

RADIOLÓGIAI TÁJÉKOZTATÓ

1. BEVEZETÉS

Az atomenergia békés célokra való alkalmazásakor esetlegesen bekövetkező, különböző forrásokból eredő, a lakosságot és a környezetet veszélyeztető nukleáris veszélyhelyzet és/vagy sugárveszély - a továbbiakban együtt: nukleáris veszélyhelyzet (NVH) - esetén annak elhárítását, következményeinek csökkentését, illetve megszüntetését az Országos Nukleárisbaleset-elhárítási Rendszer (ONER) végzi.

Nukleáris veszélyhelyzet: bármilyen okból bekövetkező, az emberek nem tervezett sugárterhelésével, valamint radioaktív anyagok környezetbe történő kibocsátását eredményező olyan helyzet, amikor a lakosságra és a környezetre káros radioaktív szint, vagy szennyezettség jelenik meg, vagy jelenhet meg, illetve áll fenn, és amelyben a lakosságot érintő következmények elhárítására vagy enyhítése érdekében állami, önkormányzati intézkedésekre van vagy lehet szükség.

Atomerőművek, kutatóreaktorok, oktatóreaktorok, űrhajókban alkalmazott atomreaktorok súlyos üzemzavara, kiégett fűtőelemek szállítása és izotópok gyártása nukleáris balesettel járhat. Érintőlegesen megemlíthetők a radioaktív hulladéktárolással kapcsolatos rendkívüli események is, bár itt és az izotópgyártás esetében a balesetelhárítási intézkedések foganatosítása általában létesítményen belüli, lokális baleset-elhárításra szűkül le.

A nukleáris baleset során kiszabaduló radioaktív anyagok a környezetbe kerülve a népesség sugárterhelésének növekedését eredményezhetik. Szükség szerint intézkedéseket kell foganatosítani a növekedés korlátozására vagy megakadályozására.

Nukleáris baleset következtében a radioaktív anyag környezetbe kerülésének legvalószínűbb útvonala a légkörbe történő kibocsátás, emellett azonban nem szabad megfeledkezni a radioaktív anyaggal szennyezett folyékony anyagok felszíni vizekbe vagy a talajvízbe kerülésének lehetőségéről sem. Az eddigi tapasztalatok alapján az utóbb említett útvonalon való radioaktív anyag kibocsátás jelentősége nagyságrendekkel kisebb a légköri kibocsátáshoz képest.

Radioaktivitás: egyes kémiai elemek minden külső behatás vagy kényszer nélkül is jól meghatározható, és könnyen észlelhető sugárzásokat bocsátanak ki. E jelenséget radioaktivitásnak, a kibocsátott sugárzást radioaktív sugárzásnak, a sugárzást kibocsátó elemeket radioaktív elemeknek nevezték el. A radioaktív sugárzás az atommagok bomlásával, átalakulásával van összefüggésben.

Radioaktív sugárzás: a radioaktív elemek háromféle sugárzást bocsátanak ki:

- **alfa sugárzás:** a hidrogén atommagjai a protonok, a hélium atommagok alkotják, elemi részecskék vesznek benne részt ezért anyagi természetű sugárzás, hatótávolsága a levegőben 2-8 cm

- **béta sugárzás:** az elektronok serege alkotja, elemi részecskék vesznek benne részt ezért anyagi természetű sugárzás, hatótávolsága a levegőben 1-2 m
- **gamma sugárzás** semleges (elektromos töltés nélküli) részecskék (például neutronok) alkotják, elektromágneses természetű sugárzás, hatótávolsága –az energiától függően- több száz méter lehet

Milyen forrásokból ér bennünket ionizáló sugárzás?

A források felosztása eredetük szerint lehetnek természetes, vagy mesterséges eredetűek.

Természetes forrásnak tekintjük a világegyéből, illetve a Napból hozzánk érkező (és a légkörben lezajló kölcsönhatások során jellegében átalakuló) kozmikus sugárzásokat. Az ezek által kiváltott effektív dózis annál nagyobb, minél magasabb helyen élünk. Radioaktív izotópok találhatóak a talajban is. Ezek általában több radioaktív bomlás (és ezeket kísérő ionizáló részecske kibocsátás) sorozatával alakulnak át stabil (nem-radioaktív) elemekké. A bomlás-sorozatban kialakuló átmeneti (radioaktív) és végső (stabil) elemeket bomlástermékeknek nevezzük. Az ezektől eredő dózis a talaj összetételétől függ. Valamennyi építőanyag is tartalmaz kisebb-nagyobb mértékben sugárzó anyagot. Külön fel kell hívnunk a figyelmet a talajból és az építőanyagokból kiáramló nemesgáz, a *radon* jelenlétére. Ezt ugyanis belélegezzük, és bomlástermékeik a tüdőnkben lerakódva folyamatosan sugarazzák szervezetünket. A saját testünkben mindig jelenlévő kálium egyik - radioaktív – izotópjából másodpercente 4000 bomlik el, tehát mi magunk is sugárforrások vagyunk!

Egészében azt mondhatjuk, hogy Magyarországon az *átlagos effektív dózis* körülbelül 2,5 mSv/év. Több olyan terület van a világon (például India, Brazília, Svédország egyes részein), ahol a háttérsugárzás a nálunk észleltnek 10-20-szorosa.

A **mesterséges** sugárforrások a legutóbbi 100 évben jelentek meg. Egy részüket az orvosi (diagnosztikai és terápiás) alkalmazásokhoz, más részüket ipari felhasználásra (például energiatermelésre) készítik.

Külön érdekességként megemlíthetjük, hogy sok széntüzelésű erőmű több szilárd radioaktív anyagot bocsát ki a légtérbe, mint az azonos mennyiségű villamos energiát előállító atomerőművek normál üzemük során.

Nem kerülhetjük meg azonban a balesetek kérdését. Az 1986. áprilisában bekövetkezett csernobili katasztrófának az erőmű közeli térségében bekövetkezett hatásairól a következő fejezetben lesz szó. Hazánkban a csernobili baleset következtében a sugárterhelés 50 év alatt - tehát a belélegzett és a lenyelt sugárzó anyagok szervezetünkbe beépülését is számításba véve - összesen kevesebb, mint 1 mSv többlet dózist okoz személyenként, vagyis jóval kevesebbet, mint az egyévi átlagos természetes sugárterhelés.

Külső sugárterhelés

Külsőnek nevezzük mindazokat a forrásokat, amelyek testünkön kívül helyezkednek el, s a szervezetünkbe csak az általuk kibocsátott sugarak jutnak. Hatásuk a forrás eltávolításával azonnal megszűnik. (Erre példa, ha valaki röntgenvizsgálatra megy: besugárzása csak addig a rövid ideig tart, amíg a bekapcsolt készülék terében áll.)

A baleset során esetleg a légkörbe került és az aktuális meteorológiai viszonyok által meghatározott irányba és sebességgel mozgó radioaktív csóva béta- és gamma-sugárzás kibocsátása külső sugárterhelést eredményezhet. A rövid felezési idejű radioaktív nemesgázok elsősorban a kibocsátáskor és kibocsátás helyéhez viszonylag közel eredményeznek jelentős mértékű külső sugárterhelést. Más radioaktív izotópok a talajfelszínre történő kiülepedésüket követően is többlet sugárterhelést okoznak.

Belső sugárterhelés

Belső sugárterhelés lép fel, ha a radioaktív (ionizáló sugárzást kibocsátó) anyag belégzéssel, vagy lenyelés útján szervezetünkbe kerül. Az ilyen anyagok némelyike hamar kiürül a szervezetből, más anyagok beépülnek a testszövetekbe, és éveken át fejtik ki hatásukat.

