



SV-17. sz. útmutató

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

Verzió száma:

1.

2019. november

Kiadta:

Fichtinger Gyula
az OAH főigazgatója
Budapest, 2019

A kiadvány beszerezhető:
Országos Atomenergia Hivatal
Budapest

FŐIGAZGATÓI ELŐSZÓ

Az Országos Atomenergia Hivatal (a továbbiakban: OAH) az atomenergia békés célú alkalmazása területén működő, önálló feladat- és hatáskörrel rendelkező, országos illetékességű, központi kormányzati igazgatási szerv, kormányzati főhivatal. Az OAH-t a Magyar Köztársaság Kormánya 1990-ben alapította.

Az OAH jogszabályban meghatározott közfeladata, hogy az atomenergia alkalmazásában érdekelt szervektől függetlenül ellássa és összehangolja az atomenergia békés célú, biztonságos és védett alkalmazásával, így a nukleáris és radioaktív hulladék-tároló létesítmények, nukleáris és más radioaktív anyagok biztonságával, nukleárisveszélyhelyzet-kezeléssel, nukleáris védettséggel kapcsolatos hatósági feladatokat, valamint az ezekkel összefüggő tájékoztatási tevékenységet, továbbá javaslatot tegyen az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos jogszabályok megalkotására, módosítására, és előzetesen véleményezze az atomenergia alkalmazásával összefüggő jogszabályokat.

Az atomenergia alkalmazása hatósági felügyeletének alapvető célkitűzése, hogy az atomenergia békés célú felhasználása semmilyen módon ne okozhasson kárt a személyekben és a környezetben, de a hatóság az indokoltnál nagyobb mértékben ne korlátozza a kockázatokkal járó létesítmények üzemeltetését, illetve tevékenységek folytatását. Az alapvető biztonsági célkitűzés minden létesítményre és tevékenységre, továbbá egy létesítmény vagy sugárforrás élettartamának minden szakaszára érvényes, beleértve létesítmény esetében a tervezést, a telephely-kiválasztást, a létesítést, az üzembe helyezést és az üzemeltetést, valamint a leszerelést, az üzemem kívül helyezést és a bezárást, radioaktív hulladék-tárolók esetén a lezárást követő időszakot, radioaktív anyagok alkalmazása esetén a szóban forgó tevékenységekhez kapcsolódó szállítást és a radioaktív hulladék kezelését, míg ionizáló sugárzást kibocsátó berendezések esetén azok üzemeltetését és karbantartását.

Az OAH a jogszabályi követelmények teljesítésének módját az atomenergia alkalmazóival egyeztetett módon, világos és egyértelmű ajánlásokat tartalmazó útmutatókban fejti ki, azokat az érintettekhez eljuttatja, és a társadalom minden tagja számára hozzáférhetővé teszi. Az atomenergia alkalmazásához kapcsolódó nukleáris biztonsági, védettségi és non-proliferációs követelmények teljesítésének módjára vonatkozó útmutatókat az OAH főigazgatója adja ki.

Az útmutatók alkalmazása előtt mindig győződjön meg arról, hogy a legújabb, érvényes kiadást használja! Az érvényes útmutatókat az OAH honlapjáról (www.oah.hu) töltheti le.

ELŐSZÓ

Az atomenergia békés célú, biztonságos és védett alkalmazására vonatkozó legmagasabb szintű hazai szabályozást az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény (a továbbiakban: Atomtörvény) tartalmazza. A biztonság egyik alapvető követelménye az indokolt alkalmazások következtében fellépő ionizáló sugárzások elleni megfelelő védelem kialakítása, amely elsődlegesen az engedélyes felelőssége. A sugárvédelem három legfontosabb pillére, úgymint az indokoltság, optimalás és a korlátozás alapelvek már az Atomtörvény szintjén megjelennek.

Az ionizáló sugárzás elleni védelemmel kapcsolatos hazai követelményeket meghatározását „Az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről szóló 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet (a továbbiakban: Sugárvédelmi rendelet) határozza meg.

A Sugárvédelmi rendelet rendelkezéseit a nukleáris létesítményekre a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről szóló 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet rendelkezéseivel összhangban kell értelmezni.

A Sugárvédelmi rendelet rendelkezéseit a radioaktív hulladék-tároló létesítményekre a radioaktív hulladékok átmeneti tárolását vagy végleges elhelyezését biztosító tároló létesítmények biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről szóló 155/2014. (VI. 30.) Korm. rendelet rendelkezéseivel összhangban kell értelmezni. A Sugárvédelmi rendeletben foglalt követelmények és rendelkezések betartása mindazok számára kötelező, akik folyamatos hatósági felügyelet alatt állnak, valamint a Sugárvédelmi rendeletben előírt hatósági engedélyhez kötött tevékenységet folytatnak, ilyen tevékenységben közreműködnek, vagy ilyen tevékenység folytatásához engedély iránti kérelmet nyújtanak be. A Sugárvédelmi rendeletben meghatározott követelmények és rendelkezések mellett a követelmények közé tartoznak az egyedi hatósági előírások, feltételek és kötelezettségek, amelyeket az OAH az ionizáló sugárzás elleni védelem érdekében határozatban állapíthat meg.

A Sugárvédelmi rendeletben foglalt követelmények teljesítésére az OAH ajánlásokat fogalmazhat meg, amelyeket útmutatók formájában ad ki. Az útmutatókat az OAH a honlapján közzéteszi. Jelen útmutató az engedélyesek önkéntes alávetésével érvényesül, nem tartalmaz általánosan kötelező érvényű normákat.

Az útmutatók felülvizsgálata az OAH által meghatározott időszakonként, vagy az engedélyesek javaslatára soron kívül történik.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS	8
1.1. Az útmutató tárgya és célja	8
1.2. Vonatkozó jogszabályok és előírások	9
2. MEGHATÁROZÁSOK ÉS RÖVIDÍTÉSEK	10
2.1. Meghatározások	10
2.2. Rövidítések	10
3. AZ AJÁNLOTT JEGYZET	11
<i>A1 Fizikai alapok</i>	<i>11</i>
A1.1 Az atomok felépítése	11
A1.2 Az elemek tulajdonságai, izotópok	12
A1.3 Az elemek stabilitása, radioaktivitás	13
A1.4 Az ionizáló sugárzások típusai	14
A1.5 Az ionizáló sugárzások forrásai	15
A1.6 Az ionizáló sugárzások és az anyag kölcsönhatása	16
A1.7 A sugárterhelés nagyságára jellemző mennyiségek: a dózisek	16
<i>A2 A sugárzások károsító hatása az emberre</i>	<i>17</i>
A2.1 Determinisztikus (korai) hatások	17
A2.2 Sztochasztikus (késői) hatások	18
A2.3 Örökletes (genetikai) hatások	19
<i>A3 A sugárvédelem alapelvei</i>	<i>19</i>
A3.1 Az indokolás	19
A3.2 Optimálás	19
A3.3 Korlátozás	20
A3.3.1 Tiltások – alkalmazási feltételek	20
A3.3.2 Lakossági dóziskorlátok	20
A3.3.3 Foglalkozási dóziskorlátok	21
<i>A4 A védekezés alapvető módszerei</i>	<i>22</i>
A4.1 Védekezés külső sugárzások ellen	22
A4.2 Védekezés belső sugárzások ellen	23

Jegyzet alapközzötú sugárvédelmi képzésekhez

A4.3 Teendők veszélyhelyzet, baleset esetén	24
A4.3.1 Külső sugárterheléssel járó balesetben érintettek kezelése	24
A4.3.2 Nyitott radioaktív anyaggal végzett munka közben bekövetkező balesetben érintettek kezelése	25
<i>A5 A dózisok mérése</i>	25
A5.1 Gázionizációs detektorok	25
A5.2 Termolumineszcens doziméterek	26
A5.3 Hatósági személyi dozimetria	26
<i>A6 Fizikai védelem, védettség</i>	27
<i>A7 A sugárvédelem jogi, hatósági és munkahelyi rendszere</i>	28
A7.1 Jogszabályok	28
A7.1.1 A Sugárvédelmi rendelet	28
A7.1.2 További jogszabályok	29
A7.2 Hatósági engedélyezés és ellenőrzés	30
A7.3 Munkahelyi előírások	30
A7.3.1 A sugárvédelmi megbízott	30
A7.3.2 Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzat	31
A7.3.3 A munkavállalók kötelezettségei	31
A7.4 Sugárvédelmi képzés, továbbképzés	32
<i>A8 Irodalom</i>	33
<i>A9 Az alapközzötú képzés írásbeli vizsgáján feltehető általános kérdések és a megfelelő válaszok helye</i>	35
<i>B1 Egészségügyi alkalmazások</i>	39
B1.1 Képköztő eljárások	40
B1.1.1 Képköztés röntgenberendezésekkel	40
B1.1.2 Képköztés más eszközökkel	41
B1.2 Terápiás célú besugárzások	42
B1.3 Nukleáris medicina	42
B1.4 Kiegészítő irodalom	43
B1.5 Az alapközzötú írásbeli vizsgán feltehető kérdések és a megfelelő válaszok helye	44

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

<i>B2 Nem nukleáris ipari alkalmazások</i>	45
B2.1 Ipari röntgenberendezések	45
B2.2 Zárt sugárforrást tartalmazó berendezések	46
B2.3 Nyitott radioaktív anyagok alkalmazása	46
B2.4 Ipari radiográfia	47
B2.5 Külső területen végzett munka	47
B2.6 Szállítás	47
B2.7 Kiegészítő irodalom	48
B2.8 Az alapfokozatú írásbeli vizsgán feltehető kérdések és a megfelelő válaszok helye	50
<i>B3 Radioaktív hulladék-tárolók üzemeltetése</i>	51
B3.1 A radioaktív hulladék	51
B.3.2 A radioaktív hulladékok osztályozása	52
B3.3 A püspökszilágyi Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló	52
B3.4 A bátaapáti Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló	52
B3.5 A Kiegett Kazetták Átmeneti Tárolója	53
B3.6 Kiegészítő irodalom	53
B3.7 Az alapfokozatú írásbeli vizsgán feltehető kérdések és a megfelelő válaszok helye	54
<i>B4 Nukleáris létesítmények üzemeltetése</i>	55
B4.1 Fogalmak, meghatározások	55
B4.2 Az atomreaktorok működése, maghasadás, láncreakció	56
B4.3 Sugárzások, védelem	56
B4.4 A dolgozók sugárvédelmi ellenőrzése	57
B4.5 Kis és közepes aktivitású radioaktív anyagok kibocsátása, elhelyezése	57
B4.7 Kiegészítő irodalom	58
B4.8 Az alapfokozatú írásbeli vizsgán feltehető kérdések és a megfelelő válaszok helye	60

1. BEVEZETÉS

1.1. Az útmutató tárgya és célja

A Sugárvédelmi rendelet 18. §-a előírja, hogy az *„atomenergia alkalmazási körébe tartozó tevékenységet csak megfelelő fokozatú sugárvédelmi képzettséggel ... rendelkező személy végezhet.* A 19. § (1) bekezdése rendelkezik az alapfokozatú képzettségre kötelezettek köréről. A sugárvédelmi képzések, illetve továbbképzések általános tematikai követelményeit a Sugárvédelmi rendelet 4. mellékletének 1.1. pontja határozza meg.

