedfokú sugárbetegséget említem, ahol egy személy élete során több mint 600 R értéket kap. A felosztás kapcsán tehát beszélhetünk enyhe-, közepes-, súlyos-, illetve rendkívül súlyos esetekről.

Hatásmechanizmus

A sugárzás hatásmechanizmusát három fő részre osztom majd a részeken belül részletezem azok megnyilvánulását.

Elsőként a fizikai hatást emelem ki.

- Itt beszélhetünk energia abszorpcióról és;
- beszélhetünk ionizációról vagy gerjesztésről.

¹³ Saját szerkesztésű diagram.

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

A letöltés ideje: 2021. február 15.

¹⁴ R=Röntgen

Második példaként a kémiai hatást emelem ki.

- Beszélhetünk molekuláris változásról;
- illetve beszélhetünk biokémiai változásról.

Utolsóként a biológiai hatást említem.

- Ebben az esetben beszélhetünk fiziológiai hatásról;
- az élőlény elpusztulásáról;
- illetve egyéb biológiai hatásról. [34]

Sugárzás hatása az állati-, növényi szervezetre

A sugárzás nem csupán az emberek-, hanem az állatok életét is befolyásolja. Abban az esetben, ha a halak az embrionális fejlődési szakaszban sugárterhelést kapnak, akkor a szívműködés rendezetlen lesz, akadályozott a szervdifferenciálódás, illetve vontatott fejlődésen mennek keresztül a halak embriói. Növényeknél is érzékelhető a sugárterhelés. Amikor a szokottnál nagyobb dózist kapnak akkor jelentősen csökken a terményhozam. Megfigyelhető specifikus növekedésgátlás, vagy akár elhalás is. [32]

3 A RADIOAKTÍV ANYAGOK SZÁLLÍTÁSA SORÁN ALKALMAZOTT SZABÁLYZATOK BEMUTATÁSA ÉS A JÓVÁHAGYÁSI RENDSZER ÉRTÉKELÉSE

A mai világ egyre nagyobb fejlődési tendenciát mutat. A lehető legrövidebb úton időben kell elszállítani nagy mennyiségű veszélyes anyagot a lehető legrövidebb idő elteltével és a lehető legkisebb kockázati faktoral. Ennek értelmében egységes szabályozókra van szükség, amely nemzetek közt is jól megállja a helyét. A következő példákban bemutatok öt olyan egyezményt, amely az EU-ban, illetve Magyarországon is jelen vannak. Ezt követően kifejtem a Magyarországon jelen lévő szabályozókat. Ezek után részletezem a radioaktív anyagok csomagolásának lehetséges paramétereit, valamint azok jóváhagyási rendszerét. Ismertetem és részletezem a küldeménydaraboknál használt vizsgálatokat, próbákat, illetve méréseket. A továbbiakban kitérek a radioaktív anyagok és hulladékok szállításának menetére és az ezekhez szükséges dokumentációk bemutatására. Végezetül ebben a fejezetben bemutatom a radioaktív anyagok és hulladékok ellenőrzésének feltételeit katasztrófavédelmi szemszögből.

3.1 Nemzetközi szabályzatok rövid bemutatása

3.1.1 Nemzeti Atomenergia Ügynökség

A Nemzeti Atomenergia Ügynökség (a továbbiakban: NAÜ) 1957-ben alakult meg. A NAÜ besorolható az ENSZ szervezeteinek családjába, melynek jelenleg 162 ország tagja. Az évente megrendezésre kerülő Általános konferencia a legfőbb döntéshozatali szerveként ismert. Öt alkalommal tart ülést Kormányzó Tanács (KT), amely 35 tagállammal rendelkezik. A nukleáris energia felhasználása békés célokra vonatkozásában mindössze 13 ország kerül megválasztásra. A Kormányzó Tanács további 22 darab – földrajzi elhelyezkedést figyelembe véve – választ regionális csoportot. Abban az esetben, ha egy országot beválasztanak az előbb említett csoportba 2 évig lesz tagja. Magyarországot 2011-2013-ban választották meg tagként.

A NAÜ három fő alappilére a *„nukleáris energia és más nukleáris technológiák békés célú felhasználásának segítése és támogatása, a nukleáris biztonság erősítése, valamint a nukleáris tevékenység békés jellegének ellenőrzése az ún. biztosítéki rendszer keretében.”* Különösen nagy jelentőséggel bír az előbb ismertetett három alappillér egyensúlyának megőrzése a fejlődő országok körében.

A NAÜ nagy hangsúlyt fektet a küzdelemre, amelyet a terrorizmussal szemben folytat. A 2001. szeptember 11-én történt terrortámadás következtében a NAÜ kidolgozott egy globális akcióprogramot, amelyet nemzetközi feladatként tűzött ki célul. A 2005-ös konferencia jelentősen bővítette a „Nukleáris anyagok fizikai védelméről szóló egyezmény”-t. Továbbá kiterjesztette a szállított nukleáris anyagok védelmére. [35]

3.1.2 Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállítása (ADR)

Ez a megállapodás 1957-ben jött létre Genfben. Eredeti címe: „Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route”. 1979-ben Magyarország csatlakozott az ADR-hez, mely 1979. évi 19. törvényerejű rendelettel lett bevezetve a magyar jogrendbe. Az ADR „A”, illetve „B” mellékletét először a „20/1979. (IX. 18.) KPM rendelet” rendelte el. Fontos és célravezető, hogy a EU-hoz csatlakozott, illetve az ADR-t elfogadó országok egységes szempontok alapján végrehajtott ellenőrzéseken essenek át. 2001-ben átszerkesztették az ADR felépítését és azt az „ADR Magyarországi alkalmazását a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás „A” és „B” Mellékletének kihirdetéséről és belföldi alkalmazásáról szóló 20/1979. (IX. 18.) KPM rendelet módosításáról szóló 28/2002. (XII. 9.) GKM rendelet” rendelte el. Az ADR utolsó változata a 2009-ben hatályba kerülő rendelettel lépett életbe. Továbbá a belföldi szállítás során figyelembe kell venni a 9/2008 ÖTM rendelet vonatkozó előírásait. [36]

3.1.3 Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozása (RID)

Kezdetekben a vasúti fuvarozás egységes ellenőrzése és szankcionálása rendkívül kevés országban volt szükséges. A vasúti fuvarozás gyors fejlődése, illetve a nemzetek közti vasúthálózat megépítése elengedhetetlenné tette azt, hogy egy egységes és nemzetközi szabályozás bevezetésre kerüljön. Az első „Vasúti Árufuvarozási Nemzetközi Egyezmény” (CIM¹⁵) 1893-ban lépett hatályba, amelyet a ma ismert érvényes egyezmény módosított 1952-ben. 1980. május 9-én revíziós konferenciáknak köszönhetően hatályba lépett a „Vasúti Fuvarozási Egyezmény” (COTIF). 2013-óta mintegy 46 tagállam részese a COTIF-nek, Magyarország 1986-óta tagja. A második világháborút követően szükségessé vált egy általános érvényű Egyezmény. 1951-ben létrehozták a „Nemzetközi Árufuvarozási Egyezmény” (MGSZ¹⁶). 1954-ben módosították, valamint kiegészítették így alakult meg a

¹⁵ CIM: Convention Internationale concernant le transport des Marchandises par chemin de fer.

¹⁶ MGSZ: Mezsduarodnoe Gruzovoe Szooobszenyje

„Nemzetközi Vasúti Árufuvarozási Megállapodás” (SZMG SZ¹⁷). 1954-1956 közt csatlakozott az MGSZ-hez négy távol-keleti ország. Ez Magyarország előnyére vált, mivel így azokkal az országokkal is létesíthetett fuvarozások az egységes rendszer miatt. 1999. június 3-án megkötötték az egyezményt, amelynek pontos elnevezése „A Veszélyes Áruk Nemzetközi Vasúti Fuvarozásáról Szóló Egyezmény” lett. A hazai jogrendbe bevezető szabályozás a „9/2009. (VIII. 7.) KHEM rendelet” [37]

3.1.4 Veszélyes Áruk Nemzetközi Légi Szállítása (ICAO-TI)

1944. december 7-én létrehozták a Chicagói Egyezményt, amely egy globális és nemzetközi veszélyes áru szállítási szabályozóként volt ismert. Az egyezmény fő célkitűzéseként ismert, hogy könnyebbé, biztonságosabbá tegye az országok közti repülést. Kihatott a légi repülés rendszerére, hatékonyságára, illetve annak biztonságára. Magyarország 1969-ben csatlakozott a Chicagói Egyezményhez. Továbbá a részletes szabályokat a „Veszélyes anyagok biztonságos légi szállításának technológiai utasítása” (ICAO-TI)¹⁸ állapítja meg. Az ICAO-nak jelenleg 193 ország a tagja, amihez Magyarország 1969-ben csatlakozott. A szervezet fő célkitűzéseikhez tartozik a nemzeti repülés biztonsága, illetve az, hogy a repülés fejlődését a lehető legmagasabb szintre emeljék. Ösztönzik és szorgalmazzák a repülőket, repülőtereket, berendezéseket korszerűsítését. 1984-ben kiadták a légi úton történő veszélyes áruk szállításával kapcsolatos szabályokat egy rendeletbe foglalva. Magyarországon az említett egyezményt „20/1997. (X. 21.) KHVM rendelet” -tel hirdették ki. [38] A későbbiekben ezt a rendeletet törvényi szintre emelték a „2007. évi XLVI. törvény a nemzetközi polgári repülésről Chicagóban, az 1944. évi december hó 7. napján aláírt Egyezmény Függelékének kihirdetéséről” szóló törvénnyel. [39]