A baleset kezdeti időszakában a radioaktív felhőben található radionuklidok belégzése útján növekedhet meg a sugárterhelés. Ebben fő szerepet a radiojódok játszanak, melyek a pajzsmirigyben halmozódnak fel, és így elsősorban annak sugárterhelését eredményezik. Hosszabb távon a szennyezett élelmiszerek fogyasztása vezet a belső sugárterhelés növekedéséhez, amely megvalósulhat növények, a szennyezett növényekkel táplált állatokból származó élelmi anyagok, tej, illetve ivóvíz fogyasztásával.

Az ezen útvonalakon kialakuló sugárterhelés mértéke attól függ, hogy milyen radioaktív anyagok, és mekkora mennyiségben kerültek a környezetbe a baleset következtében. A különböző útvonalakon létrejövő sugárterhelések nagysága az érintett terület jellemzőitől és a területen élő lakosság összetételétől, életmódjától és táplálkozási szokásaitól függ.

Radioaktív veszélyforrások:

1. reaktor baleset (Paks, Csillebérc, Budapest)
2. szállítási baleset
3. radioaktív felhő
4. világűrben műhold baleset

A természetes háttérsugárzás: kozmikus eredetű (trícium) 30nSV/h
talajból származó (K, Ra) 70 nSV/h

Éves sugáradag megoszlása: 67.6 % természetes eredetű
30.7 % gyógyászat
0.45 % foglalkozási
0.6 % fallout
0.5 % vegyes
0.15 % radioaktív hulladék

Mi az ionizáló sugárzás?

Testünk atomok és egymáshoz kapcsolódó atomokból felépülő molekulák sokaságából áll. Ezek az építőelemek kifelé elektromosan semlegesek, minden atom egy pozitív töltésű atommagból és a körülötte elhelyezkedő negatív töltésű elektronok felhőjéből áll.

Ha a semleges atomokat (vagy molekulákat) úgy bontjuk szét, hogy a keletkező részek *nem* elektromosan semlegesek, akkor ezeket a töltéssel rendelkező részeket **ionoknak**, nevezzük, magát az ionizációhoz vezető folyamatot pedig **ionizációnak**. Ha például egy atommagtól eltávolítunk egy (vagy több) elektront, a visszamaradó mag, vagy annak töredéke pozitív ion lesz.

Az **ionizáló sugárzások** rendkívül sokfélék lehetnek, de a közös vonásuk az, hogy anyaggal találkozáskor (ahol az *anyag* éppúgy lehet a földet körülvevő légréteg, mint a testünket alkotó sejtek bármelyike) képesek annak alkotóelemeit ionizálni. Az ionizáció, mint *fizikai* folyamat *kémiai* hatásokhoz, majd *biológiai* elváltozásokhoz vezethet. Az ionizáló sugarak állhatnak töltött részecskékből, de létrehozhatnak ionizációt semleges (elektromos töltés nélküli) részecskék (például neutronok) is.

Külön kell szólnunk a *fotonokról*. Ezek olyan semleges elemi részecskék, amelyek nagy sebességgel száguldanak a térben, nyugalmi állapotban nem léteznek. Észlelhetőségük, hatásuk energiájuktól függ. Legismertebb energia-tartományuk a látható fény birodalmát öleli fel. Ezen a tartományon belül szemünk előbb vörös fényt érzékel, majd az egyes fotonok energiáját növelve az érzékelt szín fokozatosan az ibolya felé tolódik el. Ha az energiát tovább növeljük, elérkezünk a szabad szemmel már nem látható, de bőrünkre igencsak "hatásos" ultraibolya sugarak tartományába. Az érzékelt fény erőssége nem az egyes fotonok energiájától, hanem a szemünkbe érkező fotonok sokaságától (számától) függ.

A fotonok energiáját tovább növelve a *röntgensugárzás* tartományába érünk. Az ilyen energiájú a fotonok már képesek arra, hogy vékony lemezekben, vagy akár az egész emberi testen is áthatoljanak. Egy részük a szervezetünk alkotóelemeivel kölcsönhatásba lép (elnyelődik, szóródik, s eközben *ionizál*), más részük akadálytalanul halad tovább. Mivel a kölcsönhatás valószínűsége annál nagyobb, minél "sűrűbb" a közeg, amelyen a röntgensugarak áthaladnak, ezért például a csontokat tartalmazó testrészek árnyékában kevesebb röntgen-foton jelenik meg, mint a lágyabb szövetek (például a tüdő) mögött.

Ha az egyes fotonok energiáját tovább növeljük, elérkezünk a **gamma-sugarak** tartományába. A természetben előforduló instabil (spontán átalakuló, bomló) atommagok gamma-sugarakat is bocsátanak ki. Az utóbbi évszázadban az ember maga is képessé vált arra, hogy mesterségesen (atomreaktorokkal, részecske-gyorsító berendezésekkel) *radioaktív* anyagokat állítson elő.

Hogyan jellemezzük az ionizáló sugarak hatását?

A hatás jellemzésére **effektív dózis** szolgál.

A **dózis** egyszerűen mérhető fizikai mennyiséget jelöl: a valamely adott tömegben elnyelt energiának (amely ionizációra fordítódik) és a tömegnek a hányadosa.

Az **effektív** (magyar szóval hatásos) jelző arra utal, hogy az effektív dózis meghatározásakor már azt is figyelembe vesszük, hogy milyen fajta sugárzás éri szervezetünket. Például az alfa-sugárzás az emberi szervezetre sokkal nagyobb hatással van, mint az ugyanolyan mennyiségű ionizációt létrehozó gamma-sugárzás (a szervezetbe jutott alfa részecskék sokkal kisebb térfogaton belül hozzák létre az ionizációs eseményeket)

A másik tényező, amelyet az *effektív dózis* meghatározásánál figyelembe kell vennünk, az, hogy a test mely részét éri a sugárzás: szerveink, szöveteink nem egyformán sugárérzékenyek.

A könnyű áttekinthetőség kedvéért az ionizáló sugárzások hatásának ismertetésekor egyetlen effektív dózis *egységet* fogunk használni, ez a millisievert (kiejtése: miliszívert), rövid jele: **mSv**. Nagyságának érzékeltetésére álljon itt két jellemző érték:

- természetes forrásokból valamennyiünket körülbelül évi 2-5 mSv sugárterhelés ér az emberi szervezet egészét rövid idő alatt érő 3000-4000 mSv besugárzásba az érintettek körülbelül fele 1 hónapon belül belehal.

Érdekes megjegyeznünk, hogy még ez - az esetek felében halálos - dózis is rendkívül kis energiaátadással jár: egy csésze forró tea megivásakor sokkal több energiát viszünk a szervezetünkbe. Az ionizáló sugárzások veszélyességét tehát nem a szervezetnek átadott energia nagysága, hanem annak a sejtek kis részében történő rendkívüli koncentrátsága okozza.

Hogyan hatnak egészségünkre az ionizáló sugárzások?

A radioaktív sugárzás biológiai károsító hatásának folyamata négy fázisra osztható. Ezek a fizikai, a fizikai-kémiai, a kémiai és a biológiai fázisok.

A radioaktív anyagok ionizáló sugárhatása a biológiai rendszerekben (élőlényekben) igen bonyolult, egymással összefüggő folyamatsort indít el, melynek végeredményeképpen megváltozik a sejtanyagcsere és zavar, betegség jelentkezik.

