

1. Környezetvédelmi célú gamma–spektrummérések

1.1. A különböző szférákban előforduló radioaktív izotópok

A környezetünkben előforduló radioaktivitás származhat természetes és mesterséges (antropogén) forrásokból is. Származásuktól függetlenül a sugárzóanyagok előfordulnak az összes környezeti elemekben és az élő szervezetekben (növények, állatok).

Az atmoszféra természetes radioaktivitása elsősorban a benne lévő radioaktív aeroszoloaktól származik, de radioaktivitást okozhatják szilárd és cseppfolyós részecskék is. Tulajdonképpen két különböző forrásból táplálkozik:

- a földfelszínen a talajokban, a felszínen található kőzetekben és a felszínalatti vizekben lévő rádium-izotópok bomlástermékeként keletkező légnemű halmazállapotú (nemesgáz) radon (^{222}Rn) izotóptól;
- származhat a „felülről” (az ionoszféra felől) érkező nagyenergiájú kozmikus sugárzásból, amely a levegő atomjaival kölcsönhatásba lépve radioaktív izotópokat is létrehozhat.

A földkéregből származó összetevőket a hosszú felezési idejű izotópok (^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th) és az urán, valamint a tórium bomlási sorok radioaktív elemei alkotják.

A kozmikus sugárzás nagy energiájú összetevője az atmoszféra felső rétegein áthatolva másodlagos részecskéket kelt, a kis energiájú komponens pedig ionizáció révén veszíti el energiáját. A kozmikus komponensből származó dózis átlagos értéke $0,3 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ [3].

Az atmoszférába előforduló radioaktív elemek három alapvető csoportba sorolhatók [3]:

1. a Föld korával közel azonos felezési idejű radioaktív nuklidok (pl.: ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th), melyek csak elhanyagolható mennyiségben kerülnek a légkörbe az ezeket tartalmazó kőzetekből;
2. a Föld koránál lényegesen rövidebb felezési idejű radionuklidok, melyeknek tagjai a ^{238}U -ból, a ^{232}Th -ból, valamint a ^{235}U -ból kiinduló bomlási sorokba tartoznak;
3. a kozmikus eredetű sugárzás hatására az atmoszférában bekövetkező nukleáris átalakulásokról közvetlenül keletkező radioaktív nuklidok (^3H , ^{14}C , ^{39}Cl stb.).

Az atmoszférikus levegő aktivitása a talaj radioaktív anyagtartalmától, illetve az anyagok talaj és légkör közötti cseréjének intenzitásától függ. A ^{222}Rn például a földkéregben, illetve a felszín közeli talajokban a ^{238}U bomlási sorának egyik leányeleme, amely a légkörbe diffundál. Így a radon aktivitásának ismeretében következtetések vonhatók le a talaj összetételével kapcsolatban és meghatározhatók a nagyobb uránérc lelőhelyek.

A mesterséges forrásból származó, a légkörbe kerülő radionuklidok légkörbe jutásáért a kísérleti nukleáris robbantások tehetők felelőssé, de szerepet játszanak még a nukleáris balesetek, a nukleáris erőművek fűtőanyagának előkészítésével összefüggő tevékenységek (bányászat, ércdúsítás, meddőhányók stb.). Meghatározóak még az atomerőművek normál üzemelésével kapcsolatos kibocsátások, a gyógyászati tevékenység, valamint a kutatás és egyéb tevékenységek.

A radioaktív izotópok a vízben oldható és oldhatatlan formában vannak jelen. Az atmoszférához hasonlóan a hidroszférában előforduló radionuklidok is származhatnak természetes, illetve antropogén forrásból. A természetes eredetűek körébe tartoznak, amelyek a talajból, kőzetekből kioldódva kerülnek a hidroszférába, mint radioaktív izotópok, vagy ezek sugárzó leányelemei. Ebbe a csoportba tartoznak még a kozmikus sugárzás hatására a felsőbb légrétegekbe létrejött radionuklidok, melyek például nedves, vagy száraz kihullással bekerülnek a felszíni vizekbe. A hidroszféra mesterséges (antropogén) radioaktivitását elsősorban a maghasadásos reakciók (nukleáris robbantások, nukleáris reaktorok stb.) okozzák. A következő radioaktív izotópok fordulnak elő általában: ^{90}Sr , ^{90}Y , ^{131}I , ^{132}I , ^{137}Cs , ^{141}Ce stb. A legveszélyesebbek a hosszú felezési idejű, nagy sűrűségű ionizáló sugárzást kibocsátó és az élő szervezetekben akkumulálódó toxikus radionuklidok. Ilyenek például a ^{226}Ra , a ^{90}Sr , a ^{90}Y , a ^{210}Pb és a ^{210}Po .