Jelen útmutató az alapfokozatú képzésekhez ad segítséget. Az útmutató az oktatók és a vizsgázók felkészítésére egyaránt alkalmas jegyzet formájában készült. Először a mindenki számára előírt általános, majd az egyes szakirányokhoz szükséges speciális ismereteket tárgyalja.

Az egyes képzéseken az útmutatóban közölt jegyzetben foglaltaktól eltérő megszövegezések szerepelhetnek, ha és amennyiben azok nem mondanak ellent a jogszabályokban megfogalmazott előírásoknak.

Az előadók az összefüggések megértéséhez és a vizsgakérdések megválaszolásához szükséges ismeretek átadásán túlmenően személyes példákkal, ábrákkal, animációkkal színesíthetik az előadásokat.

A témakörönként rendezett ismeretek után forrásanyagok értékelt felsorolása következik. Maga a jegyzet tartalmazza mindazon ismereteket, amelyek birtokában az alapfokozatú írásbeli vizsga valamennyi kérdése helyesen megválaszolható. Ezért a felsorolt forrásanyagok elolvasására, tanulmányozására a vizsgára készülő hallgatóknak nincs szükségük, az irodalomjegyzék inkább az oktatók felkészülését kívánja segíteni, hogy az itt leírtakon túlmenő hallgatói kérdéseket biztonsággal, helyesen megválaszolhassák.

A jegyzet végén az általános és a szakirányú ismeretek mindegyike után a jegyzet idézi az OAH honlapján feltett választható kérdéseket (a felajánlott válaszok nélkül). A kérdések után kapcsos zárójelben feltüntetjük annak a fejezetnek a sorszámát, amelynek elolvasása után helyesen megválaszolható az adott kérdés. Ez a vizsgázók felkészülését segíti: ha úgy vélik, hogy valamely kérdésre nem tudják a megoldást, a megadott fejezet azonosításával könnyen megtalálhatják a helyes választ.

A sugárvédelmi képzéseket lezáró vizsgák követelményrendszerének egységesítésére az Országos Atomenergia Hivatal a Sugárvédelmi rendelet 4. mellékletének 3. pontja alapján a honlapján közzétette (a

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

Feladatok/Sugárvédelem/Írásbeli kérdések alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez címen) azon kérdések gyűjteményét, amelyből a vizsgáztatók összeállíthatják az adott alapfokozatú képzéseket záró írásbeli vizsgákon feltehető kérdéseket. Az alapfokozatú sugárvédelmi képzésen való részvételt követően a vizsgázóknak képesnek kell lenniük a központi kérdések közül az általános ismeretekre vonatkozó valamennyi kérdés, valamint a képzés szakirányához kapcsolódó speciális kérdések megválaszolására.

1.2. Vonatkozó jogszabályok és előírások**Jogszabályok**

- a) Az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény.
- b) A 190/2011. (IX. 19.) Korm. rendelet az atomenergia alkalmazása körében a fizikai védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről (a továbbiakban 190/2011. Korm.rendelet).
- c) A 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről.
- d) A 21/2018. (VII. 9.) EMMI rendelet az egészségügyi szolgáltatások nyújtása során ionizáló sugárzásnak nem munkaköri kötelezettségük keretében kitett személyek egészsége védelmének szabályairól (a továbbiakban 21/2018. EMMI-rendelet).

Szabványok

- a) MSZ 62-7:2017: Az ionizáló sugárzás elleni védelem, 7. rész: Sugárvédelem nyitott radioaktív anyagok alkalmazásakor.
- b) MSZ 824:2017: Sugárzás elleni védelem orvosi és állatorvosi röntgenmunkahelyeken.
- c) MSZ 836:2017: Sugárzás elleni védelem röntgenberendezést és/vagy gamma-sugárforrást alkalmazó ipari radiográfiai munkahelyeken.
- d) MSZ 14344:2004: Radioaktív hulladékok. Fogalommeghatározások és osztályozás.

2. MEGHATÁROZÁSOK ÉS RÖVIDÍTÉSEK

2.1. Meghatározások

Az útmutató/jegyzet az Atomtörvény 2. §-ában, valamint a Sugárvédelmi rendelet 4. §-ának (1) pontjában és 2. mellékletében, továbbá a fizikai védelmi rendelet 2. §-ának (1) pontjában ismertetett meghatározásokat alkalmazza.

2.2. Rövidítések

Az útmutatóban/jegyzetben nem használunk rövidítéseket.

3. AZ AJÁNLOTT JEGYZET

A. Általános alapfokú sugárvédelmi ismeretek

Ebben a részben azokat az ismereteket foglaljuk össze, amelyeket mindenkinek tudnia kell, aki alapfokozatú sugárvédelmi képesítést kíván szerezni.

A1 Fizikai alapok

A1.1 Az atomok felépítése

A környezetünkben és a bennünk, a szervezetünkben található összes anyag elemi, kémiai úton tovább nem bontható építőkövei az atomok. Az atomok igen kis méretűek, szabad szemmel nem láthatók. Két fő részből állnak, középen helyezkedik el az atommag, körülötte az elektronfelhő. Az atommag még az atom egészéhez képest is nagyon kicsiny, de tömege kiteszi az atom tömegének túlnyomó részét (az elektronburokban lévő összes elektron tömege a teljes atomtömegnek kevesebb, mint 1 ezrelékét adja).

Az elektronfelhőjükkal összekapcsolódó, több atomból álló részecskéket molekulának nevezünk. (Például: a víz molekula egy oxigén és két hidrogén atomból, a konyhasó molekulája egy-egy nátrium és klór atomból áll.)

Az atommagnak két fő alkotóeleme van: a proton és a neutron. A protonok pozitív elektromos töltésűek, a neutronok semlegesek. A protonok és a neutronok számának az összegét (vagyis a mag összes alkotóelemének a számát) tömegszámnak nevezünk.

Az elektronok elektromos töltése negatív (a protonok elektromos töltésével azonos nagyságú, de azzal ellentétes előjelű).

Ha egy atomban az alkotórészecskék között ugyanannyi a pozitív és negatív elektromos töltésű alkotóelem, azaz a magban található protonok és a héjat alkotó elektronok száma megegyezik, az atom elektromosan semleges. Ha az elektronfelhőből eltávolítunk, vagy az elektronfelhőhöz hozzáadunk egy elektront, a mag pozitív töltése, vagy az elektronok negatív töltése túlsúlyba kerül, az atom egésze elektromos töltésűvé válik, az ilyen atomokat ionoknak nevezünk. Maga a folyamat, amelynek eredményeként az atom, vagy molekula elektromos töltésűvé válik, az ionizáció.

A1.2 Az elemek tulajdonságai, izotópok

A kémiai elemek (például oxigén, vas, ólom) csak egyféle atomból állnak, a vegyületek (például víz, széndioxid) többféle atomot tartalmaznak. Az egyes elemek kémiai tulajdonságait a magjukban lévő protonok száma határozza meg (például: a hidrogén magjában mindig egy proton, a héliumében kettő, az oxigénében hat, a vas atommagjában 26, az uránében 92 proton található). Az elemeket hagyományosan az egy vagy két betűből álló vegyjelükkel azonosítjuk (például a hidrogén vegyjele a H, a héliumé He, az oxigéné O, a vasé Fe, az urané U).

Ha két atomban megegyezik a protonok száma, de a neutronok száma eltérő, akkor az adott elem különböző izotópjairól beszélünk. (Például: a vas atommagjában mindig 26 proton van, ehhez a természetben előforduló vas atomok közel 92%-ában 30 neutron, közel 6%-ában 28 neutron csatlakozik. Igen kis mennyiségben találhatóak 31 és 32 neutronot tartalmazó vas atommagok is.)

Az egyes izotópokat a vegyjel előtti felső indexbe tett tömegszámmal azonosítjuk. Példaként: az ^{54}Fe , a vas 54-es tömegszámú izotópját jelöli (mivel a vas atommagjában 26 proton van, ezért az 54-es tömegszám azt jelzi, hogy a 26 proton mellett 28 neutron található), az ^{56}Fe a vas 56-os tömegszámú izotópjá, ennek minden egyes atommagjában 30 neutron található. A tömegszámot a vegyjel elé helyező írásmód helyett gyakran kötőjellel a vegyjel után teszik, azaz például ^{54}Fe jelölés helyett a Fe-54 típusú jelölést alkalmazzák; ez az írásmód – amellet, hogy nyomdatechnikailag egyszerűbb – a szóbeli kiejtésnek (esetünkben: vas ötvennégy) is jobban megfelel.

Szigorúan értelmezve az izotóp szót csak akkor szabadna használni, amikor egyazon elem különböző izotópjairól beszélünk (például: „a vas 54-es és 56-os tömegszámú izotópjá”). Ha csak egyetlen magot kívánunk jellemezni, vagy több különböző elem magjairól beszélünk, akkor a *nuklid* szó használata a szabatos. A gyakorlatban azonban többnyire ilyenkor is izotópokról beszélünk (például: „a kobalt 60-as és a cézium 137-es izotóp”), a *nuklid* szó használata nem ment át a mindennapi beszédbe.