3.1.5 Veszélyes Áruk Nemzetközi Belvízi Szállítása (ADN)

2000. május 26-án Genfben kiadták a „Veszélyes Áruk Nemzetközi Belvízi Szállításáról szóló Európai Megállapodás” -t. [40] Majd ezt követően a Genfben kiadott a törvényt vonatkozásában kiadták a „2009. évi III. törvény”, amely a „Veszélyes Áruk Nemzetközi Belvízi Szállításáról Szóló Európai Megállapodás kihirdetéséről” -szól. Ezt követően kiadták a „2010. évi VI. törvényt”, amely a Genfben, 2000. május 26. napján kelt, a „Veszélyes Áruk Nemzetközi Belvízi Szállításáról szóló Európai Megállapodás szövegének

¹⁷SZMG SZ: (Szoglosényie o Mezsduarodnom Gmzovom Szoobscsenyii

¹⁸ICAO-TI: Technical Instructions For The Safe Transport of Dangerous Goods by Air

módosításáról szóló Jegyzőkönyv kihirdetéséről, valamint az ADN-hez csatolt Szabályzat kihirdetéséről és belföldi alkalmazásáról” - szövege. Ezt követően „2015-ben kiadták a LXXXIV. törvényt”, amely a Genfben, 2000. május 26. napján kelt, a „Veszélyes Áruk Nemzetközi Belvízi Szállításáról szóló Európai Megállapodáshoz csatolt Szabályzat kihirdetéséről és belföldi alkalmazásáról”. Majd ezt követően kiadták a „177/2017. (VII. 5.) Korm. rendeletet a veszélyes Áruk Nemzetközi Belvízi Szállításáról szóló Európai Megállapodáshoz csatolt Szabályzat kihirdetéséről, valamint a belföldi alkalmazásának egyes kérdéseiről”. Továbbá fontos megemlíteni a „26/2017. (VII. 5.) NFM rendeletet”, amely a „Veszélyes Áruk Nemzetközi Belvízi Szállításáról szóló Európai Megállapodáshoz csatolt Szabályzat belföldi alkalmazásáról szóló rendeletet” jelenti. [41]

3.1.6 Veszélyes Áruk Nemzetközi Tengeri Szállítása (IMDG kódex)

1956-ban vezették be nemzetközileg az IMDG kódexet. Az IMDG¹⁹ kódexet azért hozták létre, hogy nemzetközileg felügyelni és szabályozni tudják a veszélyes anyagok csomagolását, illetve a veszélyes anyagok szállítását a tengereken. A kódex részletesen meghatározza a csomagolóeszközök milyenségét, használatát, a becsomagolt veszélyes anyagok tárolásának követelményeit, valamint azok szállításának előírásait. 1965-ben fogadták el először a kódexet egy eljárási eszközként. Ezt követően 2002-ben egy határozattal elfogadta az IMDG kódexet a közgyűlés tizenhetedikként megtartott ülés szakaszán. Továbbá úgy határozta meg hogy 2004. január 1-től a SOLAS²⁰-egyezmény mellett kötelező státuszként kell betartani. Fontos tudni, hogy ennek következtében egy nemzetközileg elfogadott egyezményt kapunk, amelyet egységes szabályozás és szankcionálás érint. Fontos tudni, hogy ennek az egységes rendszernek köszönhetően az IMO²¹ is észszerű és belátható időn belül tud reagálni a közlekedés fejlődésének érdekében. Továbbá a módosítások a tagállamok által benyújtott javaslatok, illetve észrevételek és azok javítása alapján mennek végbe. [42]

3.2 Hazai szabályzók rövid bemutatása

Magyarországon is fejlődő tendenciát mutat a veszélyes áruk szállításának mutatója. Fontos, hogy a fejlődés során elegendő figyelmet fordítsanak a biztonságra. A veszélyes áruk

¹⁹ IMDG code: The International Maritime Dangerous Goods Code

²⁰ SOLAS: Életbiztonság a tengeren-egyezmény

²¹ IMO: International Maritime Organization

szállítása során alkalmazott szabályozók lehetővé teszik, hogy a hatályban lévő szabályozók alkalmazásával, gyors, biztonságos és hatékony szállítás menjen végbe mind közúton történő szállítás során, vasúti szállítás során, légi szállítás során, valamint belvízi szállítás során. Veszélyes áru szállítása során alkalmazott jogszabályok Magyarországon:

- „508/2020. (XI. 18.) Korm. rendelet az 1957. szeptember 30-án létrejött, a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás módosításáról szóló Jegyzőkönyv és a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Megállapodás egységes szerkezetben történő kihirdetéséről.”
- „156/2019. (VI. 28.) Korm. rendelet a veszélyes áruk szállításáról szóló egyes kormányrendeletek módosításáról.”
- „35/2001. (X. 12.) KöViM rendelet a 2001. évi XI. törvénnyel kihirdetett „Életbiztonság a tengeren” tárgyú nemzetközi egyezmény és az ahhoz csatolt 1978. évi Jegyzőkönyv („SOLAS 1974/1978.”) mellékletének kihirdetéséről.” [43]

3.3 A radioaktív anyagok lehetséges csomagolásának bemutatása és azok jóváhagyási rendszere

3.3.1 A küldeménydarab műszaki leírása

A küldeménydarabok feladata és fő műszaki paraméterei

A küldeménydarabon fel kell tüntetni a küldeménydarab pontos nevét (amennyiben van), a típusjelét (abban az esetben, ha van ez nem kötelező), valamint az azonosító számát vagy jelét. Az említett típusjel azért nem tartozik a kötelezők közé mivel ennek csupán akkor van értelme, ha egy rendszerbe több, azonos konténert akarnak berakni. Ha a felállított rendszer több részből épül fel akkor az adatokat, minden egyes résznél fel kell tüntetni. Ebben a szakaszban fontos, hogy fel legyen tüntetve a küldeménydarabban szállítandó és szállítható radioaktív anyag típusa. Fel kell tüntetni a szállítható radioaktív anyagok nevét, valamint a megengedett aktivitást izotóponként. A különleges előírások értelmében fel kell tüntetni a szállítandó anyag méretét, tömegét, valamint halmazállapotát. Fontos feltüntetni a szállított küldeménydarab töltéséhez, valamint annak ürítéséhez alkalmazott eszközrendszert (példa: manipulátoros forrófülke, kesztyűs fölke, vízmedence). Az engedélyezett szállításra alkalmas eszközöket és a helyenként alkalmazott mozgató, emelő eszközök is ennek a felsorolásnak a részesei. Ennek a szakasznak a záró pontjában fel kell tüntetni a küldeménydarab legfőbb méreteit, valamint annak teljes tömegét. [41]

Tervező és gyártó bemutatása

Ebben a szakaszban elsőként fel kell tüntetni a tervező cégének az azonosítási adatait (példa: nevét, címét, cégjegyzékszámát). Amennyiben a tervező cég rendelkezik szabványos minőséggyártási rendszerrel, abban az esetben fel kell tüntetni a tanúsítvány azonosítóját. Következésképpen ismertetni kell a tervező, a tervezők neveit, azonosításukhoz alkalmas adatokat. Amennyiben több tervező személy van, abban az esetben azt is le kell írni, hogy ki melyik részlegen felelős a tervezésért. Amennyiben a tervezést egy magánszemély végezte el egy megbízásos jogviszonyban, akkor az a tervező cég, aki létesíti a tervezővel a megbízásos jogviszonyt. Fel kell tüntetni a gyártó cég azonosítására alkalmas adatokat (példa: név, cégjegyzékszám, cím). Fontos feltüntetni még a tanúsítványnak az azonosító jelzését, amennyiben a cégnél szabványoknak megfelelő rendszer működik, és ha a gyártó céggel nem azonos. Továbbá ismertetni kell a tervező, illetve a gyártó jogi nyilatkozatát. Abban az esetben, ha egy küldeménydarab nem egy részből áll, akkor a minden részt el kell látni a saját azonosítására alkalmas adatokkal. [41]

A küldeménydarab rajzai

A küldeménydarab rajza általában egy kiviteli tervet jelent, viszont ez nem kötelező. Amennyiben a tervező a kiviteli tervet „*egy rajz- egy alkatrész*” rendszerben csinálja, valamint megfelelő számban készít rész-összeállítási rajzot, akkor ez csak úgy valósítható meg, hogy több rajzon keresztül vezeti le a tervező. Célszerű olyan összeállítási rajzot készíteni, amely részletezi az alkatrészek alakját, illetve méreteit. Továbbá oly módon illusztrálja a metszeteket, hogy ezek összessége egy jól levezethető és áttekinthető rajzot jelent. Fontos még, hogy méretarányban jól követhető és összehasonlítható rajzot kapjunk. A rajzokhoz csatolni kell egy darabjegyzéket, amely magába foglal minden alkatrészt, illetve az alkatrészek lényeges adatait. Ide felsorolandó a tételszám, az alkatrész megnevezése, az alkatrész tömege, továbbá az alkatrész anyagának és minőségének megnevezése. A darabjegyzéket jól átláthatóan és logikusan kell elkészíteni. Ennek két lehetséges módja van: el lehet helyezni a rajzon; és el lehet helyezni egy tetszőleges külön lapon is. A darabjegyzéket el lehet helyezni összevontan egy tetszőleges rajzon, amennyiben több rajzból áll és az alkatrészeket nem tételszámozták rajzonként. Fontos, hogy az alkatrészeket oly módon mutassák be, hogy azok teljes részletességgel legyenek feltüntetve. Ez azért fontos, mert így meg lehet ítélni egy konténer biztonságát. Ennek a szakasznak tartalmaznia kell a következőket: a rajz megnevezését, a rajz rajzszámának feltüntetését, a rajz

rajzformátumát, a rajzjegyzéket amennyiben az szükséges, valamint jelezni kell, ha a darabjegyzék külön oldalon található. [41]