A betegség súlyosságának mértéke nagyon sok mindentől függ, de az enyhébb bőrreakcióktól kezdve, a vékonybél megbetegedésen át a vérképző szervek komoly károsodására, a központi idegrendszer (agyvelő, gerincvelő) súlyos zavarára, daganatos megbetegedésekre leukémiára, genetikai zavarokra lehet számítani, még hosszú évekkel a sugárhatás elszenvedése után. (Kamionsofőrök rákos megbetegedései Csernobil után 5-10-12 évvel.)

Az ionizáció a kromozómában irreverzibilisen (visszafordíthatatlanul) károsítja a bonyolult szerves molekulákat, megduzzasztja a sejtmagot, növeli a protoplazma viszkozitását, a sejtfal permeabilitását (áteresztőképességét). A központi idegrendszer sejtjei különösen érzékenyek és súlyosan károsodnak. A neutron sugárzás befolyásolja a sejtosztódást és már 0,3 Gy elszenvedett sugáradagnál genetikai károsodás jön létre, ami a következő generációban megkétszerezi a mutációs rátát és ezek a génsérülések tíz generáción keresztül is érvényesülnek.

Az egész testet érő nagy (legalább 1000 mSv) besugárzás hatására közvetlen, rövid időn belül jelentkező súlyos tünetek lépnek fel. Ezek erőssége a besugárzás nagyságával arányos, mintegy 3000-4000 mSv felett az esetek nagy részében halálhoz vezet. Szerencsére eddig rendkívül kevés ilyen nagy dózissal járó baleset volt, a nukleáris ipar egész történelme során 1986-ig kevesebb, mint húszan, a csernobili reaktorbaleset során mintegy harmincan veszítették életüket egyszeri, nagy besugárzás következtében.

A kisebb sugárbehatásra főleg a vérképben lépnek fel elváltozások, amely a későbbiekben fehérvérűséget, fekélyesedést látási zavarokat okozhat. Amennyiben a

sugárzás az egész testre kiterjedő hatást váltott ki, *sugárbetegség keletkezik*. Egyes szervek, vagy testrészek sugárzás hatására bekövetkező változásai sugársérülést okoznak.

A kialakuló sugárbetegség lehet:

1. Enyhe sugárbetegség: enyhe fejfájással, hányingerrel, hasmenéssel, fáradtsággal jár. Három hét után fejlődik ki, 2-3 hét alatt fejeződik be, szövődmény nem valószínű.
2. Középsúlyos sugárbetegség: négy periódusban lefolyó betegség, kezdeti tünetek: fejfájás, hányinger, levertség, 7-10 nap tünetmentes időszak. Hirtelen heves tünetek: hasmenés, hányás, nyálkahártya vérzés, bőrön fekélyesedés, esetleg sokkos állapot. Kedvező esetben 4-5 hét múlva javulás következik be. Az elhalálozás valószínűsége: 25%
3. Súlyos sugárbetegség: lefolyása a középsúlyos fokozatához hasonló, de még kifejtettebb. A sugáradagtól függően a tünetmentes időszak csak 0-6 nap. Komplikáció, tüdőgyulladás, légzőközpont bénulás, haj és szőrzet elhullás, vérékenység, szövődmények léphetnek fel. Az elhalálozás valószínűsége: 50%.

A csernobili tragédia legjobban érintett területén - Ukrajna és Fehéroroszország egyes körszeteiben - a balesetet követő ötödik évtől kezdve megnőtt a gyermekkori pajzsmirigyrák előfordulása: más helyeken ez a megbetegedés minden 1 millió gyermekből 1-nél lép fel, az érintett területeken az előfordulási arány ennek mintegy százszorosa, azaz minden tízezer gyermekből 1-nél találkozunk ezzel a - szerencsére jól gyógyítható - megbetegedéssel.

Körülbelül évi 100 mSv effektív dózis alatt eddig a sugárzásnak semmilyen káros hatását nem lehetett egyértelműen kimutatni. A sugárbiológiával és sugárvédelemmel foglalkozó kutatók jelentős része szerint ilyen kis dózisoknál nincs is káros hatás, sőt a természetes háttér feletti kis többletdózis kifejezetten jótékony hatású is lehet.

Gondoljunk arra, hogy

- az élet kialakulásakor a földi háttérsugárzás a mostaninál nagyobb volt, az élet fejlődése ahhoz igazodott,
- számos más környezeti tényező van (napsugárzás, vitaminok stb.), amelyek kis mértékben elengedhetetlenül szükségesek az élethez, nagyobb mértékben viszont káros hatásúak.

Mindenesetre, amíg a tudományos kutatás nem tudja a nagyon kis dózisok ártalmatlan (vagy éppenséggel hasznos) voltát egyértelműen bizonyítani, addig a sugárvédelem alapelve *óvatosságból* az, hogy életünket úgy kell kialakítanunk, hogy az ionizáló sugárzások mértékét a **legkisebb ésszerűen elérhető** értéken tartsuk.

Veszélyhelyzetben a baleset következményeinek elhárításában részt vevő személy sugárterhelése nem haladhatja meg az 50 mSv effektív dózist. Az érintettek körén belül kivételt képez ez alól a népesség jelentős sugárterhelésének megakadályozásában és életmentésben részt vevő személy. Ebben az esetben törekedni kell arra, hogy a sugárterhelés a 100 mSv effektív dózist, az életmentésben részt vevő személy sugárterhelése a 250 mSv effektív dózist ne haladja meg.

A nukleáris balesetek jellemzői

Számos olyan nukleáris tevékenység van, amelynek során nem zárható ki a környezetre is hatással lévő baleset bekövetkezése. Ezek közül az atomreaktoroknál (atomerőmű, kutatóreaktor) bekövetkező balesetek jelentik potenciálisan a legnagyobb veszélyt. A súlyos következmények miatt várhatóan ezen létesítményeknél kell óvintézkedések foganatosítására felkészülnünk.

A kibocsátás időtartama

Pillanatszerű kibocsátás

Pillanatszerűnek nevezzük a kibocsátást akkor, ha az legfeljebb néhány percig tart, így nem kell a kibocsátás ideje alatti változásokat figyelembe venni. Ide sorolhatjuk pl. az izotópok tokozásánál bekövetkezett baleseteket, vagy kutatóreaktoroknál előforduló kis mennyiségű, "pöff-szerű" kibocsátásokat.

Közepes időtartamú, illetve hosszúidejű kibocsátás

A közepes, vagy hosszúidejű, azaz néhány órás, vagy napos kibocsátások környezeti hatásainak elemzésénél figyelembe kell venni a kibocsátásnak és a terjedést meghatározó környezeti (meteorológiai) paramétereknek az időbeli változását. A baleset bekövetkezése és a radionuklidok környezetbe történő kijutása között esetenként több óra is eltelik, ezáltal lehetővé válik a szükséges óvintézkedés előkészítése, illetve időben történő elrendelése és végrehajtása.

Az atomreaktor balesetek súlyossága

Az atomreaktorokban normál esetben a radioaktív anyagok (főként hasadási termékek) mennyisége a fűtőelemen kívül alacsony. Egyes technológiai paraméterek gyors, átmeneti változása esetén az illékony izotópok mennyisége megnövekedhet. A folyamat rövid idejű, megnövekedett légköri kibocsátáshoz vezethet, de az ilyen kibocsátás biztosan nem igényel semmiféle környezeti beavatkozást.

Tervezési balesetek

Atomerőmű tervezési balesetekor a környezeti következmény csak olyan mértékű lehet, hogy semmilyen óvintézkedést ne kelljen tenni.