A1.3 Az elemek stabilitása, radioaktivitás

A természetben előforduló atomok többnyire stabilak, időben állandók. A stabil magokban a protonok és neutronok aránya nem tetszőleges, a könnyű magokban (a hidrogént kivéve, amelynek a magja nem tartalmaz neutron) általában ugyanannyi protont és neutronot találunk. A nehéz magok felé haladva ez az arány megváltozik, a neutronok száma egyre jobban meghaladja a protonokét (a természetben előforduló legnagyobb protonszámú atommag, az urán esetében a 92 proton mellett legtöbbször 146 neutronot találunk). Ha a mag nem kellően stabil (nem megfelelő benne a protonok és neutronok aránya), az atommag átalakulhat oly módon, hogy stabilabb állapotba megy át. A mag az átalakulás során ionizáló sugárzást bocsát ki. Ezt a folyamatot nevezzük radioaktivitásnak, radioaktív bomlásnak.

Azt a mennyiséget, amely leírja, hogy egy adott anyagban időegységenként hány magátalakulás következik be, aktivitásnak nevezzük. Általánosan elfogadott mértékrendszerünkben (SI) időegységnek a másodpercet választották, az egy másodperc alatt bekövetkező egy bomlás az egy becquerel (ejtsd: bekerel), más szóval az aktivitás egysége a becquerel, jele a Bq.

A gyakorlatban a Bq nagyon kis egység, ezért általában a sokszorosait használjuk (mint például a nagy távolságok esetében a méter helyett a kilométert). A Bq ezerszerese a kilobecquerel (kBq), a kBq ezerszerese (tehát a Bq ezerszer ezerszerese, vagyis milliószorosa) a megabecquerel (MBq), a MBq ezerszerese (tehát a Bq milliárdszorosa) a gigabecquerel (GBq), a GBq ezerszerese a terabecquerel (TBq).

Természetesen nem mindegy, hogy egy adott aktivitás egy kis anyagmennyiségben, vagy egy hatalmas tömegben (adott esetben az egész földkéregben, vagy az óceánok vizében) eloszolva észlelhető. Az egységnyi tömegben előforduló aktivitást aktivitáskoncentrációnak nevezzük. Mértékegysége például: Bq/g, vagy Bq/kg.

A radioaktív bomlás véletlenszerű folyamat, soha nem tudjuk megmondani, melyik atommag bomlik el legközelebb, csak a valószínűségét tudjuk megadni, hogy egy atommag egy adott idő alatt el fog bomlani. Ez az elbomlási valószínűség az adott atommag (izotóp) fajtájától függ. Azt az időt, ami alatt egy izotóp magjainak várhatóan a fele bomlik el, azaz az izotóp aktivitása a felére csökken, felezési időnek nevezzük. Az aktivitás két felezési idő alatt a negyedére, három felezési idő alatt a nyolcadára csökken. (Tíz felezési idő alatt a kezdeti aktivitás már körülbelül az ezredére, húsz felezési idő alatt pedig körülbelül a milliomodára csökken.)

A felezési idő egy adott izotópra jellemző állandó. A gyakorlatban alkalmazott izotópok felezési ideje széles határok között változik (a másodperc tört részétől az év sokszorosáig), például az orvosi diagnosztikában gyakran használt Tc-99m (technécium 99m) felezési ideje 6 óra, a terápiás besugárzásoknál használatos Co-60 (kobalt 60) izotópé pedig több mint 5 év.

A1.4 Az ionizáló sugárzások típusai

Különbéle sugárzásokkal gyakran találkozunk a mindennapi életben (gondoljunk a nap- vagy hősugárzásra). A sugárvédelem azokkal a sugárzásokkal foglalkozik, amelyek az élő, vagy élettelen anyagokban ionizáció létrehozására képesek, azaz a sugárvédelem tárgya az ionizáló sugárzások elleni védelem.

Az 1.3 fejezetben ismertetett magátalakulásokat ionizáló sugárzások kibocsátása kíséri. Ezek három legfontosabb típusa az alfa-, a béta- és a gamma-sugárzás.

Az *alfa-sugárzás* ionizált (mindkét elektronjától megfosztott) hélium atomokból, két protonból és két neutronból álló hélium atommagokból áll. Az alfa-sugárzás már néhány centiméteres levegőrétegben, illetve néhány mikrométernyi vízben, vagy testszövetben elnyelődik.

A *béta-sugárzás* az atomok felépítése fejezetben megismert negatív töltésű elektronokból, vagy az elektronokkal azonos tömegű és azonos nagyságú, de ellentétes (tehát pozitív) töltésű pozitronokból áll. A negatív béta-sugarak a vízbe, illetve a testszövetekbe néhány milliméter mélységbe tudnak behatolni. A pozitron igen rövid időn belül találkozik egy elektronnal, ilyenkor az elektron-pozitron pár megsemmisül és fotonokat kelt.

A *gamma-sugárzás* éppen olyan elektromágneses sugárzás, mint a fény, vagy a rádióhullámok. Alkotóelemei a nagy energiájú, elektromosan semleges fotonok. A fotonoknak nincs nyugalmi tömegük, állandóan fénysebességgel haladnak. A gamma-sugarak számottevő gyengülés nélkül tudnak áthatolni akár 8-10 centiméteres víz-, vagy testszövet-rétegeken, azaz a gamma-sugárzás az itt ismertetett sugárzások közül a legnagyobb áthatolóképeségű.

Fotonokból álló sugárzás keletkezik akkor is, ha nagyenergiájú elektronok csapódnak be egy fémtárgyba, és lefékeződésükkor energiájuk egy részét úgynevezett fékezési *röntgensugárzás* formájában adják le. Egy, a térben repülő fotonról már semmiféle fizikai módszerrel nem állapítható meg, hogy milyen (gamma vagy röntgen) forrásból ered. A röntgensugárzás tehát éppen úgy elektromágneses sugárzás, mint a gamma-sugárzás, anyagon történő

áthaladására, kölcsönhatásaira és az ellene való védekezésre ugyanazok a törvények érvényesek.

Az előző bekezdésekben ismertetett sugárzásokon kívül számos más elemi részecskéből álló nyaláb alkothat ionizáló sugárzást, ezek közül egyes szakterületeken jelentős lehet a neutronsugárzás (lásd: B4 fejezet).

A1.5 Az ionizáló sugárzások forrásai

Az ionizáló sugárzások lehetnek természetes, vagy mesterséges eredetűek.

Az emberiséget mindig érték *természetes forrásokból* eredő sugárzások. Ezek egy része a világűrből (a távoli világűrből, illetve a Napból) származó, úgynevezett kozmikus sugárzás. A természetes sugárzások másik nagy csoportja a földi eredetű (rendszerint többmilliárd évvel ezelőtt, a Föld keletkezése során képződött) radioaktív izotópokból származik, ilyen sugarak szervezetünket a főként a kőzetekből, a talajból, illetve az építőanyagokból érik.

Külön ki kell emelni a talajból és az építőanyagokból kiáramló radioaktív nemesgáztól, a *radontól* (^{220}Rn és ^{222}Rn) és azok bomlástermékeitől származó sugárzás fontosságát, ez adja ugyanis a lakosság természetes forrásoktól eredő sugárterhelésének legnagyobb részét (körülbelül 60%-át).

A XX. századtól kezdve egyre több ionizáló sugárzást kibocsátó forrást és berendezést állítunk elő, elsősorban orvosi, ipari, energetikai és kutatási céllal. Ezeket nevezzük *mesterséges forrásoknak*.

A sugárzás forrásait osztályozhatjuk aszerint, hogy a szervezetünkön belül, vagy azon kívül helyezkednek el.

A természetes sugárforrások közül a szervezetünkön belül található a kálium 40-es tömegszámú izotópja (^{40}K), mesterséges források kerülhetnek a szervezetünkbe akár szándékosan (orvosi vizsgálatok, kezeléseik során), akár véletlenszerűen (például balesetek során belégzéssel, lenyeléssel). Az ilyen, a szervezetbe került radioaktív anyagoktól eredő dózist nevezük *belső sugárterhelésnek*.

A szervezetünkön kívül elhelyezkedő természetes forrásokra jó példát adnak a kozmikus sugárzások, a mesterséges forrásokra az orvosi röntgenkészülékek, vagy a radioaktív izotópokkal működő besugárzók. Az ezekből eredő dózist nevezük *külső sugárterhelésnek*.

A1.6 Az ionizáló sugárzások és az anyag kölcsönhatása

Az ionizáló sugárzások elsősorban az útjuk mentén elhelyezkedő atomok, molekulák elektronjaival lépnek kölcsönhatásba, az elektronokat kimozdítják a pályájukról. A kölcsönhatások során csökken a sugárzást alkotó részecskék energiája, a sugárzás gyengül. A kilökött elektronok és a visszamaradt pozitív töltésű magok ionpárokat alkotnak.

Az elsődleges, fizikai hatás, az ionizáció során az elektromosan pozitívvá vált atomok (vagy molekulák) kémiaileg aktívabbá válnak (például a vízmolekulákból kémiaileg igen reakcióképes szabadgyökök keletkeznek), ennek következtében kémiai elváltozások, majd a következő lépésben – ha az ionizáló sugárzás élő anyagba hatol – biológiai változások történnek. A biológiai hatásoknak kedvezőtlen élettani következményei lehetnek, ezért az ilyen hatások elkerülése, illetve csökkentése a sugárvédelem alapvető feladata.

A1.7 A sugárterhelés nagyságára jellemző mennyiségek: a dózisok

Ahhoz, hogy a sugárzások hatását számszerűen jellemezni tudjuk, mérhető, vagy más úton meghatározható mennyiségeket kell bevezetnünk. Már évtizedekkel ezelőtt megfigyelték, hogy a sugárzások által kiváltott fizikai hatások elsődlegesen az adott anyag egységnyi tömegében elnyelt energiától függenek. Ezért került bevezetésre a legegyszerűbb (fizikai, azaz közvetlenül mérhető) mennyiség, az *elnyelt dózis*: az egységnyi tömegű anyagban elnyelt energia. Jele: D, egysége a gray (ejtsd: gráj, jele Gy).

Az SI-mértékegységrendszerben az energia alapegysége a joule (ejtsd: zsúl, jele: J), a tömegé pedig a kilogramm (kg), tehát az elnyelt dózis egysége: $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$.

A gyakorlatban sokszor 1 Gy-nél lényegesen kisebb dózisokkal találkozunk, ilyenkor a Gy tört részeit használjuk (ugyanúgy, mint például a méter helyett a millimétert). A Gy ezredrésze a milligray (mGy), a mGy ezredrésze (azaz a Gy milliomod része) a mikrogray (μGy).