A küldeménydarab műszaki ismertetése

A műszaki ismertetés akkor jó, ha tömör, valamint, ha világosan kikövetkeztethető az a rajzból. Amennyiben több egységből áll az engedélyezés tárgyát képző rendszer, akkor azok szerkezetét nem együtt kell ismertetni, hanem külön. A teljes rendszer leírása tartalmazza az egységek csatlakozását, valamint működésüket. Ebben a pontban kell ismertetni, hogy az egyes rendszer milyen részekből áll. Ez a műszaki ismertetés nem foglalja magába a küldeménydarab kezelését, szállítási-, mozgatási-, emelési lehetőségeit, javítását. Ennek oka, hogy ezeknek az előbb említett információknak a kezelési utasításban van helyük. Ez a rész tartalmazza a küldeménydarab és a többi egység külsőleges festését. Továbbá fel kell tüntetni a klímaturéssal kapcsolatos tudnivalókat, valamint az esetleges vegyszerállóságot. Utolsóként fel kell tüntetni a konténeren elhelyezkedő azonosító jelzés helyét, módját. [41]

A küldeménydarab gyártásakor végzett műszaki ellenőrzések

Ebben a szakaszban fel kell tüntetni a tervező által meghatározott gyártási folyamat alatti, továbbá a végátvételi minőségi ellenőrzéseket, vizsgálatokat. Továbbá mellékletben csatolni kell a vizsgálatok bizonylatainak a másolatát. Ennek tartalmaznia kell egy pontos megjelölést a vizsgálandó alkatrészekről; a vizsgálat tárgyát; követelményeket; a vizsgálat során alkalmazott eszközt; a vizsgálat elvégzését végző személy személyes adatait, az értékelő személy személyes adatait; valamint egy eredményt a vizsgálatról. Természetesen ebben a részben a minőséggyártási rendszer adatai is szerepet kaphatnak. Egy összesített dokumentációs tartalmat közölhet a kérelmező. Amennyiben egy vizsgálatot engedélyezett személy végez, abban az esetben a vizsgálatot elvégző személy nevét, valamint a neve után le kell írni a hatósági vizsgájának a bizonyítvány azonosító jelét is. [41]

A gyártáshoz felhasznált anyagok minőségi bizonyítványai

Ebben a szakaszban le kell írni az alkatrészek minőségbeli bizonyítványának másolatait (műbizonylatát). Az előbb említett előírást a darabjegyzék tartalom belül kell feltüntetni. Amennyiben a tervező egyedi vizsgálatot ír elő az anyagra vonatkozóan, abban az esetben a vizsgálat bizonylatát egyaránt tartalmaznia kell ennek a szakasznak. Minden egyes műbizonylathoz, illetve anyagvizsgálati bizonylathoz hozzá kell csatolni egy jelzést,

amely feltűnteti, hogy az elkészült alkatrész milyen anyagból készült. Amennyiben a gyártónak van ISO²² minőségirányító rendszere, abban az esetben megteheti azt, hogy utólag írja be a vizsgálati és a műbizonylat azonosítására alkalmas jelet. Ha nincs ISO rendszere a gyártónak, akkor ebben a szakaszban el kell helyezni egy jegyzéket, amiben fel vannak sorolva ilyen alkatrészek. Ezekhez az alkatrészekhez hozzá kell rendelni a bizonylat azonosító jelét. A hitelesítés érdekében mellékelni kell az illetékes gyártó cég felelős munkatársa nevét. Ebben a szakaszban nem szükséges olyan minőségi bizonylatokat feltűntetni, amik a leírtak vonatkozásában nem kötelezőek. Továbbá nincs időponti előírása az alkalmazott bizonyítványok származásának meghatározására, mivel azokat tárolhatja a saját raktárában, de azok beszerzésekor gyártóművi minőségű bizonyítvánnyal megvásárolt anyagot is használhat. [41]

Technológiai leírások

Ez a szakasz olyan leírást tartalmaz, amit a tervező készített el a gyártás technológiájáról és a gyártási technológiához kapcsolódó követelményekről. Ebben az esetben olyan követelményeket kell figyelembe venni, mint például egy hegesztésnél a vizsgáztatott hegesztő nevét, azonosítását. Továbbá mely hegesztési pontot, varratot melyik hegesztő gyártotta. Továbbá a hegesztő személy neve mellé oda kell írni a vizsgabizonyítvány számát és lejáratának idejét. Amennyiben van elég hely a varrat mellett, akkor fel kell tüntetni a hegesztő bélyegzőjét. Valamint ebben a szakaszban csupán a technológiai előírások vannak feltűntetve. Abban az esetben, ha a tervező a tervrajzok darabjegyzékén már feltűntette a vonatkozó technológiai előírásokat, akkor ebben a szakaszban már nem kell megtennie. Fontos, hogy ez a szakasz tartalmazza a munkautasítások tartalmi követelményeit, amennyiben a gyártó, illetve tervező rendszere tartalmaz technológiai munkautasításokat. [41]

3.3.2 A küldeménydarabra vonatkozó követelmények

A küldeménydarab típusokra vonatkozó általános követelmények

Egy küldeménydarab-típus kiválasztása, valamint egy tervezés folyamata úgy zajlik, hogy a típusokra érvényes és általános követelmények megtekintése és áttanulmányozása elsőként valósul meg. Fontos tudni, hogy az SSR-6:2012-ben megtalálható általános

²² ISO: Industrial Solutions

követelmények teljesen be lettek építve a „*Veszélyes anyagok nemzetközi szállítását szabályozó módozatfüggő technikai mellékleteibe*”. Itt értelemszerűen a közúti-, légi-, vasúti-, tengeri-, illetve belvízi veszélyes anyagok szállításáról beszélhetünk.

A mellékletekben megtalálható legfontosabb pontok a következők:

- Fontos, hogy a küldeménydarabot biztonságosan és könnyen lehessen kezelni;
- Megfelelően kell biztosítani szállítás során a rögzítéseket;
- Esetleges emelőszerelvénny meghibásodás ne tegyen kárt és ne tegye lehetővé a károkozást a konténerekben;
- A küldeménydarab felszínén ne legyen jelentősebb kiemelkedési pont;
- Esetleges szennyeződés esetén könnyedén elvégezhető legyen a mentesítési folyamat;
- A kívül elhelyezkedő burkolatnak nem szabad összegyűjtenie a vizet;
- Fontos, hogy kémiaiilag, valamint fizikailag is összeférhetőnek legyenek az alkatrészek beépítés után;
- A szerkezet megtervezése során ügyelni kell arra, hogy többszöri használat következtében se lazuljanak ki;
- Valamint a környezeti hatásokat figyelembe véve a küldeménydaraboknak időjárásellenállónak kell lenniük. [41]

Küldeménydarab típusokra vonatkozó speciális követelmények

Ebben a szakaszban át kell tanulmányozni az egyes küldeménydarabokra érvényes előírásokat, továbbá az általános követelmények számbevételénél is meg kell vizsgálni az előírásokat. Fontos tudni, hogy az említett követelmények szoros kapcsolatban, egymásra épülnek fel. Amennyiben a követelmények szigorodnak, abban az esetben úgyszintén szigorodnak a szállítással összefüggő súlyossági szintek.

A követelmények a következőképp épülnek egymásra a típustól kezdődően („IP”):

- „Az ipari küldeménydarabokra vonatkozó követelmények.”
- „A típusú küldeménydarabokra vonatkozó követelmények.”
- „B(U) típusú küldeménydarabokra vonatkozó követelmények.”
- „B(M) típusú küldeménydarabokra vonatkozó követelmények.”
- „C típusú küldeménydarabokra vonatkozó követelmények.” [41]

A különböző szállítási módok követelményei

Ebben a pontban szereplő előírások megtalálhatóak a „Nemzeti Atomenergia-ügynökség” (későbbiekben: NAÜ) egyezményeiben, illetve szabályzataiban, továbbá ez szorosan kapcsolódik az említett szállítási módokhoz. Fontos, hogy az előírások naprakész, folyamatosan elérhető állapotban legyenek.

A közelmúlt tapasztalatai alapján ezek a következtetések vonhatóak le:

- A vasúti, valamint a közúti veszélyes áru szállításának előírásai állnak legszorosabb kapcsolatban a NAÜ ajánásaival.
- Gyakorlatilag egyezők a magyar vonatkozásban alkalmazott gyakorlati jellemzők a vasúti és a közúti szállításnál.
- A légi veszélyes áru szállításnál alkalmazott szabályozás előírásai egyeznek a NAÜ követelményrendszerével.
- A tengeren történő szállítás szabályzata értelmében szállíthatók azok a küldeménydarabok is, amelyek alkalmasak a légi szállításra.

Fontos tisztáznunk, hogy a fenti tényezők alapján a kérelmezőnek, valamint a tervezőnek párhuzamosan kell betartani az előírásokat. [41]

Különleges formájú radioaktív anyagokra vonatkozó követelmények

A különleges, megszokottól eltérő formájú radioaktív töltéssel rendelkező anyag legalább egyik méretének értéke nem lehet kevesebb 5mm-nél. Fontos, hogy ennek a küldeménydarabnak meg kell felelnie a következő követelményeknek:

- Nem törhet össze és nem szakadhat fel az ütési, ejtési, valamint hajlítási vizsgálatok során;
- Nem diszpergálódhat, valamint nem olvadhat meg a hőpróba alatt;
- Egy kioldási vizsgálat alatt a vízben mért aktivitási érték nem lehet több 2 kBq, valamint szivárgásvizsgálat során zárt térben nem haladhatja meg a hatóság által elfogadott küszöböt. [41]

Kismértékben diszpergálódó radioaktív anyagra vonatkozó követelmények

Fontos, hogy a küldeménydarabban elhelyezett radioaktív sugárzással rendelkező anyag megfeleljen a következő elvárásoknak:

- Árnyékolással el nem látott radioaktív anyag sugárzási szintje nem haladhatja meg a 10mSv/h értéket 3 méteres távolságban;

- Amennyiben a mintát fokozott hőpróbának tennék ki, illetve felütköztetési próbát végeznének el rajta és ezt követően 7 napig egy szobahőmérsékletű vizet tartalmazó edénybe tennék, annak értéke a hetedik napon nem haladhatja meg a 100A₂ értéket;
- Ha egy diszpergálódó radioaktív anyagot alávetnek egy fokozott hőpróbának, valamint egy felütköztetési próbát elvégeznek rajta, akkor az említett próbák után a részecske kibocsátása nem haladhatja meg a 100 µm-t (aerodinamikai ekvivalens átmérő).