A felszíni vizek radioaktivitását nagymértékben befolyásolják a benne élő szervezetek (algák, moszatok, halak stb.), melyek táplálék felvételükkel a testükbe juttatják a radioaktív izotópokat. Elpusztulásuk után a lebomló szerves anyagból ezek az izotópok visszakerülnek a vízbe.

A felszíni vizek esetében különbség tapasztalható az álló és folyó vizek között. Az állóvizekben (tavakban) akkumulálódnak a bekerülő radionuklidok, ezért a radioaktivitási szintje nagyobb, mint a folyóvizeké.

A felszín alatti vizek esetében a felszíni vizekhez képes nagyobb radioaktivitási szintről lehet beszélni. Ez az ásvány- és gyógyvizekre különösképpen igaz. Ezek természetes radioaktivitásának nagy részét olyan izotópok okozzák, mint a ^{222}Rn , a ^{238}U , a ^{230}Th , a ^{40}K stb. Bizonyos, radioaktív ércek szomszédságában található vizek, illetve ásványvizek esetén a ^{40}K okozza azok radioaktivitásának jelentős részét.

A pedoszféra (talaj) a radioaktív izotópok megkötésében igen fontos szerepet játszik. A radioaktív izotópok eloszlása a talajprofilban általában egyenletes. A talajok radioaktivitása a geológiai viszonyok (pl.: alapkőzet származása és összetétele, a talajképződési folyamatok jellege stb.) függvénye. A savas jellegű kőzetek mállásából képződő talajokban a radioaktív izotópok mennyisége nagyobb, mint azokban, melyek bázikus kőzetek mállásából képződtek. A kötött talajok szintén több radionuklidokat tartalmaznak, mint például a homokos talajok. A pedoszférában található radioaktív izotópok alapvetően négy csoportba sorolhatók: [3]

1. a radioaktív elemek bomlási sorának közbülső, nagy atomtömegű termékei (uránium, aktínium, tórium);
2. kis atomtömegű, de hosszú felezési idejű, kis természetes aktivitású elemek radioaktív izotópjai (pl.: ^{40}K , ^{87}Rb , ^{48}Ca , ^{96}Zr stb.);
3. az atmoszférában a kozmikus sugárzás hatására stabil izotópokból képződő radionuklidok, mint a ^3H , a ^7Be , a ^{10}Be , a ^{14}C stb.;
4. a nukleáris robbantások alatt képződő radioaktív izotópok, nukleáris berendezések üzemelésével, vagy balesetével összefüggésben a stabil izotópok neutronokkal történő sugárzásával.

Ezek származhatnak természetes és mesterséges forrásból. A pedoszféra természetes radioaktivitásának mértéke alapvetően a geológiai viszonyoktól, az alkalmazott agrotechnikai módszerektől (műtrágyázás, öntözés), a meteorológiai paraméterektől és egyéb környezeti elemektől függ. A talajok természetes radioaktivitása elsősorban a hosszú felezési idejű (10^8 –

10^{16} év) izotópokból alakul ki, mint az urán, tórium, rádium és kálium. Ennek jelentős részét a ^{40}K izotóp teszi ki, amely a természetes káliumban 0,0119%-os arányban fordul elő [3]. A talajok felső rétegének radontartalma az időtől, a hőmérséklettől, a mélységtől és a talaj gázátbocsátó képességétől függ. A légkörbe kijutó radonnak a kőzetekben és a talajokban található ^{226}Ra a közvetlen anyaeleme. A magyarországi talajokat a bennük található radioaktív izotópok aktivitása alapján csoportosítják, ezt a következő táblázat szemlélteti ([3]–ből):