Az időegység alatt elnyelt dózist *elnyeltdózis-teljesítménynek* nevezzük, az egysége értelemszerűen a dózis és az idő egységeinek a hányadosa, tehát például: mGy/év, $\mu\text{Gy}/\text{óra}$.

Ha a sugárzás élő szervezetben nyelődik el, akkor a hatás nem csak az elnyelt dózistól, hanem a sugárzás típusától is függ (például azonos elnyelt dózis esetén az alfa-sugárzás hatása 20-szor akkora, mint a gamma-sugárzásé), valamint az egyes emberi szervek, szövetek sugárérzékenysége sem egyforma, tehát nem feltétlenül azonos lesz a hatása, ha egyik, vagy másik

szervünket éri a besugárzás. Az embert érő hatások jellemzésére vezették be az *effektív dózis* nevű mennyiséget: az *effektív dózis* az adott sugárzástípus(ok)ra és a besugárzott szerv(ek)re vonatkozó tényezőkkel súlyozott elnyelt dózis.

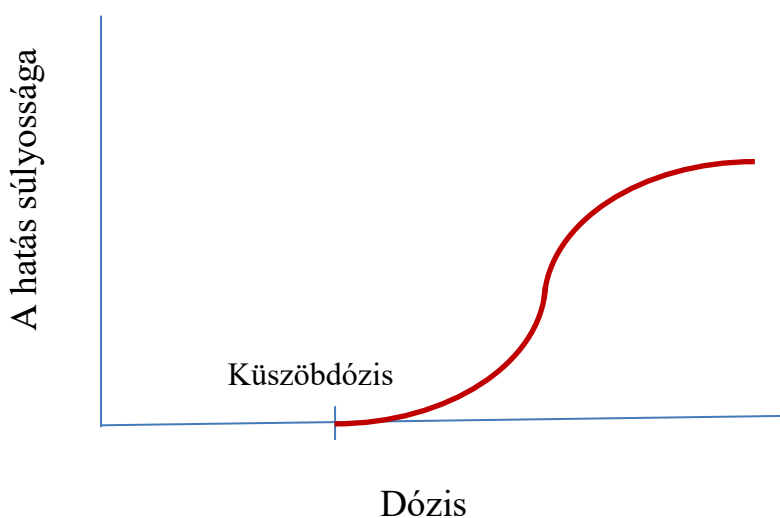
Az effektív dózis mértékegysége a sievert (ejtsd: szívert, jele: Sv). A gyakorlatban sokszor a tört részeivel találkozunk: mSv, μ Sv.

A2 A sugárzások károsító hatása az emberre

Az ionizáló sugárzások az élő szervek sejtjeiben (illetve az azokat alkotó molekulákban) létrehozzák az alapvető fizikai elváltozást: az ionizációt. Az alapvető fizikai változások a továbbiakban kémiai, majd biológiai elváltozásokhoz vezethetnek. Általánosságban elmondható, hogy főként a gyakran osztódó sejtek érzékenyek az ionizáló sugárzásokra. A biológiai elváltozások az esetek egy részében (a sejt-szintű változások nagy részét a szervezet immunrendszere kijavítja) egészségügyi hatásokat eredményezhetnek. A sugárzások keltette egészségügyi hatásokat nevezzük sugárártalomnak. A sugárártalom többféle formában jelentkezhet, ezeket tekintjük át a következő fejezetekben.

A2.1 Determinisztikus (korai) hatások

Vannak olyan hatások, amelyek nagy dózisoknál, és jellemzően a besugárzás után rövid idővel (jellemzően néhány órával, vagy nappal) jelentkeznek. Ezek a károsodások csak egy meghatározott dózis, az úgynevezett küszöbdózis felett észlelhetők. A „determinisztikus” (meghatározott) kifejezés arra utal, hogy a rendellenesség a küszöbdózis felett mindenképpen fellép, a dózis növelésével az elváltozás súlyossága nő (lásd a következő ábrát).



A küszöbdózis értéke tünetenként eltérő, értéke széles tartományban (nagyságrendben 100 mGy és 10 Gy között) változik.

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

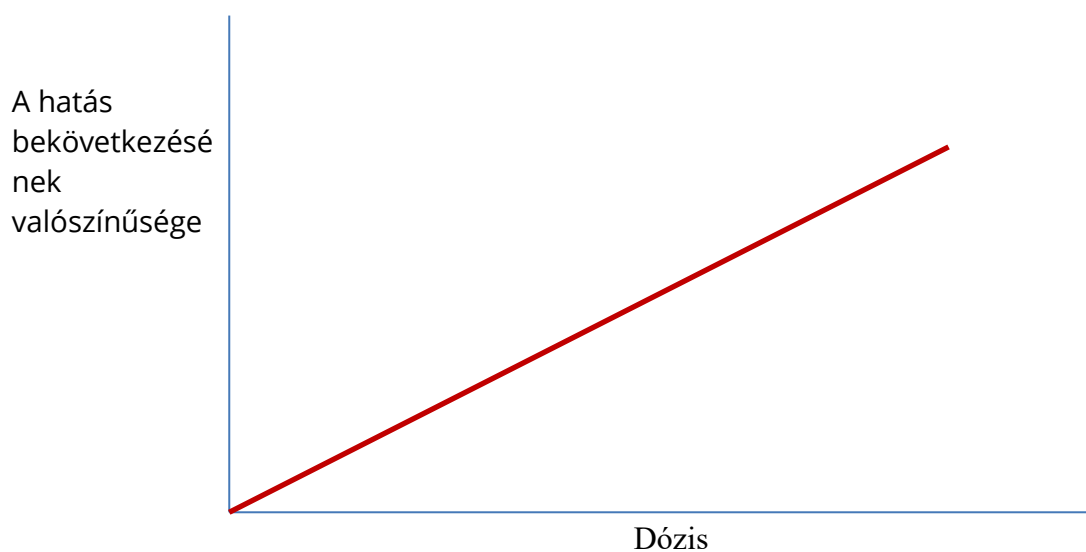
Mivel a determinisztikus hatások általában rövid időn belül jelentkeznek, a besugárzás és a következmények közötti összefüggés nagy bizonyossággal állapítható meg.

Jellegzetes determinisztikus hatás a bőr pirosodása, majd – a dózis nagyságától függően – hólyagosodása és fekély képződése. A bőrön látható elváltozások az égési sérülésekre emlékeztetnek.

Az egész testet ért nagy dózisu besugárzás esetén először (kezdeti állapotban) hányinger, hányás, levertség, súlyos esetben hasmenés, láz jelenik meg. Ezt követi általában egy átmeneti tünetmentes időszak, majd a kritikus szakasz: a csontvelő, a vékonybél és az idegrendszer károsodásával. Az eredményes kezeléseket követi a lábadozás.

A2.2 Sztochasztikus (késői) hatások

Statisztikai alapon megfigyelték, hogy a kis dózisoknak is lehetnek káros hatásai. Ezek a hatások évekkal (jellemzően 5-15 évvel) a besugárzás után jelentkeznek. Bekövetkezésük nem bizonyos, a dózis növekedésével csak a bekövetkezés gyakorisága (valószínűsége) növekszik. Erre utal a „sztochasztikus” kifejezés: valószínűségi alapon megközelíthető. Mivel a nagyon kis dózisoknál sem a nagyon kis hatásokat, sem azok hiányát nem lehet statisztikailag kimutatni, ezért – elővigyázatosságból – a sugárvédelmi szabályozásban azt tételezzük fel, hogy a sztochasztikus hatásoknál nincs küszöbdózis, azaz a természetes háttér feletti legkisebb dózisznövekmény is járhat nagyon kis – a dózisznövekménnyel arányos – kockázatnövekedéssel (lásd a következő ábrát).



Tekintettel arra, hogy a besugárzás és a tünetek megjelenése között hosszú idő telik el, továbbá a következmény amúgy is fellépő károsodások/elváltozások gyakoriságának a növekedése, a sztochasztikus hatások csak statisztikusan követhetők, azaz egy adott személy megbetegedése esetében nem mutatható ki, hogy az a sugárzás következtében lépett-e fel, a gyakoriság növekedésének igazolása csak személyek nagyobb csoportja esetén lehetséges (epidemiológia).

Tipikusan sztochasztikus hatás a daganatképződés.

A2.3 Örökletes (genetikai) hatások

Állatkísérletekben megfigyelhetők olyan esetek, amikor a sugárártalom nem a besugárzott egyedekben, hanem utódaikban jelenik meg. Azt azonban eddig semmilyen közvetlen megfigyelés nem igazolta, hogy az ionizáló sugárzás emberben örökletes ártalmat okozhat.

A3 A sugárvédelem alapelvei

Az ionizáló sugárzások elleni védekezés célja az, hogy a determinisztikus hatások fellépését mindenképpen elkerüljük, a sztochasztikus hatások előfordulását pedig az észszerűen elérhető legkisebb értéken tartjuk. E cél érdekében három alapelvet kell követni, ezek: az indokolás, az optimalálás és a korlátozás.

A3.1 Az indokolás

Bármilyen sugárhatással járó tevékenységet vezetünk be, annak indokoltnak kell lennie, azaz igazolnunk kell, hogy a tevékenység bevezetése – társadalmi, vagy egyénre vetített szinten – több haszonnal, mint kárral jár.

Gyakran találkozunk azzal a téves nézettel, hogy sugárhatással járó tevékenység nem alkalmazandó, ha az adott célra más eljárás is rendelkezésre áll. Más megoldások más jellegű káros következményekkel járhatnak. Az atomenergia alkalmazása akkor indokolt, ha egy más eljárással való összehasonlításban a kockázat-haszon arányt megvizsgálva az ionizáló sugárzást alkalmazó eljárást bizonyul ésszerűbb választásnak.

A3.2 Optimalálás

A sugárvédelem optimalálását azzal a céllal kell elvégezni, hogy a személyi dózisok nagysága, a sugárterhelés valószínűsége és a sugárterhelésnek kitett személyek száma az *ésszerűen elérhető* legkisebb legyen. Az, hogy mit jelent az ésszerűen elérhető optimum (legjobb megoldás), befolyásolják az aktuális műszaki ismeretek, a gazdasági és társadalmi tényezők, tehát egy adott

optimalás nem örökre érvényes, a technika fejlődésével, a gazdasági és társadalmi közeg változásával az optimalás esetenként felülvizsgálandó.