Elvárások a vizsgálatok elvégzéséhez:

A vizsgálatok elvégzését olyan személy, személyek végezhetik, akik rendelkeznek kolloidikai és kolloidkémiai sugárvédelmi ismeretekkel. [41]

Sugárnyelőképességgel kapcsolatos követelmények

Amely küldeménydarab radioaktív sugárzással rendelkező anyagot tartalmaz, két fontos követelménynek kell megfelelnie. Első követelmény, hogy azok szállítása közben nem szabad szintemelkedést előidézniük. Ez magába foglalja a normál helyzeteket, valamint az esetleg µm baleseteknél is meg kell őrizniük azt az elvárást amikor nem befolyásolják környezetüket. Második követelményként említendő az, hogy a szállítást elvégző személyek egyéni sugárterhelése a lehető legalacsonyabb maradjon ésszerű értékek közt. Minden küldeménydarabnál figyelembe kell venni a saját, ideértve az általános követelményeket, valamint a megadott típusra értendő speciális követelményeket is. Ezen felül a próbákhoz vonatkozó sugárvédelmi követelményrendszert is figyelembe kell venni. [41]

3.3.3 Vizsgálatok, próbák, ellenőrző képességek

A következő táblázat szemlélteti a hazánkban elfogadott és végrehajtandó szimulációs, illetve hő- és mechanikai próbákat. Ezek küldeménydarabokra, továbbá az említett engedélyköteles radioaktív sugárzással rendelkező anyagokra vonatkoznak. Fontos tudni, hogy a szemléltető táblázatomban szereplő SF, LDRM, IF, AF, B(U), B(M), C- vel jelölt oszlopok a küldeménydarab típusokra vonatkoznak. Továbbá szeretném felhívni a figyelmet, hogy ez a táblázat egy kiemelt részlet szemléltetés céljából, nem tartalmazza a teljeskörű vizsgálati adatbázist. Elsőként a normál, majd ezt követően a baleseti próbák értékei láthatóak típusokra levetítve. [41]

Próba	SF	LDRM	IF	AF	B(U)	B(M)	C
normál:							
vízpermet (SSR-6:2012, 721.)			[x]	x	x	x	x
ejtés/normál (SSR-6:2012, 722.)			x	x	x	x	x
halmozás (SSR-6:2012, 723.)			x	x	x	x	x
átdöfés/1m (SSR-6:2012, 724.)			[x]	x	x	x	x
átdöfés/1,7m (SSR-6:2012, 725.b)				[x]			
baleseti:							
ejtés/9m (SSR-6:2012, 705.)	x						
ejtés/9m (SSR-6:2012, 725.a)				[x]			
felütköztetés (SSR-6:2012, 737.)		x					x
felhasítás (SSR-6:2012, 735.)							x
vízbecerítés/150kPa (SSR-6:2012, 729.)					x	x	
hőpróba/10' (SSR-6:2012, 708.)	x						

X értéként az elvégzendő próbák láthatóak

[X] értéként az opcionális próbákat láthatóak

2. táblázat: Hazánkban alkalmazott vizsgálatok alkalmazása egyes típusokra vonatkozóan²³

Sugárvédelmi mérések

Mérési pontok kijelölése:

Annak érdekében kell elvégezni az ellenőrzést, hogy a küldeménydarab bármely külső pontjára vonatkoztathatóak a releváns pontok. Minden esetben le kell ellenőrizni a konténerek alsó felét, annak vonatkozásában, hogy azok elmozdulhatnak a vizsgálatok során. Amennyiben tudatában vagyunk a konstrukciós ismereteknek, meg tudjuk becsülni a leggyengébb védelmi pontot. Mérések során azokra kell koncentrálni. Továbbiakban figyelemmel kell kísérni a béléanyag sajátosságait. Döntő többségben a konténerek szimmetrikus felépítésűek. Figyelemmel kell kísérni a radioaktív anyag pozícióját, mivel nem minden esetben kerül a csomagolás középpontjába.

A mérési pontok számának és helyének meghatározásához figyelembe kell venni az előbb említett információkat, továbbá a tájékoztató mérések eredményeit is. További

²³ Saját készítésű táblázat.

Felhasznált forrás:

[http://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHportal.nsf/D411287EEFABB38AC1257BE900552C20/\\$FILE/SZ-1v2T_v%C3%A9gleges.pdf](http://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHportal.nsf/D411287EEFABB38AC1257BE900552C20/$FILE/SZ-1v2T_v%C3%A9gleges.pdf)

A letöltés dátuma: 2021. 03. 12.

vizsgálatok érdekében célszerű megjelölni a kijelölt mérési pontok elhelyezkedését, ez a teendő elősegíti a hatékonyságot. Az első mérés sorozatát a radioaktív töltetnél mindig a próbák megkezdése előtt kell elvégezni. [41]

Mérőműszerek kiválasztásának szempontjai:

Fontos, hogy a megfelelő mérőműszert válasszuk ki, mivel ezekkel lehet a leghatékonyabb és legpontosabb méréseket végezni. Egy sugárzás mérésénél, dózismérésnél fontos, hogy a műszer arra a sugárzási fajtára legyen érzékeny, amelyre a mérés irányul. Vannak olyan hatékony műszerek, amik könnyedén hordozhatóak, energiafüggetlenek és könnyen kezelhetőek, viszont ezek költségesek. A mérések elvégzéséért felelős személy feladata a megfelelő műszer kiválasztása. Feladata átvizsgálni a műszerhez kapcsolódó adatokat, meg kell győződnie a műszer minősítési, illetve hitelességi dokumentumairól. Amennyiben magas szintű, minőségi és megbízható műszerekkel történik egy mérés abban az esetben nem kell beiktatni párhuzamos mérést végző műszereket. Viszont, ha kevésbé hatékony, esetenként nem pontos mérésre alkalmas műszert használnak, abban az esetben szükséges párhuzamos méréseket végezni. Fontos, hogy hosszú expozíciós idővel mérjenek, ez lehetővé teszi a megbízható és pontos mérés eredményességét. [41]

Mérési eredmények dokumentálása:

A mérési eredményeket minden esetben mérési jegyzőkönyvben kell vezetni, rögzíteni. A jegyzőkönyvnél fontos arra törekedni, hogy az eredmények minősítését végző szakember részére áttekinthetőek és relevánsak legyenek az adatok. Egyszerű ábrákat használjunk az értékek kimutatására. A jegyzőkönyvhöz csatolt táblázatok ne tartalmazzanak olyan adathalmazokat, amelyek feleslegesek, továbbá áttekinthetőségük is elengedhetetlen. Az adatok megadásánál a hivatalos SI (*Mértékegységek nemzetközi rendszere*) mértékegységet kell használni. [41]

A különleges formájú radioaktív anyagokra meghatározott vizsgálatok

A különleges formájú anyagnak, olyan szerkezetűnek, illetve természeti tulajdonságokkal rendelkezőnek kell lennie, hogy egy követelményben megfogalmazott vizsgálat során ki kell elégítenie a következő pontokat:

- Ejtési, hajlítási, illetve ütési próba hatására nem törhet össze és nem szakadhat fel;
- Hőpróba elvégzése során nem diszpergálódhat, illetve nem olvadhat meg;

- A vízben alkalmazott vízpróba következtében a kioldott aktivitási érték nem haladhatja meg a 2kBq-t.

A címben meghatározott anyagokat ütési, ejtési, hajlítási, valamint hőpróbának kell alávetni. Minden elvégzett vizsgálatot követően egy térfogatveszteségi vagy kioldási vizsgálatot kell lefolytatni. Ennek legalább olyan pontossággal kell történnie, mint a diszpergálódó anyagokra vonatkozó próbáknak. Abban az esetben, amikor egy radioaktív anyagot helyettesítenek próba alatt egy inaktív mintadarabbal, akkor kiértékelés során figyelembe kell venni a hőtermelés hiányát. [41]

Küldeménydarabok mechanikai vizsgálatai

A küldeménydarabokkal szemben támasztott követelmények függenek a radioaktív anyag aktivitásának nagyságától, valamint annak természetétől. A küldeménydarabnak használat, normál- és baleseti viszonyok közt is megfelelően ellen kell állnia. Esetleges baleset következtében nem károsodhat oly mértékben, hogy az veszélyt jelentsen a környezetére. Ellenőrző méréseknek, vizsgálatoknak és meghatározott próbáknak kell alávetni a küldeménydarabok mintadarabjait. Bizonyítani kell, hogy a mintadarabok képesek megőrizni radioaktivitásukat. Fontos, hogy ne szóródjon szét és ne kerüljön a környezetbe a radioaktív anyag. Továbbá be kell bizonyítani a sértetlenséget is sugárárnyékolás vonatkozásában. Abban az esetben, ha hasadó anyagokat szállítanak, azoknak az eddigiekben említett próbák után kritikussággal szemben alátámasztott biztonságnak is meg kell felelnie. Szokásszerű szállítás során mérvadó a rendeltetésszerű használat (példa: rakodás, emelés). A vizsgálatok alatt támasztott követelményeknél irányadó a „*Nemzetközi Atomenergia Ügynökség aktuális Biztonsági Sorozatában megjelent részletes leírás.*” A jelenlegi útmutató tartalmazza a szükséges hivatkozásokat és segít eligazodni. [41]

A vizsgálatok során alkalmazandó eszközök:

- Acéltartály (szívárgásmentes, zárható)
- Acéllemez (megfelelő anyag és méret)
- Acélcső, kötél, rúd (megfelelő hossz és átmérő)
- Vákuumos szivattyú depressziómérő műszerrel ellátva
- Nyomásszabályozó
- Nyomásmérő műszer
- Levegő kompresszor

- Gumitömlők
- Lefúvó biztonsági szelep
- Nyitó-záró szelep
- Vízóra
- Hálózati víz
- Négyes elosztó
- Tálca
- Locsolófejek
- Időmérő óra
- Emelőheveder
- Állítható állvány
- Daru (teherkioldó szerkezettel ellátva)
- Mérőszalag, mérőrúd
- Mélység-, és hosszmérő műszerek
- Dózismérésre alkalmas mérőműszer (független) [41]

3.4 Vizsgálatok, próbák és mérések ismertetése

Hermetikussági vizsgálat „(SSR-6:2012, 643./ADR:2019, 6.4.7.11)”

Célja: Ennek a vizsgálatnak be kell bizonyítania, hogy ha a biztonsági tartály körüli környezeti nyomás 60 kPa akkor is megőrzi zártságát.