Radioaktív nuklid	Aktivitás [mBq/g talaj]				
	Alacsony	Közepesenél alacsonyabb	Közepes	Közepesenél magasabb	Magas
^{40}K	< 373	373 – 529	529 – 675	675 – 821	> 821
^{234}Th	< 31	31 – 67	67 – 103	103 – 140	> 140
^{226}Ra	< 16	16 – 79	79 – 143	143 – 206	> 206
^{214}Bi	< 3	3 – 31	31 – 59	59 – 87	> 87
^{214}Pb	< 4	4 – 34	34 – 64	64 – 94	> 94
^{228}Ac	< 24	24 – 34	34 – 46	46 – 56	> 56
^{212}Bi	< 15	15 – 31	31 – 47	47 – 63	> 63
^{212}Pb	< 21	21 – 33	33 – 45	45 – 57	> 57
^{208}Tl	< 26	26 – 35	35 – 45	45 – 54	> 54

A pedoszférában előforduló radioaktív elemek forrásai a maghasadás és egyéb nukleáris reakciók. Az ezekben a folyamatokban keletkező radionuklidok legtöbbször a kihullás (fall out) révén kerülnek a talaj felszínére, illetve a talajba. Ezek a radioaktív izotópok – mint például a ^{137}Cs , a ^{95}Zr , ^{131}I stb. – a ^{90}Sr és a ^{137}Cs kivételével rövid felezési idejűek, így rövid időn belül elbomlanak. Környezetvédelmi szempontból a ^{90}Sr és a ^{137}Cs a legveszélyesebb, mert hosszú a felezési idejük és, mivel kémiai hasonlóságot mutatnak bizonyos biogén kémiai elemekkel, így részt vehetnek a táplálékláncban, majd az élőlényekben akkumulálódhatnak.

A növények a pedoszférával, az atmoszférával és a hidroszférával állandó dinamikus kapcsolatban állnak, melynek eredményeként alakul ki a növények radioaktivitása. Tekintettel arra, hogy a növények közvetlen, vagy közvetett kapcsolatban állnak a környezet elemeivel és az emberrel, a tápláléklánc igen fontos elemei. Ha nagy mennyiségű radioaktív izotóp akkumulálódik, az állati, vagy emberi szervezetben már jelentős káros elváltozást okozhat.

A növényekben lévő radionuklidok alakulásában a talaj, ezen belül annak fizikai, kémiai jellemzői hatása meghatározó lehet, de a levélzeten keresztül közvetlenül a levegőből is vesznek föl radioaktív izotópokat. Ezek, ha természetes eredetűek, akkor leggyakrabban geológiai forrásból származnak, illetve a kozmikus sugárzás hatására létrejött sugárzó izotópok. Közülük legnagyobb mennyiségben a ^{40}K izotóp van jelen a növények szöveteiben, mert a kálium a növények esszenciális makroelemei közé tartozik. Minden élőlény tartalmaz szénét, ezért a ^{14}C (pl. a cellulózba beépülve) is igen gyakori. Ezt a növények a levegő CO_2 -tartalmából nyerik. A mesterséges eredetű, atomrobbantásokból, atomerőművek, nukleáris létesítmények stb. működéséből származó radionuklidok jelentős, de esetenként teljes részét stroncium és cézium izotópok alkotják. Tartós sugárterhelést többek között a ^{90}Sr és a ^{137}Cs okoz.

Az állati szervezetek radioaktív szennyezettségét (pontosabban a radioaktív izotópok az állati, illetve testszövetekbe történő jutását) elsősorban a növényállományok szennyezettségének mértéke határozza meg. Az ivóvízből, illetve a levegőből bekerülő radioaktivitás mértéke

elhanyagolható. Ezekon kívül az állati, valamint a testszöveteket az előzőekben felsoroltakhoz képest kb. azonos mértékben terheli a környezet radioaktivitásából eredő külső sugárzás is.

A természetes forrásból származó radionuklidok közül az előző alfejezetben tárgyaltakból kifolyólag az állati szervezetekben a ^{40}K izotóp fordul elő a legnagyobb mennyiségben. Említésre méltó még a ^{14}C izotóp is, amely a növényekben akkumulálódva a táplálékláncon keresztül jut el az állati, illetve a testszövetekbe. További a növényekben felhalmozódott, de mesterséges forrásból származó izotópok a ^{90}Sr és a ^{137}Cs , melyek radioaktív szennyezettséget okozhatnak.