Az ún. hűtőközegvesztéses balesetek esetében a vészhűtőrendszer működésbe lép, s ezzel a fűtőelemek hűtését biztosítja. Ezt megelőzően megsérülhet a fűtőelem burkolat, így a hasadványok a primer hűtőkörbe, onnan a - csőtörés helyén - a konténmentbe kerülnek. A hasadványok a konténmentszivárgás következtében kikerülnek a környezetbe, azonban a konténment és a reaktor épület visszatartása következtében a radiológiai következmények a beavatkozás szintje alatt maradnak.

Súlyos balesetek

Súlyos balesetek esetén számítanunk kell valamely beavatkozási szint(ek) túllépésére, s ezzel óvintézkedés(ek) mérlegelése válik szükségessé. Ezen kategóriájú balesetek zónaolvadással járhatnak. Az események, kimenetelüktől függően két csoportba sorolhatók, nevezetesen a konténment sérülés nélküli, illetve a konténment sérülésével járó balesetek csoportjába.

A súlyos balesetek fázisai: kezdeti esemény, hűtőközegvesztés, a zóna szárazra kerülése, a zóna megolvadása, a tartály átolvadása, a beton és az olvadt zóna kölcsönhatása, (a konténment sérülése).

A potenciális balesetek áttekintése

Izotópfeldolgozásnál ismert a radionuklidok milyensége és mennyisége. Általában igen kis aktivitású radionuklid kerül ki a környezetbe, rendszerint rendelkezésre állnak a kibocsátást ellenőrző mérőműszerek. A kis kibocsátási magasság következtében a szennyezettség feltehetőleg lokális, így az elhárítás kis terület dekontaminálásával megoldható. Az elhárítás ideje alatt az érintett terület lezárásával a lakossági dózisterhelés elkerülhető.

Radioaktív hulladék temetőnél (kis és közepes aktivitású) a szennyezés főként vízi úton terjedhet. A tárolás nagy biztonsága ellenére a felszíni és talajvizek radioaktív szennyezettségének ellenőrzése folyamatos, a kritikus érték elérésekor az ivóvíz fogyasztás tilalma rendelhető el.

A kiégett fűtőelemek tárolóiban a tárolás hosszúidejű pihentetést követően kezdődik. Az illékony komponensek többsége (jód és nemesgázok) már lebomlottak, így csupán kazetta leesés vezethet tervezési balesethez.

Atomreaktorok (kutató reaktor, és atomerőmű) súlyos balesetei esetén a primerkör, illetve hasadványoknak a sérült fűtőelemekből légi (és esetleg vízi) úton történő kibocsátásával kell számolnunk. Légköri kibocsátáskor elsősorban nemesgázok és aeroszolok kerülnek ki a környezetbe.

A kibocsátás radiológiai jellemzői reaktorbaleseteknél

Légköri kibocsátások esetén a lakosság sugárterheléséért a baleset korai fázisában - a nemesgázokon kívül - főként a következő radionuklidok felelősek: ^{131}I , ^{132}Te , ^{132}I , ^{133}I , ^{135}I , a baleset közbenső és késői időszakában: ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{106}Ru , ^{144}Ce , ^{90}Sr .

A kibocsátási hányadot a baleset bekövetkezésének pillanatában fennálló zóna izotópleltárára szokás vonatkoztatni. Az azonos kémiai és fizikai tulajdonságok alapján nuklidcsoportokat definiálnak és ezekre adják meg a kibocsátási hányadokat.

A reaktor balesetet követő leállástól a kibocsátás megkezdéséig eltelt idő alatt számolnunk kell a reaktorépület visszatartásával, a radioaktív bomlással, illetve

leányelem-képződéssel. A kibocsátás környezeti hatásainak az elemzéséhez ismernünk kell még a kibocsátási pont helyzetét, a távozó anyagok energiatartalmát, a légforgalmat, a kibocsátási sebességet, és radiojód esetén annak kémiai, fizikai formáját (elemi, szerves jód vagy aeroszol).

A baleset időszakai, sugárterhelési útvonalak, óvintézkedések

A balesetek három időszakát (korai, közbenső és késői) aszerint szokás elkülöníteni, hogy a baleset következményeinek elkerülését, illetve csökkentését szolgáló óvintézkedések közül melyeket és milyen alapon lehet meghozni [EPA, 92]. Az egyes szakaszok nem különülnek el élesen egymástól, átfedések lehetségesek.

Korai időszak

A baleset korai időszaka a baleset észlelésekor kezdődik és addig tart, amíg gyors és hatékony beavatkozások végezhetőek, s a döntések elsősorban a baleset jellegéből, a nukleáris létesítmény állapotából következnek. A radioaktív anyagok (potenciális) környezeti kibocsátása előtti, alatti és az azt követő időszak, mely néhány órától egy hétig tart.

Atomerőművi balesetknél külön ki kell emelni a *kibocsátás előtti* fázist. Ebben az időszakban a baleset lefolyásából és a konténmenten belüli mérések eredményeiből lehet következtetni a később várható környezeti kibocsátásokra. A radioaktív kibocsátások előtti fázisban hozott beavatkozások különösen hatékonyak lehetnek.

A korai időszakban a környezetben élőket az áthaladó radioaktív csóvától, valamint a felszínre, a környező tárgyakra és a bőrre kiülepedő radioizotópoktól éri gamma- és béta-sugárzás. Belső sugárterhelés keletkezik az átvonuló radioaktív anyag belégzésétől.

A korai időszak három tipikus óvintézkedése a kitelepítés, az elzárkóztatás és a jódpofilaxis.

Kitelepítéskor a lakosságot kimenekítjük a potenciálisan veszélyeztetett körzetekből. Idejében végzett kitelepítéssel valamennyi besugárzási útvonalat megszüntetjük. Az általános, optimált beavatkozási szint elzárkóztatásra 10 mSv elkerülhető effektív dózis, legfeljebb 2 napra integrálva.

Elzárkóztatásnál felhívjuk a lakosság figyelmét, hogy tartózkodjanak épületen belül, zárják be az épületek ablakait, ajtóit. Az épületek árnyékoló hatásával csökkentjük a külső sugárterhelést, az épület lezárásával a radioaktív anyag belégzését. Az általános, optimált beavatkozási szint ideiglenes kitelepítésre 50 mSv elkerülhető effektív dózis, legfeljebb 1 hétre integrálva.

A **jódpofilaxis** az inaktív jódkészítmények pajzsmirigy blokkoló hatását használja ki, alkalmazásával a belső sugárterhelés egy része - a radiojód belégzéséből eredő pajzsmirigy terhelés - csökkenthető. Az általános, optimált beavatkozási szint jódpofilaxisra 100 mGy elkerülhető pajzsmirigyben lekötött dózis, a radiojódoktól.

A közbenső időszak

A közbenső időszakban az óvintézkedéseket már megbízható környezeti mérésekre lehet alapozni. A közbenső időszak addig tart, amíg óvintézkedések meghozatalára kerülhet sor, azaz néhány hétig, esetleg néhány hónapig.

A besugárzási útvonalak sorában a kiülepedett radioaktív anyagoktól eredő külső sugárterhelés, valamint a szennyezett élelmiszer és ivóvíz fogyasztásától eredő belső sugárterhelés a legfontosabb. (Némely esetben a reszuszpenzióval a talajról a levegőbe visszakerülő radioizotópok belélegzését is figyelembe veszik.)

A tipikus óvintézkedések: az áttelepítés, valamint a legeltetés vagy takarmányfelhasználás, és az élelmiszer, illetve ivóvíz fogyasztás korlátozása. Az **áttelepítéssel** a kiülepedett anyagoktól eredő sugárzás hatása szüntethető meg. Az áttelepítést - a kitelepítéssel ellentétben - tényleges környezeti mérések alapján rendelik el. Az áttelepítés lehet időszakos vagy végleges. Az ideiglenes áttelepítésre vonatkozó referencia szint 30 mSv effektív dózis, 1 hónapra integrálva. Az ideiglenes áttelepítést meg lehet szüntetni, ha az egyhavi effektív dózis 10 mSv alá csökken. Ha az egyhavi dózis egy vagy két év után sem csökken a fenti érték alá, az áttelepítést véglegesnek kell tekinteni.