Előkészítés: Egy zárható acéltartályra van szükség, amely szivárgásmentes. A mintadarabok behelyezése után össze kell kötni a vákuumszivattyúval.

Lefolytatás: A szivattyú beüzemelése után a kívánt érték eléréséig várni kell. Ezt az értéket közel 1 óra alatt el lehet érni.

Értékelés: A vizsgálat befejezte után ellenőrzéseket kell végezni a zártságról, épségről és szivárgásmentességről. [41]

Vízpermet próba „(SSR-6:2012, 721. / ADR:2019, 6.4.15.3)”

Célja: Megbizonyosodni arról, hogy a küldeménydarab rendesen szigetelt és nem kerül víz annak biztonsági tartályába.

Előkészítés: 4 darab vízfúvóka elhelyezése 90°-os bezártsággal. Ezeknek 45°-os fedettséget kell biztosítaniuk. Ennek a vizsgálatnak legalább 1 órán át kell tartania.

Lefolytatás: Amennyiben a vízfűvókák szabályszerűen fel vannak állítva, megkezdődhet a próba. Rögzíteni kell a permetezés megkezdési, illetve befejezési időpontját. Továbbá csatolni kell a vizsgálati jegyzőkönyvnél egy-egy képet a próba előtti és a próba utáni állapotokól.

Értékelés: Amennyiben véget ért a próba, ellenőrizni kell a tartály szárazságát, sértetlenségét. [41]

Szabadejtési próba „(SSR-6:2012, 722. / ADR:2019, 6.4.15.4)”

Célja: Ennek a vizsgálatnak a célja, hogy meg kell vizsgálni a küldeménydarabok hermetikusságát, valamint sugárárnyékoló képességüket egy ejtés után.

Előkészítés: Amennyiben validált számítással meghatározható a konténer legsérülékenyebb pontja, abban az esetben elegendő egyetlen, arra a pontra irányuló ejtéssel ellenőrizni. Ha ez a számítás nem elvégezhető hiányok miatt akkor több ejtéssel is meg kell bizonyosodni a küldeménydarab ellenállóképességéről.

Lefolytatás: Tömegtől függően 0,3-1,2 méteres magasságból kell elvégezni. Ez az érték nem lehet ennél kevesebb, az előírt magasság betartása kötelező.

Értékelés: A vizsgálat elvégzése után meg kell bizonyosodni róla, hogy megfelelő-e a sugárárnyékoló képesség és a hermetikusság. A radioaktív veszteség nem lehet több 10^{-6} A₂/h-nél, továbbá nem károsodhat az árnyékolóképesség olyannyira, hogy a környezetre nézve 20%-os növekedési sugárterhelést okozzon. [41]

Halmazolási próba „(SSR-6:2012, 723. / ADR:2019, 6.4.15.5)”

Célja: Be kell bizonyítani, hogy a küldeménydarab árnyékolása, valamint sugárterhelése megfelelő értéket mutat 24 órás nyomóterhelés után.

Előkészítés: Elő kell készíteni a vizsgálat lefolytatásához szükséges terhelőket, ezeknek előírásai:

- küldeménydarab súlyának ötszörös tömege;
- küldeménydarab függőleges vetületi felülete szorozva 13 kPa-lal.

Lefolytatás: Egyenletes terhelés szükséges a halmazás elhelyezésénél, illetve 24órás terhelés szükséges.

Értékelés: A terhelést követően fel kell mérni az esetlegesen keletkezett deformációkat, szintén ellenőrizni kell a sugárárnyékoló képességet és a hermetikusság megmaradását. Akkor eredményes egy halmazási próba, ha a veszteség értéke kevesebb, mint 10^{-6} A₂/h,

illetve nem károsodhat az árnyékoló képesség olyan módon, hogy a környezetre nézve 20%-os növekedési sugárterhelést okozzon. [41]

Átdőfési próba „(SSR-6:2012, 724, 725b. / ADR:2019, 6.4.15.6, 6.4.16b)”

Célja: Egy átdőfés során a küldeménydarabnak megfelelő hermetikussági értéket és sugárárnyékoló képességet kell mutatnia.

Előkészítés: El kell helyezni egy ütközőlapra a küldeménydarabot és 6 kg-os rudat kell a leggyengébb pontjára ejteni. Fontos, hogy legalább egy méter magasságból történjen a próba. Ennél az értéknél nem lehet kevesebb.

Lefolytatás: Megvezető cső használata szükséges, ehhez kell pozicionálni az átdőfés során alkalmazandó rudat. Ennek magasságbeli elhelyezése 1-1,7 méter közé esik.

Értékelés: Ellenőrizni kell a behatolási értékét a rúdnak. Ellenőrizni kell a küldeménydarab árnyékoló képességét és épségét. Akkor eredményes a próba, ha a veszteség értéke kevesebb, mint 10^{-6} A₂/h, illetve nem károsodhat az árnyékolóképesség oly módon, hogy a környezetre nézve 20%-os növekedési sugárterhelést okozzon. [41]

Mechanikai próba (a), (b), (c) „(SSR-6:2012, 727./ADR:2019, 6.4.17.2)”

Célja: Meg kell bizonyosodni arról, hogy szállítás során egy esetleges baleset során ellenálló marad a küldeménydarab. A mechanikai próbánál megkülönböztetünk „a”, „b”, illetve „c” fajtát is. Ezeknél a próbáknál megegyező a cél, csupán a kivitelezésüknél és a felhasznált eszközöknél van eltérés. Míg az „a” -nál 9m-es ejtést végeznek, a „b” -nél 1m-ről egy rúdra ejtenek, addig a „c” -nél a küldeménydarabra ejtenek egy 500kg tömegű 1 x 1 m-es acéllemezt.

Előkészítés: Fontos, hogy az ejtésnél, legyen az „a”, „b”, illetve „c” próba a lehető legnagyobb károsodás elérése a cél. Ennél a mérési lehetőségnél alkalmazható. Véges-elem kiszámításával megkaphatjuk a leggyengébb pontot. Amennyiben ez rendelkezésre áll elegendő arra a pontra elvégezni a mechanikai mérést. Amennyiben nem áll rendelkezésre, akkor több alkalommal is el kell végezni a mechanikai próbát.

Lefolytatás: A lefolytatás során típustól eltérő méréseket kell elvégezni. Az „a” típusnál ejtési próbát kell elvégezni 9m-es magasságból. A „b” típusú mérésnél az ejtés során alkalmazott rúd átmérője 15cm, hossza 20cm. Itt olyan hosszúságú rudat szükséges alkalmazni, amellyel a lehető legnagyobb károsodási értéket tudjuk előidézni. A „c” mérésnél 500kg-os 1 x 1 m-es acéllemez ejtéssel történik a próba. Itt is a lehető legnagyobb károsodás elérése a cél.

Értékelés: Abban az esetben eredményes az elvégzett próba (típustól függetlenül), ha a küldeménydarabtól számított 1 méteren belül nem haladja meg a 10 mSv/h-t. A radioaktív anyag (Kr-85 esetében) halmozott veszteségének egy hét alatti értéke maximálisan 10 A₂ lehet. [41]

Hőpróba „(SSR-6:2012, 728./ADR:2019, 6.4.17.3)”

Célja: Ennek célja, az esetleges baleset bekövetkezésénél kialakult tűzzel szembeni ellenállóképesség mérése. 800°C-os láng hőmérsékletnél 30 percen keresztül ellenállónak kell lennie a küldeménydarabnak.

Előkészítés és lefolytatás: A küldeménydarabot 1m-es magasságban el kell helyezni a tüzelőanyag felett. Minimális elmozdulásra kell törekedni alátámasztás vonatkozásában. A küldeménydarab szélein túl kell nyúlnia az égési térnek. Fontos, hogy lehetőleg szélvédett közegben kell elvégezni a méréseket. A tűztér maximum 330°C-os kőolajszármazékot tartalmazzon. Nyílt téren alkalmazás esetén a lobbanáspontnak minimum 46°C-osnak kell lennie, fajhő vonatkozásában az elvárt érték 46-49 MJ/kg.

Értékelés: A teszt műszerezettség nélkül is végrehajtható amennyiben a küldeménydarabot magába foglalja a teszt. Itt a napfényen történő, környezeti hő általi mérések szükségesek. Fontos, hogy a vizsgálat előtt, alatt és után is méréseket végezzenek. Fontos, hogy a mérés kialakítására alkalmazott kábelrendszer ellenálljon a próba alatti tűzterhelésnek. Szivárgási méréseket kell végezni a próbát megelőzően és a próba befejezése után is. Meg kell mérni a nyomást, illetve a belső hőmérsékletet is. Elfogadási kritériumok érdekében fontos betartani a mérések idejét és pontosságát. Egyes esetekben szükséges korrigálni az adatokat, itt a környezeti behatásokról van szó. Erre a célra alkalmas kemencében is elvégezhető a mérés. Az előírt 800°C-on való 30 perces égetést kell kibírnia a küldeménydarabnak. [41]

Vízbe merítési próba „(SSR-6:2012, 729./ADR:2019, 6.4.17.4)”

Célja: A küldeménydarabnak ellen kell állnia 150kPa-túlnyomást 8 órán át tartó merítés alatt. Ez az érték 15 méternyi vízoszlop nyomásának elegendő. Ezt próbát egy esetleges baleseti vízbeesés érdekében kell elvégezni.