A3.3 Korlátozás

A nemzetközi sugárvédelmi szervezetek ajánlásai nyomán és az Európai Unió irányelveit követve Magyarországon is felállítottak olyan korlátokat, amelyek tervezetten semmilyen körülmények között nem léphetők túl. Ezek a korlátok alapvetően három csoportba oszthatók, ezek: az egyes tevékenységeket tiltó korlátok, a lakosság sugárterhelésének korlátai és a foglalkozásszerűen sugárzásnak kitett dolgozókra vonatkozó dóziskorlátok.

A3.3.1 Tiltások – alkalmazási feltételek

Etikai elveket követve nem szabad szándékosan radioaktív anyagot adni élelmiszerekhez, takarmányokhoz, játékokhoz és kozmetikumokhoz.

Tilos továbbá 16 évnél fiatalabbakat olyan feladatkörben foglalkoztatni, ahol sugárterhelésnek lennének kitéve. Nem dolgoztathatók sugárveszélyes munkakörben – az engedélyes tájékoztatását követően – várandós munkavállalók és csecsemőt szoptató munkavállalók.

A megfelelő életkorú leendő munkavállalók sugárveszélyes munkakörben foglalkoztatásra való alkalmasságáról előzetes foglalkozás-egészségügyi orvosi vizsgálat dönt. A vizsgálat részleteit az egészségügyért felelős miniszter rendelete írja elő.

Sugárveszélyes munkaterületen tilos élelmiszert fogyasztani. Tilos továbbá a mentességi szintet meghaladó aktivitású zárt sugárforrást kézbe venni.

A sugárveszélyes munkahelyeket, területeket a sugárveszélyre utaló nemzetközileg használt figyelmeztető jellel kell ellátni:



A3.3.2 Lakossági dóziskorlátok

A lakosságot a természetes sugárforrások mellett több mesterséges forrásból is éri sugárzás, ezért a lakossági sugárterhelés mértékét korlátozni kell.

A lakossági sugárterhelés jelentős hányada, Magyarországon (a külső és belső forrásokból összesen) mintegy évi 2-3 mSv effektív dózis ered a természetes forrásokból. A természetes sugárterhelésre nincs korlátozás.

Jegyzet alapkonzultív sugárvédelmi képzésekhez

Nem esik korlátozás alá a páciensek orvosi diagnosztikai és terápiás célú, ionizáló sugárzásoktól eredő terhelése sem, mert az orvosi eljárások során az átvilágítások vagy besugárzások célja egy nagyobb egészségkárosodás elkerülése, azaz az eljárás a páciens érdekét szolgálja. A fejlett országokban a mesterséges források közül az orvosi sugárterhelés adja a sugárterhelés legjelentősebb járulékát.

Az összes többi (tehát a nem természetes forrásból eredő és a nem orvosi célú) sugárterhelés éves korlátja 1 mSv effektív dózis. Láthatjuk, hogy ez a korlátozás igen szigorú, hiszen az energetikai, ipari és mezőgazdasági tevékenységek összegeként annyi sugárterhelés érheti a lakosságot, mint a természetes terhelés fele-harmada.

A lakossági sugárterhelés részét képezik a szórt (a levegőből, a körülöttünk lévő tárgyakból szóródó) sugárzások. Ha a közelünkben röntgen- vagy izotópos vizsgálatot folytatnak (kórházban fekszünk, vagy a szomszédunkban fogorvos lakik, vagy az utcánkban sugárzást kibocsátó mobil berendezéssel végeznek valamilyen vizsgálatot), úgy az abból származó dózist is figyelembe kell vennünk a lakossági dózisterhelés számításakor.

A3.3.3 Foglalkozási dóziskorlátok

Többféle dóziskorlát vonatkozik azokra a személyekre, akiket munkavállalóként, gyakornokként vagy tanulóként munkavégzésük során sugárterhelés ér.

A sugárterhelésnek kitett felnőtt dolgozók effektív dózisének korlátja évi 20 mSv. Indokolt körülmények között az Országos Atomenergia Hivatal egy-egy évre ennél nagyobb, de legfeljebb 50 mSv dózist is engedélyezhet, ha bármely egymást követő öt évben – azokat az éveket is ideértve, amikor a korlátot meghaladták – az éves átlagos dózis nem haladja meg a 20 mSv értéket.

Szigorúbb korlát – 6 mSv/év – alkalmazandó a 16 évesnél idősebb, de 18 évesnél fiatalabb tanulókra és gyakornokokra.

Sajnos a legnagyobb gondosság mellett is előfordulhat, hogy valamely munkahelyen váratlan üzemzavar, súlyosabb esetben baleset következik be, amelynek elhárítása, vagy bekövetkezése esetén a következmények csökkentése olyan intézkedéseket kíván meg, amelyek az elhárításban résztvevők nagyobb sugárterhelésével járnak. Az elhárítást minden esetben úgy kell megtervezni, hogy senkinek az effektív dózisa ne haladja meg az 500 mSv értéket, a teljes veszélyhelyzetkezelési időszakra. Ha az elhárítás során 100 mSv-nél nagyobb effektív dózis várható, az elhárítási feladat csak önkéntességi alapon végeztethető el.

A fenti dóziskorlátok minden esetben a külső és belső forrásoktól eredő dózisek összegére vonatkoznak.

A4 A védekezés alapvető módszerei

A munkahelyi védelem egyik alapelve, hogy az engedélyes alkalmazásában nem álló, de az engedélyes által felügyelt sugárveszélyes munkát külső munkavállalóként végző, s ebből kifolyólag foglalkozási sugárterhelésnek kitett dolgozókat ugyanolyan védelem illeti meg, mint az engedélyes saját munkavállalóit.

Mind a külső, mind a belső sugárzások elleni védelemmel kapcsolatban ki kell emelni, hogy a kockázat csökkentésére előírt védőeszközök (például árnyékolóelemek, egyéni védőeszközök) alkalmazásáról a munkavállaló semmiképpen nem mondhat le, azokat az előírások szerint köteles alkalmazni.

A4.1 Védekezés külső sugárzások ellen

A radioaktív forrást nem tartalmazó berendezések (például röntgenforrások) alkalmazásakor bármilyen rendellenesség esetén az első teendő a berendezés leállítása, azaz kikapcsolása. Röntgenkészülékek esetén a kikapcsolás a sugárzás azonnali megszűnését jelenti, nincs semmiféle visszamaradó (remanens) sugárzás).

A radioaktív forrásokat tartalmazó eszközök, berendezések esetében a külső sugárterhelés szempontjából fontos kérdés a sugárforrás zártsága. Zártnak nevezük a sugárforrást, ha a radioaktív anyag zárt tokozásban, vagy olyan kötött szilárd formában van, hogy szabályos használat esetén radioaktív anyag nem kerülhet a környezetbe, azaz a zárt forrás közelében tartózkodó személyt csak külső sugárterhelés érheti.

A külső forrásból eredő sugárterhelés csökkentésének három alapvető módját ismerjük. Az első a távolságvédelem: minél távolabb helyezkedünk el a sugárforrástól, annál kisebb lesz a sugárzás intenzitása. Ha a sugárforrás kis méretű (a besugárzási tér egyéb méreteihez és az emberi testhez képest pontszerűnek tekinthető), valamint a forrás környezetének a sugárgyengítése elhanyagolható (például a forrás és a besugárzott anyag közötti teret levegő tölti ki), akkor az intenzitás a távolság négyzetével arányosan csökken, azaz például a forrástól mért távolságot megkétszerezve a sugárzás intenzitása a negyedrésszére, megháromszorozva kilencedrésszére csökken.

A sugárterhelés csökkentésének második módja a sugárzási térben való tartózkodás idejének csökkentése (idővédelem). Minél rövidebb ideig tart a

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

besugárzás, annál kisebb lesz a testünkben elnyelt dózis. Ezért fontos a viszonylag nagyobb besugárzásokkal járó munkák gondos megtervezése, szükség esetén előzetes, nem radioaktív anyagokkal történő begyakorlása.

A külső sugárterhelés csökkentésének harmadik módja a védőrétegek alkalmazása, azaz olyan anyagok beiktatása a forrás és az emberi szervezet közé, amelyek a sugárzás jelentős hányadát elnyelik.

Mint azt az 1.4 fejezetben már írtuk, az alfa-sugárzásnak rendkívül kicsi a hatótávolsága, akár néhány centiméternyi levegőrétegben elnyelődik, ezért az emberi testen kívül elhelyezkedő alfa-sugárforrások elleni védelemmel általában nem kell foglalkozni.

A béta-sugárzás hatótávolsága már valamivel nagyobb, elnyeléséhez néhány milliméternyi műanyag vagy üvegréteg elegendő. Mivel a béta-sugarak a testszövetekbe is legfeljebb néhány mm mélységben hatolnak be, károsító hatásukkal főként a testfelszínen (bőrréteg, szemlencse) kell számolni. Béta-sugárzás elleni védelem céljára többféle anyag alkalmas: üveg, műanyagok, fémek. Figyelembe kell venni, hogy az elektronok fékeződésekor főleg a nehéz fémekben röntgensugárzás keletkezik, ennek csökkentésére a béta-sugarak elnyelésére kis rendszámú fémeket, például alumíniumot szoktak alkalmazni.

A röntgen- és gamma-sugarak áthatolóképessége jóval nagyobb, mint az alfa- és béta-sugaraké. Gyengítésükre elsősorban nagy rendszámú elemeket, a gyakorlatban a legtöbbször ólmot, vagy ólomtartalmú anyagokat (például ólomgumi) alkalmaznak. Nagy méretű besugárzóterek esetében a hagyományoshoz közeli építőanyagok felhasználásával kellő vastagságú tömör téglá, nehézbeton falakat építenek.

Fontos, hogy a sugárveszélyes munkák végzése közben a munkavállalók mindig használják az előírt munkavédelmi eszközöket (például: ólomgumiköpenyek, kesztyűk, pajzsok, paravánok).

Külön kiemelandő a sugárzásra fokozottan érzékeny szemlencse védelme: a szem sugárterhelésének csökkentésére a leghatásosabban ólomüveg védőszemüveget használhatunk.