A lakosság a radontól és bomlástermékeitől származó sugárterhelés legnagyobb részét épületekben, lakásokban veszi fel, ugyanis egyrészt itt a radon aktivitási szintje egy nagyságrenddel nagyobb, mint a külső levegőben (mert beltérben a levegőben lévő radon gáz a kiszellőzés hiánya miatt nem hígul), másrészt az emberek idejük nagy részét zárt épületekben töltik.

Az épületekben lévő radon forrásai:

- a talajból az esetleges padlórepedéseken, vagy nem megfelelően kialakított repedéseken;
- jelentős lehet a falból kiáramló radon;
- esetlegesen a víz, a földgáz, a külső levegő magas radon tartalma.

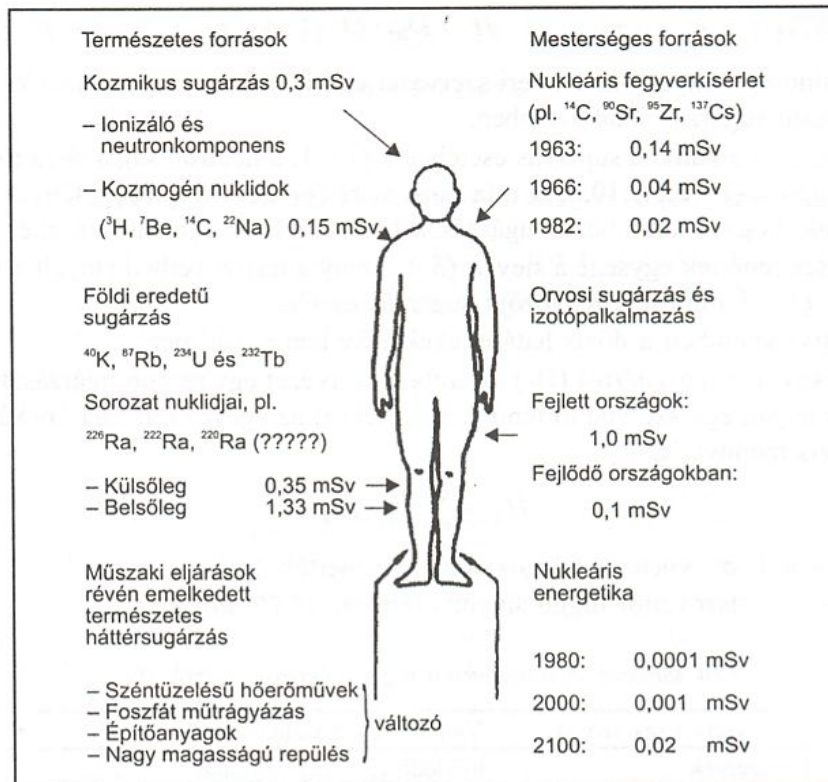
A zárt helységben esetlegesen kialakuló magas radon-koncentráció megfelelő szellőztetéssel csökkenthető.

1.2. A radioaktív sugárzás hatásai az emberi szervezetre

Az ember állandóan ki van téve a különböző természetes, vagy mesterséges eredetű ionizáló sugárzások hatásának. Ez a szervezetet érő sugárterhelés származhat külső és belső forrásból. A külső sugárterhelés a külső forrásokból származó sugárterhelés. A belső sugárterhelés a táplálékláncon keresztül, vagy belégzéssel az ember szervezetébe bejutott (inkorporált) radioaktív izotópok sugárzásából származó sugárterhelés.

A sugárzás a sejtekben először, az energia-elnyelés következtében, fizikai változásokat okoz, majd ezek következményeként kialakul a szervezet biológiai elváltozása. Ezért a sugárzások várható biológiai hatásának jellemzésére ismerni kell a testszövetekben elnyelt energia mennyiségét. Erre alkalmazzák a dózismennyiségeket, amely alatt általánosságban valamely anyagban elnyelt sugárzási energiát kell érteni. A dozimetriai alapfogalmakat, valamint azok meghatározásait a „Gamma spektrum karotázis kutatási, alkalmazási módszerfejlesztés, PC alapú műszerfejlesztés, környezetvédelmi célra” projekt I. kötetének 1.2.2. fejezetében részletesen tárgyaltuk.