Előkészítés: A küldeménydarabot el kell helyezni az erre a kialakított acélból készült tartályba. Fontos, hogy 3-5cm-es légrés maradjon a fedél és a vízszint közt. Ezt követően össze kell kapcsolni a nyomásszabályozót a tartállyal.

Lefolytatás: Az előírt nyomást elő kell állítani és a kialakult értéket fent kell tartani 8 órán keresztül. A vizsgálat befejeztével mintavétel szükséges. Ebben meg kell nézni milyen módon változott az aktivitási érték.

Értékelés: nem szabad radioaktív szennyezésnek kerülni a tartály vizébe, illetve a küldeménydarabba nem szivároghat víz. [41]

Fokozott vízbe merítési próba „(SSR-6:2012, 730./ADR:2019, 6.4.18)”

Célja: 200m-es vízoszlop nyomásának kell ellenállnia 1 órán keresztül a küldeménydarabnak (legalább 2 MPa túlnyomáson).

Előkészítés: Ennél a mérésnél is a küldeménydarabot el kell helyezni az erre a kialakított acélból készült tartályba. Fontos, hogy ennél a mérésnél is 3-5cm-es légrés maradjon a fedél és a vízszint közt. Ezt követően össze kell kapcsolni a nyomásszabályozót a tartállyal.

Lefolytatás: Be kell üzemelni a nyomásszabályozót, meg kell várni amíg a tartályban kialakul a kívánt és előírt érték. Ezt az értéket 8 órán keresztül fent kell tartani. A vizsgálat befejeztével mintavétel szükséges. Ebben meg kell nézni milyen módon változott az aktivitási érték.

Értékelés: nem szabad radioaktív szennyezésnek kerülni a tartály vizébe, illetve a küldeménydarabba nem szivároghat víz. [41]

3.5 A radioaktív anyagok és hulladékok szállításának menete és a szükséges dokumentáció ismertetése

Hatályos jogszabályi háttér:

„51/2013. (IX. 6.) NFM rendelet a radioaktív anyagok szállításáról, fuvarozásáról és csomagolásáról”

„1493/93/Euratom rendelet a radioaktív hulladékok szállításáról”

„2013/59/Euratom irányelv”

Az Európai Unió tagországai közt eltörölték a belső határellenőrzést 1993. január 1-én. A nemzeti hatóságoknak továbbra is magas szintű sugárvédelmi ellenőrzésekre van szükségük, hogy biztosítani tudják a tagállamok közti radioaktív anyagok és hulladékok megfelelő szállítását. A radioaktív anyag szállítását megelőzően a birtokosnak előzetes nyilatkozatban kell tájékozódnia arról, hogy a címzett eleget tesz majd a radioaktív

anyagokhoz kapcsolódó tevékenységek betartásáról. Meg kell felelniük a biztonságos ártalmatlanítás, felhasználás, illetve tárolás követelményeinek.

Legfontosabb pontok a radioaktív hulladékok és anyagok szállítását megelőzően:

- A címzettnek be kell nyújtania a hatóságnak egy nyilatkozatot;
- Ezt követően a hatóság elfogadja (amennyiben módjában áll) a nyilatkozatot és elküldi a címzettnek;
- Ezt követően a címzett a kapott nyilatkozatot elküldi a radioaktív anyag birtokosának.

A hatóság részére be kell nyújtani a következő iratokat (21 napon belül):

- Címzett címe és neve;
- A szállítmányok radioaktivitásának ismertetését;
- Továbbá a címzethez szállított anyag számát és mennyiségét, meg kell határozni az anyag fajtáját is. [44]

A szállítását kísérő dokumentumok a következők:

- Fuvarokmány;
- Szállításokhoz szükséges multimodális kísérőokmány
- Konténarmegszakítási tanúsítvány tengeren történő szállításokhoz kapcsolódón;
- Felelős nyilatkozat;
- Járműjótárgyigazolás;
- Írásbeli utasítás;
- ADR oktatási bizonyítvány;
- Egyéb, különleges kísérő okmányok. [45]

3.6 A radioaktív anyagok és hulladékok szállításának ellenőrzése katasztrófavédelmi szemmel

A veszélyes áruk szállításánál (ideértve a vasúti, közúti, légi és vízi szállítást) alkalmazásánál való járművek, telephelyek folyamatos és rendszerinti ellenőrzése hozzájárul a szállítási ágazatok biztonságához, valamint a szállítás során előforduló kockázatok csökkentéséhez. [46]

A katasztrófavédelem feladatköre kiterjed a szankcionálásra, valamint az ellenőrzési feladatokra. A radioaktív anyagok belföldön történő szállításánál az „*Országos Atomenergia Hivatal a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás „A”*

és „B” Mellékletének kihirdetéséről szóló 2015. évi LXXXIX. törvény” -t kell figyelembe venni.

A törvény mellékleteinek teljesülése érdekében szállítási engedélyben hagyják jóvá.

Az említett mellékletek a következők:

- Sugárvédelmi Program;
- Járműfelszerelés;
- Okmányok;
- Elkülönítés, Aktivitáskorlát;
- Egyéb különleges előírások. [47]

4 A RADIOAKTÍV ANYAGOK JELENLÉTÉBEN BEKÖVETKEZETT BALESETEK BEMUTATÁSA ÉS ÉRTÉKELÉSE

A következő fejezetben bemutatok két példát a külföldön történő radioaktív anyag szállításával kapcsolatos közúti balesetekről. Ismertetek egy Brazil, illetve egy Amerikában megtörtént közúti szállítás közbeni balesetet. Ezt követően szemléltetek egy Cegléd közelében bekövetkezett radioaktív anyag szállítása közben történt balesetet. Kifejtem a baleset okát és annak következményeit, kárelhárítását.

4.1 Nemzetközi baleset bemutatása

A radioaktív anyagok szállítása nélkülözhetetlen eleme a korszerű ipari-, és orvosi technológiák működésének és előrehaladásának. Fontos tudni, hogy országos, illetve nemzetközi szinten is jól működő és elfogadott szabályozókat alkalmaznak annak érdekében, hogy a veszélyes anyagok szállítása a lehető legkisebb veszélyességi kockázati faktort jelentse a környezetre és az emberi életre nézve. Egyes szállítások során esetleges balesetek előfordulásánál (szállított anyag mértékétől, tulajdonságaitól, illetve a baleseti és meteorológiai környezettől) veszélybe kerülhet a szállító személy/személyek egészsége, a lakosság, illetve a baleset környezete.

4.1.1 Brazília

Brazíliaiban a „*Brazil Nukleáris Energia Bizottság* ” (CNEN) határozza meg a radioaktív anyagok felhasználását, illetve a radioaktív anyagok szállításával kapcsolatos tevékenységeket. Melynek fő sürgősségi koordinátor csoportja Rio de Janeiro területén van összpontosítva.

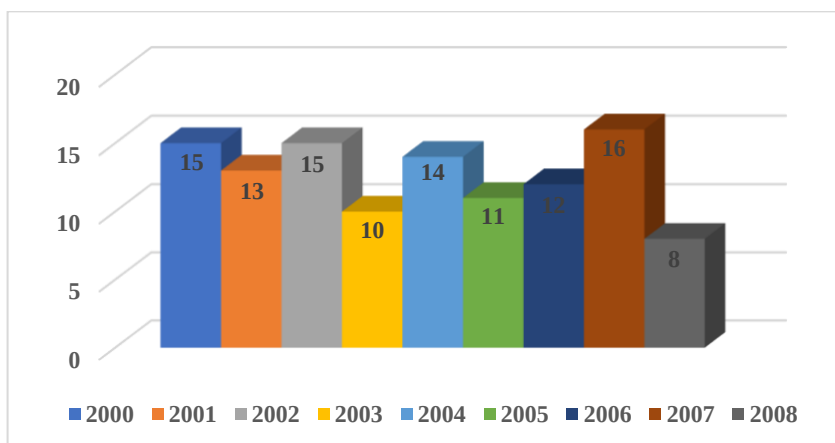
A következő baleset Brazíliaiban történt São Paulo államban. Évente megközelítőleg 200 ezer alkalommal szállítanak orvosi alkalmazáshoz radioaktív anyagot São Paulo-ba. Egyik alkalommal egy kisteherautó szállított B(U) csomagolású Gammamat NS-1407, Ir-192 forrással (IRS-3682) 1,6 TBq sugárzó anyagot. A szállítás során a kisteherautó lesodródott a Presidente Dutra autópályáról és felborult. Többször átfordulás után jelentősen roncsolódott a gépjármű. A kiérkező szervek megkezdték a vizsgálatot. A csomagolás nem mozdult el a helyéről. A csomagolás felszínén történő mérések alapján nem észleltek megemelkedett dózismértéket. Megállapították, hogy nem roncsolódott a csomagolás árnyékolóképesége, így eltávolították a roncsok közül. Az elvégzett vizsgálatok alapján

megállapították, hogy tovább szállítható az orvosi célra szánt radioaktív anyag, így közúti szállításra alkalmas gépjárművel leszállították a megrendelőhöz. [48]



6. számú kép: A baleset körülményei²⁴

A következő diagram bemutatja a Brazíliában történt veszélyhelyzeti reagálást 2000 és 2008 közt. A meghatározott baleseteknél szerepe volt a „*Brazil Nukleáris Energia Bizottság*” -nak. A diagram bemutatja, hogy mely években mekkora számmal történtek ipari és közúti balesetek radioaktív anyag alkalmazása, illetve szállítása közben. A legtöbb baleset szállítás közben történt. Ezen kívül a konténerek megjelölésének hiánya és téves jelölések alkalmazása is balesethez vezettek.



2. számú diagram: Az egyes években előforduló balesetek száma²⁵

²⁴ Felhasznált forrás: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/070/42070525.pdf
A letöltés ideje: 2021. március 24.

²⁵ Saját szerkesztésű diagram.