A külső sugárzás elleni hatékony védelemben a fenti három megoldás (távolság növelése, a tartózkodási idő csökkentése és a védőrétegek alkalmazása) együttesen alkalmazható.

A4.2 Védekezés belső sugárzások ellen

Az emberi szervezetbe sugárforrás kerülhet be orvosi diagnosztikai és gyógyító (terápiás) eljárások során, a páciensek esetében ezek ellen

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

természetesen nem kell védekezni, a helyes adagok megválasztása a beutaló és a kezelő orvosok feladata.

A sugárveszélyes tevékenységek során a nyitott sugárforrásokból radioaktív izotópok kerülhetnek az emberi szervezetbe, elsősorban belégzés, kisebb részben lenyelés által, vagy a bőrön keresztül (főként a bőrfelületen lévő esetleges sebeken keresztül). Fizikai formájukat tekintve a nyitott készítmények legtöbbször radioaktív folyadékok.

Mivel a már a szervezetbe bekerült, majd a sejtekbe beépült radioaktív anyagok eltávolítására kevés lehetőség van, a védekezés elsősorban a bejutás megakadályozására irányul.

Zárt sugárforrások esetén nagyon fontos a zártság ellenőrzése: az ellenőrzésre tervezetten, előírt időközönként, illetve a zártság sérülésének gyanúja esetén haladéktalanul kell sort keríteni.

A nyitott sugárforrásokkal végzett műveletek során mindig fellép valamennyi radioaktív szennyeződés, ennek a környezeti terjedését meg kell akadályozni. Radioaktív hulladékok is keletkeznek, amelyek megfelelő kezeléséről, összegyűjtéséről és ártalmatlanításáról gondoskodni kell.

A nyitott radioizotópos munkákkal kapcsolatos sugárvédelem csak különlegesen kialakított, speciális felszereltségű, és megfelelő egyéni védőeszközökkel rendelkező izotóplaboratóriumokban, az adott helyre kialakított munkarend szigorú betartásával oldható meg.

A4.3 Teendők veszélyhelyzet, baleset esetén

A környezetet érintő veszélyhelyzetek, balesetek esetében a lakosság védelmére Magyarországon megfelelően kiépített balesetelhárítási rendszer működik. Ennek az ismertetésére itt nem térünk ki. A jelen fejezet célja az, hogy ismertessük, milyen elhárítási lehetőségek vannak, illetve milyen feladatok adódnak a munkahelyeken kialakuló veszélyhelyzetek, balesetek bekövetkeztekor.

A4.3.1 Külső sugárterheléssel járó balesetben érintettek kezelése

Nem tervezett jelentős külső sugárterhelés esetén a legfontosabb feladat a forrás megszüntetése. Radioaktív forrást nem tartalmazó, ionizáló sugárzást létrehozó berendezések (legtöbb esetben röntgenkészülékek) esetében a berendezés kikapcsolása a sugárzás azonnali megszűnését eredményezi. Ha a sugárzást kibocsátó berendezésben radioaktív forrás található, akkor a legsürgősebb feladat az érintett terület elkerítése, és a forrás visszajuttatása a megfelelő tartóba.

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

Ha a munkavállaló, akinél fennáll a valószínűsége, hogy a veszélyhelyzetben jelentős nem tervezett sugárterhelést kapott, személyi dozimétert viselt, akkor a dózismérőt haladéktalanul ki kell értékelteni. Ha a munkavállaló nem viselt személyi dozimétert, akkor a tőle vett vérminta analízisével lehet a dózist becsülni.

A4.3.2 Nyitott radioaktív anyaggal végzett munka közben bekövetkező balesetben érintettek kezelése

Ha a veszélyhelyzet nyitott radioaktív izotóppal végzett munka során alakult ki, fennáll a lehetősége, hogy radioaktív anyaggal szennyeződik a munkavállaló ruházata, illetve testfelülete; valamint, hogy belégzéssel, lenyeléssel, vagy a bőrön át radioaktív anyag került a szervezetbe, aminek következményeként belső sugárterhelés lép fel.

Felületi szennyezettség kialakulása esetén a legsürgősebb teendő a szennyezett ruházat eltávolítása, a szőrzetek eltávolítása, majd alapos zuhanyozás.

A test belső szerveibe bekerült (gyakran használt idegen szóval: inkorporálódott) radioaktív anyag(ok) fajtájának és mennyiségének az utólagos becslése mérésekkel és számításokkal végezhető el. Ha jelentős inkorporáció történt, a felszívódás csökkentésével és a kiürítés fokozásával (például vizelethajtással) lehet a radioaktív anyagok minél gyorsabb kiürítését elősegíteni.

A5 A dózisok mérése

Az emberi érzékszervek semmilyen formában nem képesek az ionizáló sugárzások érzékelésére, az ionizáló sugarak jelenlétét nem látjuk, nem halljuk, nem tapinthatjuk. Ezért ezen sugárzások észlelésére, mennyiségük mérésére különféle detektorokat (érezkelőket) fejlesztettek ki. A detektorok működési elvük, a használatukhoz szükséges feltételek (például elektromos hálózat jelenléte), és pontosságuk tekintetében igen sokfélék lehetnek. A továbbiakban csak a két legfontosabb típust ismertetjük.

A5.1 Gázionizációs detektorok

A környező térben megjelenő sugárzás mérésére szolgáló eszközök egyik legjobban elterjedt csoportját a gázionizációs kamrák alkotják. Ezekben egy megfelelő gázzal töltött tér (leginkább cső alakú detektorokat használnak) két pontjára (két elektródjára) viszonylag nagy (kb. 100-1000 V) egyenfeszültséget kapcsolnak. A sugárzás hatására létrejövő ionpárokból a pozitív ionok a negatív elektród, a negatív ionok (elektronok) a pozitív

elektród felé áramlanak, azaz a két elektród között elektromos áram indul meg.

A gázionizációs detektorok egyik legrégebbi és ma is legelterjedtebb típusa az elsősorban a röntgen- és gamma-sugárzástól eredő dózisteljesítmény meghatározására használatos Geiger-Müller számláló (GM-cső), ami nagy feszültségen (500-1000 V) működik, lényegében minden ionizáló részecskét érzékel/detektál. A GM-cső hátránya, hogy működtetéséhez nagy feszültség előállítására van szükség, ezért az eszköz viszonylag nagy méretű, például személyi doziméterként (azaz az ellenőrizni kívánt személyek általi viselésre) általában nem alkalmas.

A5.2 Termolumineszcens doziméterek

A sugárveszélyes munkahelyen dolgozók dózisének ellenőrzésekor használatos dozimétereknek feltétlenül könnyen hordozhatónak, azaz kicsinek és könnyűnek kell lenniük. Jelenleg hazánkban (a korábban használatos filmdoziméterek kiváltása óta) a hatósági röntgen- és gamma-dozimetria céljára termolumineszcens dozimétereket (TLD) használnak. Vannak olyan anyagok (például: lítium-fluorid, vagy kalcium-szulfát kristályok, de tartalmaznak ilyen anyagokat például a kerámiák, a háztető-cserepek, vagy akár az emberi fogzománcok is), amelyekben a besugárzás hatására olyan elektronszerkezeti változások állnak elő, amelyek következtében a besugárzott anyag később kifűtve (nagy hőmérsékletre hevítve) fényt bocsát ki. A detektort ért dózis és a kibocsátott fény mennyisége között széles energiatartományban egyenes arányosság áll fenn, ezért a kibocsátott fény mennyiségéből számítható a dózis.

A hatósági dózismérőkben alkalmazott termolumineszcens anyagok kis (néhány milliméter átmérőjű és vastagságú) tabletták formájában kerülnek a dózismérő kazettákba. A doziméter kiolvasásakor (kifűtésakor) az addig tárolt információ törlésre kerül (az elektronszerkezeti változások megszűnnek), azaz a detektorok újra felhasználhatóvá válnak.

A5.3 Hatósági személyi dozimetria

A *Sugárvédelmi rendelet* (lásd 7.1.1 fejezet) szerint Magyarországon a röntgen-, gamma-, béta- vagy neutron-sugárzásból származó külső személyi sugárterhelés ellenőrzésére alkalmazott személyi dózismérőknek a mérésügről szóló törvény szerinti hitelesítéssel kell rendelkezniük.

Hazánkban jelenleg a sugárveszélyes munkahelyen dolgozók röntgen- és gamma-dózisainak hatósági mérését az Országos Atomenergia Hivatal megbízásából az országos tisztifőorvos Országos Személyi Dozimetriai

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

Szolgálatát által biztosított doziméterekkel mérik. Ugyanez a szolgáltató végzi a doziméterek kiértékelését.

A hatósági dozimétereket csak az adott munkahelyen, csak sugárveszélyes munka végzése közben, mindig a mellkason, szív tájékán és az esetleges sugárvédelmi egyéni védőeszköz (például: ólomgumiköpeny) alatt kell viselni. A hatósági dozimétereket a munkaidő végeztével a munkahelyen kell tárolni, a sugárforrásoktól távol, olyan helyen, ahol csak a természetes háttérsugárzás érheti.

A hatósági doziméterek kiosztására és kiértékelésére (cseréjére) kéthavonta kerül sor, kivéve, ha az adott munkahely Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzatában más időintervallumot határoznak meg.

Valamennyi kiértékelt dozimetriai adat (tehát a hatósági doziméterrel mért külső röntgen- és gamma-dózisok, a más módszerekkel mért neutron- és béta-dózisok, valamint a belső sugárterhelés meghatározott adatai) nyilvántartása az Országos Személyi Dozimetriai Nyilvántartás feladata.

A rögzített adatokat az Országos Személyi Dozimetriai Nyilvántartás rendszeresen megküldi a munkáltató részére. A munkavállaló a rá vonatkozó adatokat saját kérésére bármikor megtekintheti.

Veszélyhelyzet esetén az engedélyes köteles haladéktalanul közölni a személyi dozimetriai eredményeket az érintett személlyel és az Országos Személyi Dozimetriai Nyilvántartással, külső munkavállalók esetén a munkáltatóval is.