Az emberi testet érő sugárterhelés származhat természetes és mesterséges forrásból (lásd 1. ábra).



1. ábra: Az emberi testet érő sugárterhelés [3]

A természetes források közül a külső sugárterhelés legmeghatározóbb komponense a talaj és az épületek gamma-sugárzása, valamint a kozmikus sugárzás, amely – ellentétben az előzőekkel – nem függ a geológiai viszonyoktól, de a tengerszint feletti magasságtól exponenciálisan függ. A külső sugárterhelés mellett az emberi szervezetet érő sugárterhelésben jelentős szerepet játszik az inkorporált természetes eredetű radioaktív izotópok hatása.

Az egész testre vonatkoztatva a legnagyobb dózist a ^{40}K , valamint a ^{222}Rn és leányelemeinek aktivitása jelenti. A többi természetes eredetű radionuklid sugárterhelése ennél kisebb. Ezek átlagos sugárterhelést jelentenek, az egyes szervek, illetve szövetek ennél nagyobb, vagy kisebb sugárdózist kaphatnak. További fontos, az emberi testben fellelhető természetes eredetű izotóp, a ^{14}C , mint természetes alkotórész is jelen van.

A mesterséges eredetű, külső forrásból származó sugárterhelés mértéke gyakran meghaladja a természetes eredetűt. A jelenlegi kontaminációs (szennyeződési) viszonyok mellett a mesterséges forrásból származó sugárterhelés kisebb, mint a természetes háttérsugárzásból kapott dózis és kisebb, mint 0,1 mSv/év. [3]

Az antropogén eredetű belső sugárterhelés részben a környezetszennyező radioaktív izotópoknak (^3H , ^{90}Sr , ^{137}Cs) a szervezetbe jutásából, részben az orvosi diagnosztikában, illetve terápiában használatos radionuklidok (leggyakrabban ^{32}P , ^{131}I , ^{198}Au) sugárterheléséből tevődik össze. Ez esetben elsősorban a ^{90}Sr és a ^{137}Cs izotópokkal kell számolni.

Az emberi szervezetbe jutó mesterséges eredetű radionuklidok mennyiségét a táplálkozási szokások befolyásolják a legnagyobb mértékben.

Az ENSZ Atomsugárzásokat Vizsgáló Tudományos Bizottság 1988. évi felmérése szerint a Föld népességének átlagos sugárterhelése $2,8 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$. [3]

A sugárvédelem gyakorlati szempontjait figyelembe véve az ionizáló sugárzás hatása lehet determinisztikus és sztochasztikus.

A determinisztikus sugárhatás esetén a biológiai hatás egy bizonyos küszöbdózis (általában 1Gy) alatt nem, fölötté a dózis növekedésével egyre súlyosabb formában jelentkezik minden sugárzást elszennvedett személynél.

A sztochasztikus sugárhatás esetén a dózistól csak a sugárhatás kialakulási valószínűsége függ. Ez esetben nem határozható meg, hogy a sugárhatás mely személynél és mikor jelentkezik, fellépése minden személyre valószínűség jellegű. Így nincs küszöbdózis, és már kis dózisoknál is kialakulhat a káros sugárhatás, melynek valószínűsége elfogadott feltételezés alapján a dózissal lineárisan növekszik.

A sugárzás káros hatásai továbbá kifejtetik hatásukat az egyéni élet fennmaradását biztosító sejtek károsodásában. Ezt szomatikus hatásnak nevezzük, melyen belül megkülönböztetünk korai, prompt (következményei órákon, napokon belül jelentkeznek, és valamilyen ismert küszöbdózis felett biztosan fellépnek), valamint szomatikus késői hatásokat (esetükben nem lehet egyszerű közvetlen összefüggést kimutatni az egyes esetek súlyossága és a sugárdózis között).

Ezen kívül a sugárártalom jelentkezik a fajfenntartás és az öröklés folyamatosságát biztosító sejtek károsításában. Ez a genetikus hatás, mely megnyilvánulhat spontán vetélésben, vagy az utódok öröklött betegségében.

Felhasznált irodalom:

Barótfi István (szerk.): Környezettechnika; Mezőgazda kiadó, 2000.