Felhasznált forrás: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/070/42070525.pdf

4.1.2 Tooele

A következő baleset az Egyesült államokban történt 2018. július 12-én. A nyerges vontató egy radioaktivitással szennyezett trailert szállított a Pennsylvanai Környezetvédelmi Ügynökség (EPA) tisztítási helyéről, hogy EnergySolutions Clive ártalmatlanító létesítményének területén elvégezzék a szükséges mentesítő tevékenységeket. Szállítás közben kigyulladt a nyerges vontató. A sofőr elhagyta a vontatót a baleset következtében így könnyebb sérülésekkel megúszta a balesetet. A kiérkező szervek megkezdték a jármű oltását és azt követően méréseket végeztek, amelyek során megállapították, hogy a rakomány nem jelent sugárterhelést a környezetre mivel a trailer sugárárnyékoló képessége és szerkezete nem sérült sem a mechanikai sem a hőhatás következtében. A baleset következtében a rakománnyal ellentétben környezetszennyező hatása volt a kabin égésének. Ezt a szennyező hatást leszámítva a környezet, a sofőr, a lakosság, illetve az úton közlekedők épségében nem esett kár. [49]



7. számú kép: A baleset helyszíne²⁶

A letöltés ideje: 2021. március 27.

²⁶ Felhasznált forrás: <https://kutv.com/news/local/semi-with-hazardous-containers-catches-fire-on-i-80>

A letöltés ideje: 2021. március 28.



8. számú kép: A balesetet szenvedett jármű²⁷

4.2 Hazai baleset bemutatása

4.2.1 Cegléd

2012. december 11-én egy kisteherautó sugárzó izotópot szállított egy 60cmx60cm-es konténerben. Az okmányok szerint 25 kg mennyiségben Iridium 192 izotóp kapszulák voltak elhelyezve ebben a konténerben. A balesetet az okozta, hogy a sofőr gondatlanul a tilos jelzés ellenére a vasúri átjáróra hajtott, ekkor ütközött össze az akkor érkező InterCity szerelvényt. A vonaton lévő személyzet és utasok nem sérültek meg. A teherautóban lévő két embert súlyos, illetve életveszélyes állapotban szállították kórházba. Az ütközés következtében a konténer rögzítése károsodott és leszakadt a kisteherautóról. A konténer borítása torzult és megsérült. A belső ólomkonténeren (ami a radioaktív izotópot tartalmazta) nem volt elváltozás így a sugárzás nem juthatott ki a környezetbe. Ezt megerősítették a Katasztrófavédelem mérései is.

A balesethez a „Pest és a Jász-Nagykun-Szolnok Megyei Katasztrófavédelmi Igazgatóság beavatkozó egységei, a katasztrófavédelmi műveleti szolgálat, a katasztrófavédelmi mobil labor, a szolnoki vegyimentesítő konténer és az országos, valamint a megyei iparbiztonsági főfelügyelő is kivonult”. A baleset szenvedő utasok a szerelvényen

²⁷ Felhasznált forrás: <https://kutv.com/news/local/semi-with-hazardous-containers-catches-fire-on-i-80>
A letöltés ideje: 2021. március 28.

maradtak amíg kiérkezett a mentesítő járat. Ezt követően védőitalt kaptak. Miután az utasok elhagyhatták a baleset helyszínét a mentesítést elvégezték és elindult a korlátozott vasúti forgalom is. [50]



9. számú kép: A szállított radioaktív anyag konténerének roncsolódása a baleset következtében²⁸

Jól látható, hogy a narancssárga színű szerkezet milyen módon roncsolódott a leszakadást követően. Elnyelte a mechanikai ütések és a gyűrődés következtében megvédte az ólomkonténert, amely így sértetlenül megúszta a balesetet. Ez az eset is jól bizonyítja, hogy miért van szükség jóváhagyási rendszerre. Fontos, hogy meghatározott műszaki paraméterek mellett elvégezzék a próbákat, vizsgálatokat (ezeket a dolgozatom korábbi részében részletesen szemléltettem) annak érdekében, hogy egy esetleges baleset következtében a szállított radioaktív anyag csomagolása megőrizze árnyékoló képességét, továbbá ne jelentsen kockázati faktort az emberekre és a környezetre nézve.

²⁸ Felhasznált forrás:

https://www.elftsv.hu/svonline/docs/kulonsz/2013sv/pdf/vonatbaleset_2012_december_11en.pdf

A letöltés ideje: 2021. március 29.

ÖSSZEGZETT KÖVETKEZTETÉSEK

Az első fejezetben a radioaktivitás felfedezését, történetét, valamint a környezetünkben előforduló radioaktív anyagok előfordulását mutatom be. Számomra tanulságos a radioaktivitás felfedezésének története mivel addig ismeretlen dolgot fedeztek fel és a továbbiakban tanulmányozták. A környezetünk alapsugárzása rendkívül széleskörűen van jelen. Az atmoszférából érkező sugárzástól egészen a talajon keresztül érkező sugárzást tanulmányoztam.

A második fejezetben elemeztem a radioaktív sugárzások típusát, bomlását és a radioaktivitás biológiai hatásait. Számomra tanulságos volt, mivel nem csak a sugárzások típusától függő áthatolást, hanem azt is részletesen megtanultam a dolgozat folyamán, hogy egyes sugárzások milyen környezeti viszonyok közt és milyen módon kerülnek felhasználásra.

A harmadik fejezet megírása közben megtanultam a radioaktív anyagok szállítása során alkalmazott jóváhagyási rendszert és a szabályzatok bemutatását. A nemzetközi szabályzatok áttanulmányozása után megvizsgáltam a hatályban lévő hazai szabályzókat is. A szabályzók tanulmányozása után elolvastam és részletesen leírtam a küldeménydarabok követelményeit és a szállítást megelőző próbákat. Meglepően részletes és specifikus vizsgálati irányvonalakat ismerhettem meg. Ezek a próbák kitérnek minden lehetséges baleseti körülményre. Olyan széleskörű lefedettséget biztosítanak ezzel a küldeménydarabok számára a balesetekkel szembeni ellenállás tekintetében, hogy ha egy vasúti szerelvény elgázol egy küldeménydarabot szállító kisteherautót, még akkor is megóvja a konténer a csomagolást az abban elhelyezkedő radioaktív izotópot. (Ezt példával is alátámasztom a negyedik fejezetben)

A negyedik fejezet legnagyobb tanulsága számomra az, hogy alapos keresés után is rendkívül kevés radioaktív anyag szállításával kapcsolatos balesetet találtam. Mivel több külföldi országban is kerestem baleseteket így értelemszerűen sokkal nagyobb esélye volt annak, hogy ilyet hozzak példaként. Viszont Magyarországra tekintettel rendkívül kevés ilyen balesetet találtam. Ez köszönhető a hatályban lévő – szigorú követelményeket maga után vonó – szabályzóknak. Mivel folyamatosan megújulnak a jogszabályok, így lépést tudnak tartani a fejlődő ipari tevékenységekkel és az ehhez kapcsolódó szállítási ágazatokkal is. Tanulságként könnyvelhetem el azt is, hogy egy esetleges baleset következtében milyen módon és milyen felszereltséggel lép közbe a Katasztrófavédelem és a segítő társhatóságok a baleset helyszínén.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Fizikai Szemle: A radioaktivitás felfedezése, 1996.
<http://fizikaiszemle.hu/old/archivum/fsz9611/radv9611.html#ir>
(a letöltés ideje: 2021. január 3.)
- [2] Wikipédia: Henri Becquerel
https://hu.wikipedia.org/wiki/Henri_Becquerel
(a letöltés ideje: 2021. január 3.)
- [3] ANDORKÓ Bettina: Radioaktív anyagok szállítása
<https://slideplayer.hu/slide/2108034/>
(a letöltés ideje: 2021. január 3.)
- [4] VINCE Kelemen: A természetes radioaktivitás
<https://slideplayer.hu/slide/2100334/>
(a letöltés ideje: 2021. január 4.)
- [5] Rakéta: 121 éve a Curie házaspár felfedezte a rádiumot, de valamire nem készültek fel
<https://raketa.hu/radium-felfedezese>
(a letöltés ideje: 2021. január 8.)
- [6] Mindenki lapja: Curie házaspár
<http://chemicalchemistry.mindenki.lapja.hu/html/18080846/render/curie-hazaspar>
(a letöltés ideje: 2021. január 8.)
- [7] Fizika Szemle: A radioaktivitás felfedezése 1996
<http://fizikaiszemle.hu/old/archivum/fsz9611/radv9611.html>
(a letöltés ideje: január 10.)
- [8] dr. BARÓTFI István: Környezettechnika, Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft, 2003, ISBN: 9789639239500
<https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch08.html>
(a letöltés ideje: 2021. január 13.)
- [9] Sulinet: A radioaktív sugárzás fajtái
https://tudasbazis.sulinet.hu/hu/0d0cc85d-f7b5-41fb-aec0-d1b8362c7ebf_e90c4562-46d5-4b3a-a5ed-d640f67b512a_f3498c96-96ef-4452-8ffe-419da3b58d40_95a24132-9b8e-43b7-8a94-33de2efecbae_28e1d104-46e9-4a68-9a0c-74384e14c22e_c7830a19-ba9b-440f-8384-894da12c1c3a
(a letöltés ideje: 2021. január 13.)