A **legeltetés, illetve táplálék fogyasztás korlátozása** a táplálékláncon keresztül történő radioaktív anyag felvételt, s ezáltal a belső sugárterhelést csökkenti.

A késői időszak

A késői időszakban - amely évekig tarthat - a besugárzási útvonalak lényegében azonosak a közbenső időszak alattiakkal. A legfőbb tevékenység a baleset következményeinek felszámolása, a szennyezett területek újra felhasználhatóvá tétele, mentesítése a szennyezéstől.

Ekkor újabb óvintézkedéseket már nem vezetnek be, viszont ebben az időszakban kerülhet sor egyes korábban bevezetett óvintézkedések feloldására.

A védőhatás mértéke

A korai beavatkozások hatékonysága nagymértékben függ a bevezetés időpontjától. A legjobb eredmények akkor érhetőek el, ha a védelmi célú beavatkozásokat a radioaktív szennyezőanyagok megjelenése (alkalmasint a légköri kibocsátás) előtt hozzák meg. A radioaktív felhő áthaladása után néhány órával bevett inaktív jód már nem csökkenti a pajzsmirigy inhalációs sugárterhelését, a felhő áthaladása után nincs értelme elzárkózást elrendelni, a felhő áthaladása idején elrendelt kitelepítés pedig kifejezetten káros (dózis növelő) hatású lehet.

A védőintézkedések hátrányai és kockázatai

A védőintézkedések bevezetése komoly gazdasági és szociális következményekkel jár. Feleslegesen elrendelt beavatkozások olykor nagyobb társadalmi károkat okozhatnak, mint egy indokolt beavatkozás elmulasztása.

Az elzárkóztatás megváltoztatja az életviteli szokásokat, beszerzési nehézségeket okozhat, időlegesen családtagokat szakíthat el egymástól. Az emberek bizonyos része jó-d-érzékeny, ezért a jó-d-profilaxisnak saját kockázata van. Kockázattal jár az emberek kitelepítése is, a közlekedési baleset kockázat mellett számolni kell a megszokott környezet elhagyása, családok szétszakítása következtében fellépő lélektani hatásokkal,

Beavatkozási (cselekvési) szintek

A beavatkozási dózisszinteket a szabályozni kívánt *referencia mennyiség definíciója* (milyen dózis, mennyi időre integrálva) és a *szint számértéke* határozza meg.

A korai időszak óvintézkedéseire és az áttelepítésre a beavatkozási szintek elkerülhető dózisban vannak megadva, azaz valamely védelmi tevékenység akkor esedékes, ha az elkerülhető dózis nagyobb, mint a megfelelő beavatkozási szint. Az elkerülhető dózis meghatározásánál figyelembe kell venni a védelmi tevékenység elrendelése és megvalósítása közti időeltérést és bármely olyan tényezőt, amely a védelmi tevékenység hatását módosíthatja.

Élelmiszer és ivóvíz fogyasztási korlátozás

A fogyasztási korlátozásokra a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség nem beavatkozási szinteket, hanem közvetlenül cselekvési szinteket ad meg.

Ennek feltehetően a következő alapvető okai vannak:

(a) a fogyasztás korlátozása nem korai óvintézkedés, bevezetésére akkor kerül sor, amikor az adott élelmiszerek aktivitása már jól mérhető,

(b) az élelmiszerekbe bejutott radioaktív szennyeződés hosszú, nehezen pontosítható időszakon keresztül okoz sugárterhelést, így a beavatkozási dózisszintből történő származtatás nehezen lenne kivitelezhető,

(c) a fogyasztás korlátozásával elért dózis-elkerülés attól is függ, hogy a letiltottak milyen aktivitású más élelmiszerekkel helyettesíthetők.

A NAÜ szabályozásban [IAEA, 96] megadott cselekvési szinteket a táblázat tartalmazza. A táblázatban szereplő nuklidcsoportokra egymástól függetlenül, azonban a csoportokon belül az egyes izotópok aktivitás-koncentrációit összegezve kell a táblázatban szereplő szinteket alkalmazni. A szinteket fogyasztásra kész állapotú élelmiszerekre kell vonatkoztatni. Kis mennyiségben fogyasztott élelmiszereknél (kb. 10 kg/év alatt) a cselekvési szintek az általános fogyasztású élelmiszerekénél tízszer nagyobbak lehetnek.

Cselekvési szintek élelmiszer– és ivóvízfogyasztás korlátozására

izotóp	általános fogyasztásra szánt élelmiszerek (Bq/kg)	tej és csecsemők táplálására használt élelmiszerek, ivóvíz (Bq/kg)
^{89}Sr , ^{103}Ru , ^{106}Ru , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{144}Ce	1000	1000
^{131}I	1000	100
^{90}Sr	100	100
^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{241}Pu , ^{241}Am	10	1

Legeltetési és takarmányozási korlátozás

A legeltetés és takarmányozás korlátozására, illetve az itatóvíz felhasználhatóságára a NAÜ nem ad meg sem beavatkozási, sem cselekvési szinteket. A származtatás menete azon alapul, hogy milyen aktivitás-koncentrációk esetén kapunk az állati eredetű élelmiszerekben (hús és tej) a táblázatban szereplő cselekvési szinteket elérő aktivitás-koncentrációkat.

Dozimetriai definíciók

Ahhoz, hogy az ismertett beavatkozási szintek és cselekvési szintek dozimetriai fogalmait egyértelművé tegyük, röviden áttekintjük a legfontosabb definíciókat.

Aktivitás jellegű mennyiségek

(a) aktivitás

Az a mennyiség, amelyet egy adott időpontban adott energiaállapotban levő radionuklidra a

$$A = dN/dt$$

kifejezés határoz meg, ahol dN az adott energiaállapotból a dt időintervallum során bekövetkező spontán magátalakulások várható száma.

Egysége: $1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$.

(b) aktivitás-koncentráció

Egységnyi felületen, térfogatban, tömegben lévő aktivitás.

Egysége: pl: 1 Bq/m^2 , 1 Bq/m^3 , 1 Bq/kg .

4.2.2. Dózis jellegű mennyiségek

(a) Elnyelt dózis

Dozimetriai alapmennyiség (D), amelyet a

$$D = de/dm$$

kifejezés határoz meg, ahol de az ionizáló sugárzás által az anyag térfogatelemében leadott energia, dm pedig az anyag térfogatelemének tömege.

Egysége: $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.

(b) egyenérték dózis

Ha a sugárzási tér különböző típusú és energiájú, különböző w_R sugárzási súlytényezőkkel jellemzett komponensekből tevődik össze, akkor a T testszövetben a H_T egyenérték dózis :

$$H_T = \sum w_R D_{T,R},$$

ahol $D_{T,R}$ a T testszövetben az R sugárzástól származó elnyelt dózis.

Egysége: $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.

(c) effektív dózis

A testszövetekben elnyelt egyenérték dózisok összegzéseként kapott E mennyiség:

$$E = \sum w_T H_T,$$

ahol H_T a T testszövetben elnyelt egyenérték dózis és w_T a T testszövet relatív sugárérzékenységére vonatkozó súlytényező.

Egysége: $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$.

(d) elkerülhető dózis

Egy óvintézkedéssel elkerülhető dózis, azaz az óvintézkedés nélkül és annak meghozatalával várható dózisok különbsége.