A6 Fizikai védelem, védettség

Sajnos manapság világszerte egyre gyakoribbak a terrorista cselekmények, és a szándékos károkozás egyik lehetséges módja a környezet, illetve az emberi szervezetek radioaktív anyagokkal történő szennyezése (például úgynevezett „piszkos bomba” felrobbantásával). Mindez azt jelenti, hogy a radioaktív anyagokat védeni kell a jogtalan hozzáférés, eltulajdonítás ellen. Ha úgy tetszik, nem csak az embereket kell védeni az ionizáló sugárzásoktól (ami a hagyományos sugárvédelem feladata), hanem a források védettségét is meg kell oldani.

A radioaktív anyagok jogtalan eltulajdonításának és a sugárveszélyes anyagok felhasználásával tervezett szabotázsakciók elhárítására irányuló intézkedések rendszerét nevezzük fizikai védelemnek.

A fizikai védelem jogi alapját a 190/2011. Korm. rendelet adja.

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

A kormányrendelet szerint a fizikai védelmi rendszernek biztosítania kell az elrettentés, a detektálás, a késleltetés és az elhárítás fizikai védelmi funkciók hatékony együttműködését.

Az *elrettentés* célja az, hogy a jogtalan eltulajdonítást, vagy szabotázsakciót tervező személy, vagy személyek feladják tervüket. Ennek érdekében például figyelmeztető táblák, hang- és fényjelzések, jól látható mesterséges akadályok helyezhetők el.

A *detektálás* (észlelés) a fizikai védelemben az elkövetendő akció és az elkövetés helyének azonosítását, valamint az ennek megfelelő riasztás végrehajtását jelenti. A detektálást segítheti például egy megfelelően telepített video megfigyelő- és kiértékelőrendszer.

A *késleltetés* célja az elhárítandó cselekedetek végrehajtásának lassítása annak biztosítására, hogy az elhárítóerők kellő időben megérkezessenek a helyszínre. A késleltetést szolgálhatják például mechanikai gátak és akadályok.

Maga az *elhárítás* az elkövetők feltartóztatását és semlegesítését jelenti. Az elhárításban helyszíni őrszemélyzet, fegyveres biztonsági őrség, a rendőrség, vagy a kivonuló szolgálat vehet részt.

A fizikai védelemhez szükséges emberi erőforrások és eszközök tervezéséhez a fizikai védelmi kormányrendelet a védelem négy szintjét határozza meg.

A fizikai védelmi rendszerek kialakításának, üzemeltetésének, valamint módosításának hatósági engedélyezését az Országos Atomenergia Hivatal látja el.

A7 A sugárvédelem jogi, hatósági és munkahelyi rendszere

A7.1 Jogsabályok

Magyarországon az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos általános elveket az 1996. évi CXVI. törvény, az úgynevezett Atomtörvény írja le, ami meghatározza a sugárvédelem elvei közül az indokoltság követelményét is.

A7.1.1 A Sugárvédelmi rendelet

A sugárvédelem általános követelményeinek megfogalmazása a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendeletben, az úgynevezett Sugárvédelmi rendeletben található meg. A kormányrendeletben megfogalmazott szabályozás mind a sugárveszélyes munkahelyen dolgozókra, mind a lakosság egyedeire érvényes.

A rendelet hatálya nem terjed ki a természetes forrásból eredő sugárterhelésre, a repülés során a lakosság tagjait érő kozmikus sugárzásra

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

és a bolygatlan földkéregből eredő, földfelszínen jelentkező külső sugárterhelésre.

Tekintettel arra, hogy a bennünket körülvevő környezetben szinte minden anyag, sőt, saját testünk szervei, szövetei is tartalmaznak kis mennyiségben radioaktív elemeket, ezért nagyon fontos, hogy meghúzzuk a határt: mely aktivitások, illetve aktivitáskoncentrációk felett tekinthető egy anyag radioaktívnak, azaz mekkora aktivitás-, illetve aktivitáskoncentráció-értékek alatt *mentesek* az anyagok a jogszabályi előírások alól. A kormányrendelet 1. melléklete közel 300 radioaktív nuklidra (izotópra) adja meg a mentességi aktivitás- és aktivitáskoncentráció-értékeket.

A Sugárvédelmi rendelet fogalmazza meg a különböző veszélyességű munkahelyeket rangsoroló sugárvédelmi kategóriákat. Az első kategóriába a kiemelt létesítmények (nukleáris létesítmények, uránbányák, a radioaktív hulladék-tárolók és az A-szintű izotóplaboratóriumok) üzemeltetése tartozik. Az ez utáni kategóriákat a legnagyobb veszélyességi szinttől a legkisebb felé haladva I., II. és III. kategóriának nevezi.

A sugárterhelésnek kitett munkavállalókat két kategóriába soroljuk: azok, akiknek a sugárterhelése meghaladhatja az évi 6 mSv effektív dózist, az „A” kategóriába kerülnek. A „B” kategóriába kerül az összes többi munkavállaló. (Az „A” kategóriába sorolásnál nagyon fontos a „meghaladhatja” szóban a feltételes mód használata, hiszen a kategorizálást előre kell elvégezni, az éves tényleges dózisos meghatározását pedig csak a kiértékelések után lehet elvégezni.) Az „A” kategóriába sorolt munkavállalók kötelesek a munkáltatótól független dozimetriai szolgáltató által biztosított hatósági dózismérőt viselni. A „B” kategóriába sorolt munkavállalók akkor kötelesek hatósági dózismérőt viselni, ha azt a Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzat (lásd: 7.3.2 fejezet) előírja.

A7.1.2 További jogszabályok

Mint a 6. fejezetben már leírtuk, a fizikai védelemről külön kormányrendelet jelent meg.

Az orvosi vizsgálaton vagy kezelésen, egészségügyi alkalmassági vizsgálaton, egészségügyi szűrővizsgálaton megjelent személyek; valamint az orvosi vagy orvosbiológiai kutatási programban, vagy igazságügyi orvosszakértői vizsgálaton részt vevők sugárvédelmi kérdéseiről az Emberi Erőforrások Minisztériumát vezető miniszter adta ki a 21/2018. EMMI-rendeletet. Ugyanez a miniszteri rendelet foglalkozik a páciensek besugárzásakor, illetve a besugárzásokat követően részt vevő gondozók és segítők védelméről.

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

A sugárveszélyes munkakörben foglalkoztatás feltételeként előírt orvosi vizsgálatok elvégzéséről a munkaköri, szakmai, illetve személyi higiénés alkalmasság orvosi vizsgálatáról és véleményezéséről szóló 33/1998. (VI. 24.) NM-rendelet rendelkezik.

A veszélyes áruk – és ezen belül a sugárveszélyes áruk – közúti, vasúti, belvízi, tengeri és légi szállításáról számos nemzetközi egyezmény született. Ezeket – és módosításait – Magyarországon törvénnyel, illetve kormányrendelettel hirdetik ki.

A7.2 Hatósági engedélyezés és ellenőrzés

A Sugárvédelmi rendelet az Országos Atomenergia Hivatalt jelöli ki a sugárvédelemmel kapcsolatos legtöbb hatósági feladat ellátására. Így – többek közt – az Országos Atomenergia Hivatal feladata a radioaktív anyagok alkalmazásának és forgalmazásának, valamint az ionizáló sugárzást létrehozó berendezések üzemeltetésének engedélyezése. A munkavállalók és a lakosság sugárvédelme érdekében az Országos Atomenergia Hivatal rendszeres ellenőrzéseket végez.

A jogszabályi előírások és a hatósági kötelezettségek betartása érdekében az Országos Atomenergia Hivatal szükség esetén érvényesítési eljárást indít.

A7.3 Munkahelyi előírások

A sugárvédelemmel kapcsolatos jogszabályok megadják az ionizáló sugárzások elleni védekezés legfontosabb elveit, általánosságban betartandó szabályait. Ezen általános érvényű előírások mellett minden munkahelyen léteznek az adott helyre vonatkozó, az ott végzett speciális munkafolyamatokra érvényes szabályok. Ezeket a szabályokat helyi előírások foglalják össze, betartásukról a helyi vezetők és munkavállalók gondoskodnak.

A7.3.1 A sugárvédelmi megbízott

A Sugárvédelmi rendelet írja elő, hogy minden engedélyesnél kell lennie a sugárvédelmi feladatok ellátásával és a hatósági kapcsolattartással írásban megbízott személynek, úgynevezett sugárvédelmi megbízottnak. A sugárvédelmi megbízott közvetlenül az engedélyes sugárvédelmi követelmények végrehajtásáért felelős vezetőjének van alárendelve. Azoknál a szervezeteknél, ahol a szervezeten belül különböző típusú sugárveszélyes munkahelyek léteznek, a sugárvédelmi megbízottak feladatainak összehangolására sugárvédelmi szolgálat hozható létre.

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

A sugárvédelmi megbízottak feladatait részletesen (több mint 20 pontban) ismerteti a Sugárvédelmi rendelet. Itt csak néhányat emelünk ki: a sugárvédelmi megbízott

- a) biztosítja a munka előírások és szabályok betartásával történő végzését;
- b) ismerteti meg az új munkavállalókkal az adott tevékenységre vonatkozó speciális sugárvédelmi szabályokat és eljárásokat;
- c) megszervezi a sugárveszélyes munkahelyen dolgozók oktatását (lásd 7.4 fejezet), munkaköri alkalmassági orvosi vizsgálatát, személyi sugárterhelési ellenőrzését;
- d) ellenőrzi a munkaterület esetleges radioaktív szennyeződését, és szükség esetén irányítja a szennyezettségmentesítést;
- e) gondoskodik a sugárvédelmi célokat szolgáló készülékek és eszközök folyamatos karbantartásáról és rendszeres hitelesítettetéséről.

A7.3.2 Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzat

Minden munkahelyre el kell készíteni az adott körülményekre vonatkozó Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzatot (MSSZ). A Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzat tartalmazza a munkavállalók sugárvédelemmel kapcsolatos jogait és kötelességeit. Ez a dokumentum határozza meg továbbá a sugárvédelem szervezeti rendszerét; a munkavállalókra, a sugárveszélyes munkahely felügyeletére és a munkavégzésre vonatkozó előírásokat; a nyilvántartások és a rendkívüli események kezelésének rendjét; és tartalmazza az illetékes személyek és szervezetek elérhetőségi adatait.

A Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzatot az engedélyesnek már a belépéskor meg kell ismertetnie a munkavállalókkal, és annak tartalmát rendszeres oktatás keretében ismételtén át kell tekinteni. A szabályzat megismertetésekor kiemelt figyelmet kell fordítani az adott munkahelyre vonatkozó speciális sugárvédelmi ismeretek elsajátítására. A megismerés megtörténtét a munkavállalónak aláírásával tanúsítania kell, és a sugárvédelmi megbízottnak az aláírólapot naprakészen nyilván kell tartania.