- [10] dr. BARÓTFI István: Környezettechnika, A radioaktivitással kapcsolatos alapfogalmak, Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft, 2003, ISBN: 9789639239500
<https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch08.html#id780342>
(a letöltés ideje: 2021. január 14.)
- [12] Izotop: A radioaktív sugárzással kapcsolatos alapfogalmak
<http://www.izotop.hu/?p=297>
(a letöltés ideje: 2021. január 14.)
- [13] dr. BARÓTFI István: Környezettechnika, Radioaktív anyagok előfordulása az atmoszférában, Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft, 2003, ISBN: 9789639239500
<https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch08s02.html#id783967>
(a letöltés ideje: 2021. január 20.)
- [14] SEBESTYÉN Zoltán: Radioaktív sugárzások, Pécs, 2010
https://indico.cern.ch/event/126731/contributions/101202/attachments/80432/115301/sebestyen_zoltan_kodkamra.pdf
(a letöltés ideje: 2021. január 20.)
- [15] Paksi atomerőmű: A természetes radioaktív sugárzás
http://www.atomeromu.hu/hu/Rolunk/Technika/Atomtortenelem/Documents/Termeszetes_reaktorok.pdf
(a letöltés ideje: 2021. január 20.)
- [16] Dr. VARGA Klára: Környezetfizika II, Nyíregyháza, 2009
<https://slideplayer.hu/slide/2146547/>
(a letöltés ideje: 2021. január 20.)
- [17] Atomenergia: Az atomenergia és a radioaktív sugárzás felhasználása
<https://sites.google.com/site/brheo9atomenergia/az-atomenergia-felhasznalasa>
(a letöltés ideje: 2021. január 23.)
- [18] Sugárzások: Béta sugárzás
<https://sites.google.com/site/sugarzasok01/sugarzasok-csoportositasa/beta-sugarzas>
(a letöltés ideje: 2021. január 26.)
- [19] dr. PETHŐ Gábor: TERMÉSZETBEN ELŐFORDULÓ RADIOAKTIVITÁS és geofizikai vonatkozásai
<http://www.geofizika.uni-miskolc.hu/geofalapoktanyag/radiologia11new.pdf>
- [20] A VILÁG működése: neutrínó
<http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Neutrino.htm>

(a letöltés ideje: 2021. január 27.)

[21] Grimas: Röntgen-sugár és gamma-sugár

<https://grimas.hu/termek/rontgen-sugar-es-gamma-sugar/>

(a letöltés ideje: 2021. január 27.)

[22] dr. BARÓTFI István: Környezettechnika, A radioaktivitás alkalmazása, Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó Kft, 2003, ISBN: 9789639239500

<https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tkt/kornyezettechnika-eloszo/ch08s05.html>

(a letöltés ideje: 2021. február 3.)

[23] t-es-t: Aktivitás – Radioaktív sugárforrás aktivitása

<http://www.t-es-t.hu/termtud/atom/aktivita.htm>

(a letöltés ideje: 2021. február 3.)

[24] Műszeroldal: A radioaktív minták aktivitásának meghatározása

http://muszeroldal.hu/measurenotes/radio_aktivitas_meghat.pdf

(a letöltés ideje: 2021. február 3.)

[25] Sciencing: Which Elements Are Isotopes?

<https://sciencing.com/elements-isotopes-8730938.html>

(a letöltés ideje: 2021. február 3.)

[26] Kémia vilaglex: radon / Rn

http://www.vilaglex.hu/Kemia/Html/Radon_.htm

(a letöltés ideje: 2021. február 10.)

[27] World Health Organization: Radon and health

<https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/radon-and-health>

(a letöltés ideje: 2021. február 10.)

[28] Kémia vilaglex: urán / U

http://www.vilaglex.hu/Kemia/Html/Uran_.htm

(a letöltés ideje: 2021. február 11.)

[29] MAGYAR Zsuzsanna: Budapesti termálvizek urán-, rádium- és radontartalmának időfüggése, Budapest, 2014

http://atomfizika.elte.hu/akos/tezisek/szd/magyarzsuzsa_szd.pdf

(a letöltés ideje: 2021. február 11.)

[30] energiapedia: Urán

<http://energiapedia.hu/uran>

(a letöltés ideje: 2021. február 13.)

[31] Kémia vilaglex: polónium / Po

http://www.vilaglex.hu/Kemia/Html/Polloniu_.htm

(a letöltés ideje: 2021. február 17.)

[32] DANKU Gyula, KISS Ferenc. TUTKÓ Tímea: A radioaktivitás környezeti vonatkozásai

<http://www.nyf.hu/others/html/kornyezettud/Kemia-I/Kornykemalapmenu/radioaktvonatk.htm>

(a letöltés ideje: 2021. február 21.)

[33] SZTE Nukleáris Medicina Intézet: Sugárfizikai és sugárvédelmi ismeretek

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

(a letöltés ideje: 2021. február 24.)

[34] ORBÁN József: Radioaktivitás biológiai hatása, 2014

<http://www.biofizika.aok.pte.hu/data/2014/1005/705/Radiobiohatas1415.pdf>

(a letöltés ideje: 2021. február 25.)

[35] <http://vienna.io.gov>: Nemzetközi Atomenergia Ügynökség - International Atomic Energy Agency

<http://vienna.io.gov.hu/nau-bemutato>

(a letöltés ideje: 2021. február 26.)

[36] ORSZÁGOS KATASZTRÓFAVÉDELMI FŐIGAZGATÓSÁG: Módszertani Útmutató, Veszélyes áruk közúti szállításának ellenőrzéséhez

http://bte.hu/files/OKF_Modszer_tani_utmutato-ADR_2013.pdf

(a letöltés ideje: 2021. március 05.)

[37] HORVÁTH Hermina: a vasúti veszélyesáru-szállítás gazdasági és infrastrukturális értékelése

<https://nkerepo.uni-nke.hu/xmlui/bitstream/handle/123456789/13902/Vas%C3%BAti%20vesz%C3%A9lyes%20%C3%A1ru%20sz%C3%A1ll%C3%ADt%C3%A1s%20gazdas%C3%A1gi%20%C3%A9s%20infrastruktur%C3%A1lis%20%C3%A9rt%C3%A9kel%C3%A9se.pdf?sequence=1&fbclid=IwAR1pGqswoulP4AU0rWtgjUAcXYY8HfOMYjmNrpi6RziVYgAiaGA0REaMQjs>

(a letöltés ideje: 2021. március 05.)

[38] KISS Viktória, KÁTAI-Urbán Lajos, VASS Gyula: A LÉGI SZÁLLÍTÁS HATÓSÁGI ELLENŐRZÉSI TEVÉKENYSÉGÉNEK AKTUÁLIS JOGALKALMAZÁSI KÉRDÉSEINEK VIZSGÁLATA, VÉDELEM TUDOMÁNY, 2020, V. évfolyam, 4. szám

<http://www.vedelemtudomany.hu/articles/06-kiss-et-al.pdf>

(a letöltés ideje: 2021. március 07.)

[39] 2007. évi XLVI. törvény a nemzetközi polgári repülésről Chicagóban, az 1944. évi december hó 7. napján aláírt Egyezmény Függelékeinek kihirdetéséről

<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A0700046.TV>

(a letöltés ideje: 2021. március 08.)

[40] 2010. évi VI. törvény a Genfben, 2000. május 26. napján kelt, a Veszélyes Áruk Nemzetközi Belvízi Szállításáról szóló Európai Megállapodás (ADN) szövegének módosításáról szóló Jegyzőkönyv kihirdetéséről, valamint az ADN-hez csatolt Szabályzat kihirdetéséről és belföldi alkalmazásáról

<https://net.jogtar.hu/jogszabaly?docid=A1000006.TV&searchUrl=/gyorskereso%3Fpagenu m%3D4>

(a letöltés ideje: 2021. március 09.)

[41] Országos Atomenergia Hivatal: Radioaktív anyagok csomagolásának jóváhagyását megalapozó biztonsági elemzésekre vonatkozó követelmények, 2019

[http://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHportal.nsf/D411287EEFABB38AC1257BE900552C20/\\$FILE/SZ-1v2T_v%C3%A9gleges.pdf](http://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHportal.nsf/D411287EEFABB38AC1257BE900552C20/$FILE/SZ-1v2T_v%C3%A9gleges.pdf)

(a letöltés ideje: 2021. március 09.)

[42] INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION: The International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code

<https://www.imo.org/en/OurWork/Safety/Pages/DangerousGoods-default.aspx>

(a letöltés ideje: 2021. március 10.)

[43] Országos Atomenergia Hivatal: Engedélyezés

https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?openagent&menu=02&submenu=24_999

(a letöltés ideje: 2021. március 10.)

[44] EUR-Lex: Radioaktív anyagok szállítása

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:l28099&from=FR>

(a letöltés ideje: 2021. március 11.)

[45] gkicenter: A veszélyes áru fuvarozásához szükséges okmányok

https://www.gkicenter.hu/kisaru/22_a_vezslyes_ru_fuvarozshoz_szksges_okmnyok.html

(a letöltés ideje: 2021. március 12.)

[46] Katasztrófavédelem: Hatósági sakterület

<https://www.katasztrofavedelem.hu/215/hatsgi-szakterlet>

(a letöltés ideje: 2021. március 13.)

[47] Országos Atomenergia Hivatal: RADIOAKTÍV ANYAGOK SZÁLLÍTÁSÁNAK ENGEDÉLYEZÉSE, 2016

[https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5092710504BBF728C1258035003F0B57/\\$FILE/Hat%C3%B3s%C3%A1gi%20f%C3%B3rum%20-%20sz%C3%A1ll%C3%ADt%C3%A1s%2020160919%20-%20KS.pdf](https://www.haea.gov.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/5092710504BBF728C1258035003F0B57/$FILE/Hat%C3%B3s%C3%A1gi%20f%C3%B3rum%20-%20sz%C3%A1ll%C3%ADt%C3%A1s%2020160919%20-%20KS.pdf)

(a letöltés ideje: 2021. március. 14)

[48] International Nuclear Information System (INIS): Radioactive Material Accidents in the Transport

https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/42/070/42070525.pdf

(a letöltés ideje: 2021. március 28.)

[49] KUTV: Semi truck transporting radioactive material catches fire in Tooele, 2018

<https://kutv.com/news/local/semi-with-hazardous-containers-catches-fire-on-i-80>

(a letöltés ideje: 2021. március 28.)

[50] ORIGO: Elcsapott az InterCity egy sugárzó anyagot szállító teherautót, 2012

<https://www.origo.hu/itthon/20121211-elcsapott-az-intercity-egy-sugarzo-anyagot-szallito-teherautot.html>