(e) lekötött dózis

Az emberi testbe bekerült radionuklid időben változó dózisteljesítményének integrálja t_0 -tól t_1 -ig, ahol t_0 a besugárzás (vagy felvétel) kezdeti időpontja. Ha t_1 nincs külön megadva, akkor az integrálási idő felnőttekre 50 év, gyermekekre pedig az integrálás a 70 éves korig történik.

A közvetlenül mérhető vagy közvetlen mérésekből számolható mennyiségek

Aktivitás-koncentrációk

A radioaktív csóvában lévő aktivitást egységnyi térfogatra vonatkoztatjuk. Egysége: 1 Bq/m^3 .

A talajra kihullott aktivitás jellemzője ugyancsak aktivitás-koncentráció jellegű mennyiség: az egységnyi felületen lévő aktivitás. Egysége: 1 Bq/m^2 .

Az élelmiszerek, ivóvíz, takarmányok szennyezettségének jellemzője az egységnyi - takarmánynál száraz, egyébként fogyasztási állapotnak megfelelő - tömegre vonatkoztatott aktivitás. Egysége: 1 Bq/kg .

Aktivitás-koncentráció időintegrál

A levegőben mért - időben többnyire változó - aktivitás-koncentráció idő szerinti integrálja az aktivitás-koncentráció integrál. Egysége: 1 Bq.óra/m^3 .

Az élelmiszerekben mért – időben változó – aktivitás-koncentráció idő szerinti integrálja, az aktivitás-koncentráció integrál. Ez a mennyiség az összes lenyelt radioaktív anyag meghatározásához szükséges (időben állandó fogyasztást feltételezve). Egysége: 1 Bq.év/kg

Szabad levegő dózisteljesítmény

A szabad levegőn mért dózisteljesítmény a talaj felett 1 m magasan egységnyi idő alatt elnyelt dózis. Egysége: 1 Gy/óra .

A dózisteljesítmény mérése

A környezetben uralkodó sugárzási viszonyok, illetve azok időbeni és térbeni változásának mérésére alkalmasak a dózisteljesítmény mérő műszerek. A műszerek mérődetektora lehet GM-cső, proporcionális számláló, ionizációs kamra, szcintillációs, és félvezető detektor.

E detektorok közül legelőnyösebb mérés technikai tulajdonságokkal az ionizációs kamrák, valamint a szcintillációs és félvezető detektorok rendelkeznek. Igen széles mérési tartományban ($\text{nSv/óra} - \text{Sv/óra}$) használhatók, és ezen belül az energiatartományuk kicsi, illetve kompenzálható. Hátrányuk a meglehetősen bonyolult kiszolgáló és értékelő elektronikai igény - ami nehezebbé teszi hordozható kivitelben való elkészítésüket - és a részint ebből is következő magas árak.

Dózisteljesítmény mérésre a legelterjedtebben használatosak a GM csöves és a proporcionális számlálós műszerek, mind telepített, mind hordozható kivitelben.

A GM-cső megfelelő ablakkal nemcsak a gamma-, hanem a béta-sugárzás detektálására és mérésére is alkalmas. Alapvető hátránya az, hogy hatásfoka energiatartománytól függő, így csak egy bizonyos energia tartományban (mintegy $50\text{-}60 \text{ keV}$ -től $1,5\text{-}2 \text{ MeV}$ -ig) ad a sugárzás intenzitását megközelítően lineárisan követő jelet és mérési terjedelme is kisebb, mint az előbbieké. A GM-csőves műszereknek alsó mérési határa általában 100 nSv/óra körül van, ami miatt a környezeti háttérsugárzás változásának mérése pontatlan. Előnyük a GM-csőeknek, hogy elektronikai igényük kicsi, könnyen készíthetők hordozható kivitelben, a környezeti ártalmakra is érzéketlenek.

A proporcionális számláló műszerek alsó mérési határa általában eléri a környezeti háttérsugárzás mérésénél megkívánt 50 nSv/óra körüli értéket, mérhető energia tartományuk általában 30 keV és 1,5 MeV között van. Elektronikai igényük gyakorlatilag azonos a GM-csőkével, a hordozható kivitelben készült detektorok a bonyolult energiakompensációs szűrő rendszer miatt érzékenyebbek a környezeti ártalmakra.

A korszerű dózisteljesítmény mérő műszerek integráló elektronikát is tartalmaznak, így a dózisteljesítmény mellett, adott idő alatt dózist is mérhetnek.

A depozíció - felületi szennyezettség - mérése

A földfelszínre, valamint tárgyak és egyéb anyagok - beleértve az emberi testet is - felületére a környezetből kihullott, vagy más módon odajutott radioaktív anyagok jelenléte, azok mennyisége különböző módszerekkel és eszközökkel mutatható ki, illetve határozható meg.

A legegyszerűbb műszerek a felületi szennyezettség mérők. Mérődetektoruk proporcionális számláló, vagy GM-cső. Megfelelő felületi rétegvastagságú detektor ablakkal, illetve az ablak árnyékolásával elérhető, hogy a számlálóső szelektíven mérje az alfa-, béta- vagy gamma-sugárzást. Modernebb készülékek kombinált, alfa-béta-, illetve béta-gamma-detektort tartalmaznak, melyekben azonos ablak mellett egyrészt a detektor jelének elektronikus feldolgozása (alfa-béta-detektor), másrészt az egyes radioizotópokra előre meghatározott, és a mérőelektronikában tárolt kalibrációs faktor ad lehetőséget (béta-gamma-detektor) az egyes sugárzások elválasztására.

A felületi szennyezettség mérők több komponensű izotóp keverék okozta szennyeződés izotóppösszetételének megállapítására nem alkalmasak. A mérési eredményt ilyen esetben csak számlálási sebességként (cps) szabad értékelni, ennek felületi radioaktív szennyezettségre (Bq/m^2) történő átszámítása további megfontolásokat igényel. Az egyik ilyen megfontolási mód az, hogy a felületi szennyezettséget a már előzőleg más módszerrel meghatározott izotóppösszetétel alapján vagy a döntő mennyiségben jelenlévő radioizotópra, vagy az átlagos sugárzási energiához legközelebb álló izotópra, esetleg egyéb, ún. "referencia izotópra" vonatkoztatják.

A gamma-sugárzó radioizotópok okozta felületi szennyezettség minőségi és mennyiségi meghatározására a legalkalmasabb módszer az in situ gamma-spektrometria. A mérőrendszer detektora lehet NaI(Tl), vagy HPGe félvezető detektor.

A NaI(Tl) detektor legnagyobb hátránya az, hogy kicsi a felbontó képessége, emiatt nukleáris balesetnél, ahol bonyolult izotópkeverék kihullásából eredő szennyezettségre lehet számítani, és amely mellett pl. talajban, a természetes eredetű teresztriális izotópok bomlási sorainak nuklidjai is előfordulnak, izotópszelektív elemzésre alkalmatlan. Olyan esetben azonban, amikor a szennyeződést csak néhány és egymástól jelentősen eltérő energiájú izotóp okozza, kielégítően használható.

A HPGe detektor használata folyékony nitrogénes hűtést és bonyolultabb elektronikát igényel, azonban igen jó felbontóképessége (1-2 keV) miatt a sok összetevőjű izotóp keverékek elemzésére kiválóan alkalmas.

A gammaspektroszkópiai elemzés bonyolult elektronikai vezérlő és értékelő egységeket igényel. A ma használatos rendszereknél mind a vezérlő, mind az értékelő folyamatok PC-vel, megfelelő szoftverek felhasználásával végezhetők.

Mindkét detektor típusnál a sugárzás energiájával arányos jelet sokcsatornás analizátorban gyűjtik. Az izotópok okozta sugárzás energiaspektrumából a rendszer belső izotópkönyvtára segítségével határozhatók meg az egyes nuklidok és aktivitásuk.

További bonyolult kalibrációs eljárásokat igényel az, hogy az izotópok mért aktivitását (Bq) kell felületi aktivitásra (Bq/m^2), vagy a talajban lévő aktivitás-koncentrációra (Bq/kg) átszámítani.

Amennyiben alfa-, vagy béta-sugárzó izotóptól származó depozíció nuklidszelektív meghatározására is szükség van, úgy az csak mintavétel után, laboratóriumban végzett radiokémiai elválasztást követő méréssel (alfa-spektroszkópia, nuklidszelektív béta-mérés) valósítható meg.

A légköri aktivitás mérése

Atomerőmű nukleáris balesete során radioaktív nemesgázok (pl. Kr, Xe izotópok), radioaktív gőzök (szervetlen és szerves jód-izotópok), radioaktív aeroszolok (pl. I, Te, Ru, Cs izotópok) kerülhetnek a levegőbe.

A légkör radioaktivitásának mérésénél az alapvető kérdés a korrekt mintavételi eljárás, ami természetesen az izotópok megfelelő mértékű dúsítását is jelenti.

A radioaktív nemesgázokat mérés előtt az aeroszoltól és jódtól meg kell szűrni és mérőpalackba gyűjteni. A mérés érzékenységének növelése céljából szükség lehet a gázok komprimálására is. Az izotópszelektív mérés a megfelelő mérési geometriára kalibrált gamma-spektroszkópiás módszerrel végezhető el.

A radioaktív aeroszol kiszűrését a levegőből membránszűrővel végzik. A szűrőmembrán lehet álló, szakaszos mintavételnél, vagy mozgó szalag, folyamatos mintavételnél. Monitorozás céljából elegendő az összes alfa-, és/vagy összes béta-aktivitás mérése, általában szcintillációs számlálóval, de nuklidszelektív meghatározásra e mintáknál is a gammaspektrometriás elemzés alkalmas.

A radioaktív jódizotópok gőzeinek megkötésére különböző szorbensek (aktívszén, fémoxidokkal impregnált azbeszt, ezüsttel, vagy kálium-jodiddal impregnált aktívszén, zeolitok stb.) szolgálnak. Ezek megfelelő kombinációjával elérhető, hogy a szervetlen és a szerves jódgőzök szelektíven kötődjenek meg. A szorbenseken megkötött jódizotópok mérésére megfelelő a szcintillációs, vagy félvezető-detektoros gamma-spektrometria.

A levegő radioaktív szennyezettségének monitorozására és mérésére az előbbieken felsorolt mérőrendszerek különböző kombinációját magában foglaló automatikus, folyamatos monitor állomásokat fejlesztettek ki. Ezek az állomások a legegyszerűbb esetben csak az aeroszol összes alfa- és összes béta-szennyezettségét mérik, de bővíthetők szcintillációs detektoros mérőrendszerrel a jódizotópok meghatározására, félvezető-detektoros gamma-spektrometriás egységgel az aeroszol szennyezettségének vizsgálatára.

A felmerülő igények és anyagi lehetőségek szerint tetszőleges mérési kombinációval rendelkező monitor állomás építhető ki.

Különböző eredetű minták mérése

A környezeti közegek, állati takarmányok, élelmiszerek, ivóvíz minták radioaktív szennyezettségének mérésénél még mindig meglehetősen elterjedt az összes alfa-, vagy összes béta-aktivitás meghatározása, illetve az utóbbinak a ^{40}K természetes radioizotóp aktivitásával csökkentett értékének megadása. Ezek a meghatározások, illetve mérési eredmények azonban legfeljebb csak a szennyeződés jelenlétére utalhatnak, csak igen extrém esetben képezhetik döntések alapját.

Adekvát döntéshez mindenképpen szükséges a minták nuklidszelektív elemzése. Amint már azt az előzőekben kifejtettük, gamma-sugárzó izotópok esetében szükséges a gamma-spektrometriai elemzés. Amennyiben olyan speciális mintáról lehet szó, amelyben csak egy-két izotóp előfordulására lehet számítani (pl. ^{131}I előfordulása a tejben, vagy ^{137}Cs az izomban), úgy kielégítő lehet a NaI(Tl) detektoros gamma-spektrometria, minden egyéb esetben, különösen környezeti mintáknál szükséges félvezető-detektoros gamma-spektrometriai meghatározást végezni.

Az alfa- és béta-sugárzó radioizotópok meghatározásánál az egyetlen megfelelő eljárás a minták laboratóriumi feldolgozása, a radioizotóp szelektív kémiai elválasztása és mérése. Ezen belül speciális az alfa-sugárzók esete, amikor is azonos kémiai elem több izotópja lehet jelen (pl. Pu-izotópok), ilyenkor a kémiai elválasztást követően az egyes izotópok meghatározására alfa-spektrometriai módszer alkalmazására van szükség.

Hogyan védekezünk - ha kell?

Az eddig leírtakból nyilvánvaló, hogy az átlag magyar állampolgárnak semmi oka a félelemre, nincs szüksége arra, hogy bármiféle óvintézkedést tegyen. Néhány lakóházban előfordulhat, hogy a radon gáz szintje sokszorosán meghaladja az átlagot. Ezekben a pincefödém jobb elzárásával és a falak vastag tapétával való borításával lehet a sugárzást csökkenteni.

Más helyzet alakulhat ki baleset esetén. A csernobilihez hasonló típusú erőművek közvetlen környezetünkben nincsenek, s a volt Szovjetunió területén még működő néhány ilyen reaktoron is - éppen az 1986-os katasztrófa tanulságai alapján - rengeteg biztonságnövelő intézkedést hajtottak végre.

Mégsem zárhatjuk ki teljes biztonsággal, hogy valaha egy jóval kisebb méretű, de a lakosság egyes csoportjait is érintő baleset következhet be. Egy ilyen baleset káros hatásainak minimális szintre szorítására ma már Magyarországon is rendelkezésre állnak a megfelelően képzett szakemberek és korszerű eszközök. A külön erre a célra létrehozott Nukleárisbaleset-elhárítási Kormánybizottság vezetésével végrehajthatóak mindazok az intézkedések, amelyek a lakosság védelméhez szükségesek.

Hogyan tájékozódhatunk a sugárzás mértékéről?

Ha sugárveszéllyel járó baleset történik, a legtöbb esetben maga a baleset előidézője jelenti elsőként az eseményt. Erre ma már nemzetközi egyezmények is kötelezik az érintetteket.

A be nem jelentett események észlelésére, vagy egy bejelentett baleset esetén a kibocsátott radioaktív anyag terjedésének követésére épült ki hazánkban az országos sugárzásfigyelő rendszer. A rendszer legfontosabb részét a több mint 80 mérőállomás jelenti. Ezek a nyílt terepen álló állomások olyan műszerekkel vannak felszerelve, amelyek folyamatosan mérik a szabadtéri sugárzás: az óránkénti dózis, azaz a *dózisteljesítmény* értékét. A mért értékek magukba foglalják a talajban és a levegőben lévő radioaktív anyagok sugárzását (természetesen a lakóépületek anyagától, vagy a szervezetünk belsejébe került anyagoktól eredő sugárterhelést nem mérik).

Mivel ezúttal nem egy egész év, vagy egy baleset teljes lefolyása alatti összes effektív dózist, hanem csak az egy óra alatt a levegőben mérhető dózist vizsgáljuk, ezúttal a korábban bevezetett mSv *milliomod* részét használjuk, ennek az dózis egységnek a neve a nanosievert (kiejtése: nanoszívert), rövid jele: **nSv**. A mért dózisteljesítmény egysége tehát: **nSv/óra**.

A természetes izotópoktól eredő háttérsugárzás Magyarországon körülbelül **100 nSv/óra** érték körül ingadozik. Az ingadozást természeti hatások, időjárási körülmények (légnomás, csapadék mennyiség) változásai okozzák.

A mért értékek egy központi adatgyűjtőbe kerülnek, ahol folyamatosan figyelik az állomásokról beérkező jeleket. Ha valamely esemény hatására a dózisteljesítmény jelentősen megnő, akkor azonnal megkezdik a kivizsgálást, vagy - ha szükséges - a megfelelő óvintézkedések elrendelését. A *figyelmeztető szint 500 nSv/óra*. (Ez a szint - a természetes háttér mintegy ötszöröse - még mindig nem jelenti azt, hogy az állomás közelében lévők közvetlen veszélyben lennének, csupán a szakembereket figyelmezteti a kivizsgálás megkezdésére.)

A radioaktív sugárhatás elleni lakossági védekezés legfontosabb módszerei, eszközei:

- ◆ A legfontosabb teendő, hogy a lehető legrövidebb időn belül védett helyre húzódjon el, zárkózzon el!
- ◆ Tartsa be a hivatalos szervek minden utasítását!
- ◆ Ne legeltesse jószágait, állatait, ugyanis a radioaktív anyagok fölhalmozódnak azok szervezetében, a tejben, húsban!
- ◆ Csak ellenőrzött ivóvizet, élelmiszert fogyasszon, tartalékolja saját készleteit!
- ◆ Védje meg állatait, azok takarmányát is! Az állatait is zárja el!

- ◆ Csak a legszükségesebb esetben hagyja el lakását, ameddig csak tud zárkózzon el, ugyanis a radioaktív anyagok az idő múlásával jelentős mértékben bomlanak, az első napok, hetek elteltével a sugárszint felére, harmadára is csökkenhet!
- ◆ A szabadban való mozgás esetén, használjon legalább szükségvédő eszközöket! A radioaktív anyagok (radioaktív por, hamu) a levegőben nagyon messzire eljut és bekerülve a szervezetbe, fejt ki legjelentősebben az egészségkárosító hatását! Védje a szemét, légutait és a bőrfelszínét is! Próbáljon minél vastagabban, minél rétegebben öltözködni!
- ◆ A védett helyiségbe, a tartózkodó térbe ne vigye be a szabad levegőn hordott ruhadarabjait, azok ugyanis a belső teret is szennyezik!
- ◆ A mozgásnál, helyváltoztatásnál ne használjon járművet, ugyanis azok a már leült radioaktív port, hamut fölverik, újból felkavarják!
- ◆ Megfontoltan, körültekintően cselekedjen, ne kapkodjon, tartalékolja az energiáját!
- ◆ A kiosztott sugárkárosodást gátló készítményeket, gyógyszereket a hivatalos szervek előírásai szerint alkalmazza!
- ◆ A szabad téren való mozgás után minden esetben cseréljen ruhát! A szennyezett ruházatot gyűjtse össze és távolítsa el közvetlen környezetéből, de ne égesse el! Mosakodjon le, ugyanis a bőrfelületére került radioaktív por, hamu nem látható, de azért jelen van és veszélyezteti!
- ◆ Amennyiben fejfájást, bőrpírt, szemégést, könnyezést tapasztal, forduljon orvoshoz!
- ◆ Ne szedjen, és ne fogyasszon frissen szedett zöldséget, salátát, stb.!
- ◆ Állataival se etessen friss takarmányt, csak szárított, védett takarmánnyal, vízzel etessen, itasson!
- ◆ Amennyiben kitelepítésre kerül sor, ne használja saját járművét, csak a központilag biztosított szállítóeszközöket!

Magatartási, védekezési szabályok

A radioaktív anyagok elleni védekezés módszereit a sugárzó anyagok tulajdonságai határozzák meg. Mivel szervezetünkre az ún. gamma-sugarak jelentik a legnagyobb veszélyt, a védekezésnek arra kell irányulni, hogy ilyen anyagok ne jussanak a szervezetbe, illetve meg kell találni a sugárzás gyengítésének lehetőségét. Minél nagyobb és tömörebb a sugárzó részecskéktől bennünket elválasztó anyag tömege, annál hatékonyabban védekezhetünk a károsító hatás ellen. Éppen ezért a gamma sugárzás ellen az óvóhelyek, szükség-védőlétesítmények, pincék, épületek alagsorai és az egyéb – minden oldalról elzárt – létesítmények nyújtanak megbízható védelmet.

Tartsuk állandóan magunknál az egyéni védőfelszerelésünket. Ha valamilyen oknál fogva szennyezett területen leszünk kénytelenek tartózkodni, akkor a sugárzó anyagok szervezetbe jutását légzésvédő eszközökkel (gázálarc, porvédő álarc, vatta, géz, arckötés)

akadályozzuk meg. A gázálcok és az ipari légzőkészülékek teljesen visszatartják a radioaktív port, míg a porvédő álc rétegein áthaladva a levegő megtisztul a szennyező portól.

A testfelület védelmére közhasználatú esőköpenyt, védőruhát, overallt, köpenyt, gumikesztyűt és lábbelit használjunk.

Szabadban való tartózkodás esetén ne étkezzünk, ne dohányozzunk, természetes szükségletet ne végezzünk. Ne ülünk le szennyezett földre, vagy a szennyezett tereptárgyakra. Különös gonddal ügyeljünk ruházatunk zártságára, hogy a radioaktív por ne kerülhessen bőrfelületünkre.

A sugárzás elleni védekezés nagymértékben attól függ, hogy milyen gyorsan hajtjuk végre a szükséges védekezési rendszabályokat.

Épület, létesítmény	Sugárzásgyengítési tényező (hányad)
Középület:	
- földszintes	10-15
- 1 emeletes	20
- 2 emeletes	40
Pince, alagsor	40-50
Középület alatti pince	200-300
Földréteg:	
- 30 cm vastag	40
- 60 cm vastag	100
Óvóhelyek, tárok, bányák	nincs sugárzás

A gyengítési tényező azt jelenti, hogy azonos nagyságú sugárszint esetén azonos ideig történő tartózkodás mellett az egyes épületekben, létesítményekben tartózkodó személy hányszor kisebb sugáradagot szenved el, mint az, akit ezen idő alatt védtelenül a szabadban ér a radioaktív behatás.

Ezért ne feledjük, hogy a radiológiai riadó elhangzása után – ha a jelzés a szabadban ér bennünket – azonnal rejtőzzünk el bármilyen olyan építményben, amely falakkal és földemmel rendelkezik. A szabadban 100 %-os sugáradagot kapunk, míg a legegyszerűbb deszka – vagy barak – épületben 2-3-szor kisebbet, ami egészségünk megóvása szempontjából rendkívül jelentős csökkentést jelenthet.

A védőlétesítmények vagy szükség védőlétesítmények elfoglalása után mindenben az illetékes polgári védelmi szervek tájékoztatása és utasítása szerint járjunk el. A legmegbízhatóbb védekezés azt jelenti, hogy a polgári védelmi szervek engedélye nélkül ne hagyjuk el a radioaktív kiszóródás ellen védő létesítményeket és az előre elkészített élelmiszer-készletek és ivóvíz birtokában nyugodtan megvárjuk, amíg a sugárszint a megengedett értékre csökken.