A7.3.3 A munkavállalók kötelezettségei

A Sugárvédelmi rendelet előírása szerint az ionizáló sugárzás elleni védelem érdekében felügyelet alatt álló területeken munkát végző munkavállalók (beleértve a külső munkavállalókat) kötelesek:

- a) ismerni a Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzatot, és betartani az abban foglaltakat;
- b) előírászerűen használni a védőeszközöket és a személyi dózismérőket;

Jegyzet alapkonzató sugárvédelmi képzésekhez

- c) együttműködően részt venni a belső sugárterhelés meghatározását célzó vizsgálatokon (ha és amennyiben szükségesek),
- d) a sugárvédelemmel összefüggő, sugárvédelmi intézkedést kívánó eseményeket – észlelésük esetén – azonnal jelenteni a sugárvédelmi megbízottnak (vagy a sugárvédelmi szervezetnek, szolgálatnak).

A7.4 Sugárvédelmi képzés, továbbképzés

A Sugárvédelmi rendelet előírása szerint Magyarországon az atomenergia alkalmazási körébe tartozó tevékenységet csak megfelelő fokozatú sugárvédelmi képzettséggel rendelkező személy végezhet. Legalább alapkonzató képzettséggel kell rendelkezniük mindazoknak, akik

- a) radioaktív sugárforrással nem dolgoznak, de munkaköri kötelességük teljesítése közben tervezett sugárterhelésnek lehetnek kitéve (például sugárveszélyes munkahelyen takarítanak, festenek, karbantartó munkát végeznek);
- b) III. sugárvédelmi kategóriába sorolt tevékenység során sugárforrással dolgoznak, vagy ilyen tevékenységet irányítanak, felügyelnek (figyelem: az orvosi sugárterhelést vagy nem orvosi képalkotással járó besugárzást eredményező tevékenységeket végzőknek legalább *bővített fokozatú* képzettséggel kell rendelkezniük);
- c) radioaktív anyagok telephelyen kívüli szállítására vonatkozó előírások alapján képzésre kötelezettek;
- d) veszélyhelyzeti munkavállalók.

Az alapkonzató képzettség a megfelelő képzésen való részvétellel és eredményes vizsga letételével igazolható. A képzettségi igazolás a vizsga letételétől számított 5 évig érvényes. A képzettség újabb sugárvédelmi képzésen, vagy továbbképzésen való részvétellel és eredményes vizsgával újítható meg.

Eredménytelen vizsga esetén a vizsgázó 30 napon belül újabb képzésen, illetve továbbképzésen való részvétel nélkül pótvizsgát tehet.

Tekintettel arra, hogy a képzések nem folyamatosan indulnak, a rendelet megengedi, hogy a sugárvédelmi képzettséggel nem rendelkező, vagy lejárt képzettségi igazolással rendelkező munkavállalók érvényes sugárvédelmi képzettséggel rendelkező munkavállaló felügyelete mellett, legfeljebb egy évig sugárveszélyes tevékenységet folytassanak.

A sugárvédelmi képzések és vizsgáztatások költségei az engedélyest, külső munkavállalók esetében a munkáltatót terhelik.

Fontos kiemelni, hogy a sugárvédelmi képzések és továbbképzések az általános sugárvédelmi ismeretek és az adott szakiránynak megfelelő átfogó ismeretek oktatására szorítkoznak, az adott munkahelyre vonatkozó speciális ismeretek oktatása a sugárvédelmi megbízott feladata.

A8 Irodalom

Olyan szakirodalom, amely az egész sugárvédelem mai megalapozását és rendszerét naprakészen ismerteti, jelenleg magyar nyelven nem érhető el.

A korábban megjelent könyvek: a Fehér István szerkesztette „Alapképzésű sugárvédelmi ismeretek” [A1], a Köteles György által szerkesztett „Sugáregészségtan” [A2] valamint a Fehér István és Deme Sándor szerkesztette „Sugárvédelem” [A3] mindegyike az Európai Unió legújabb sugárvédelmi irányelveinek [A4] és az ezeken alapuló hatályos magyar jogszabályoknak a megjelenése előtt készült. Így ezek a könyvek – bár természetesen zömében helyes ismereteket tartalmaznak – számos ponton nem felelnek meg a mai követelményeknek, az ezekre alapozott felkészülés téves helyzetértékelésekhez vezethet.

Az atomenergia felhasználásával kapcsolatos általános elveket az *1996. évi CXVI. törvény* [A5] (Atomtörvény) tartalmazza.

A sugárvédelem alapvető szabályait a *487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről* [A6] ismerteti.

A fizikai alapelvek (1. fejezet) esetében a legkönnyebb a helyzet, lényegében *bármelyik középiskolai fizikakönyv* megfelel, de az atomfizikai alapokhoz a fenti *három sugárvédelmi könyv* [A1,A2,A3] bármelyike is korrekt információkat ad. A dózismennyiségek definícióját (1.7 fejezet) azonban semmiképpen nem szabad a három sugárvédelem könyvből átvenni, a ma érvényes pontos meghatározásokat a Sugárvédelmi rendelet [A6] tartalmazza.

A sugárbiológiai hatásokról (2. fejezet) jó összefoglalást ad a Köteles György szerkesztette *Sugáregészségtan c. könyv*, a legújabb fejleményekről az UNSCEAR (United States Scientific Committee on Atomic Radiations) szervezet rendszeresen frissülő – de csak angol nyelven elérhető – jelentéseiből értesülhetnek az érdeklődők [A9].

A sugárvédelem alapelvei (3. fejezet) közül az indokolás alapelve megjelenik már az Atomtörvényben [A5], az optimalálás és a korlátozás részletes szabályait pedig a Sugárvédelmi rendelet [A6] tartalmazza.

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

A védekezés módszereit (4. fejezet) kellő mélységben ismertetik a Fehér István által szerkesztett [A1], valamint a Fehér István és Deme Sándor szerkesztésében megjelent [A3] könyvek.

A dózisok méréséhez (5. fejezet) a Fehér István és Deme Sándor által szerkesztett könyv ajánlható [A3].

A fizikai védelem és a védettség (6. fejezet) részletesebb megismeréséhez a 190/2011. Korm.rendelet [A10] tanulmányozása ajánlható.

A sugárvédelem jogi szabályozásával és a hatósági engedélyezéssel kapcsolatos előírásokat, valamint a munkahelyi előírásokkal és a sugárvédelmi oktatással kapcsolatos követelményeket (7. fejezet) az Atomtörvény, a Sugárvédelmi rendelet és a 33/1998. NM-rendelet [A5, A6, A8] tartalmazzák. Az orvosi vizsgálatok során a nem munkaköri kötelezettségük keretében sugárveszélynek kitett személyek sugárvédelmével a 21/2018. EMMI-rendelet [A7] foglalkozik.

Általánosságban hívjuk fel a részletek iránt érdeklődők figyelmét az Országos Atomenergia Hivatal útmutatóira, amelyek a hivatal honlapján található [A11].

Tételes irodalomjegyzék:

[A1] Alapfokú sugárvédelmi ismeretek (Szerk.: Fehér István), Paksi Atomerőmű Rt., 1992.

[A2] Sugáregészségtan (Szerk.: Köteles György), Medicina Könyvkiadó Rt., 2002.

[A3] Sugárvédelem (Szerk.: Fehér István és Deme Sándor), ELFT Eötvös Kiadó, 2010.

[A4] A Tanács 2013/59/Euratom irányelve (2013. december 5.) az ionizáló sugárzás miatti sugárterhelésből származó veszélyekkel szembeni védelmet szolgáló alapvető biztonsági előírások megállapításáról, valamint a 89/618/Euratom, a 90/641/Euratom, a 96/29/Euratom, a 97/43/Euratom és a 2003/122/Euratom irányelv hatályon kívül helyezéséről.

[A5] Az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény.

[A6] 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről.

[A7] 21/2018. (VII. 9.) EMMI rendelet az egészségügyi szolgáltatások nyújtása során ionizáló sugárzásnak nem munkaköri kötelezettségük keretében kitett személyek egészsége védelmének szabályairól.

[A8] 33/1998. (VI. 24.) NM rendelet a munkaköri, szakmai, illetve személyi higiénés alkalmasság orvosi vizsgálatáról és véleményezéséről.

[A9] www.unscear.com.

[A10] 190/2011. (IX. 19.) Korm. rendelet az atomenergia alkalmazása körében a fizikai védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről.

[A11] <http://www.oah.hu>.

A9 Az alapfokozatú képzés írásbeli vizsgáján feltehető általános kérdések és a megfelelő válaszok helye

A következőkben felsoroljuk azt a 90 kérdést, amely bármelyik szakirány írásbeli vizsgáján szerepelhet. A kérdések után kapcsos zárójelben feltüntetjük annak a fejezetnek a sorszámát, amelynek elolvasása után az adott kérdés helyesen megválaszolható.

1. Az egyszerű modell szerint az atom a magból és az azt körülvevő elektronburokból áll. Melyiknek a tömege a lényegesen nagyobb? {A1.1}
2. Melyek az atommag alkotó elemei? {A1.1}
3. Milyen elektromos töltésűek az atomot alkotó részecskék? {A1.1}
4. Mi jellemző egy elem különféle izotópjaira? {A1.2}
5. Ha egy radioaktív izotóp felezési ideje 1 nap, mennyire csökken az aktivitása 3 nap elteltével? {A1.3}
6. Hogyan változik egy pontszerű forrástól származó sugárzás intenzitása a forrástól távolodva, ha a forrás környezetének a sugárzásgyengítése elhanyagolható? {A4.1}
7. Hogyan lehet védekezni a külső sugárzás ellen? {A4.1}
8. Hogyan nevezzük együttesen a röntgen-, gamma-, neutron, alfa- és béta-sugárzásokat? {A1.4}
9. Mi az ionizáció? {A1.1}
10. Mi a radioaktivitás? {A1.3}
11. A következő sugárzások közül melyik - a fényhez hasonló - elektromágneses sugárzás? {A1.4}
12. A következő sugárzások közül melyik a legnagyobb áthatolóképességű? {A1.4}
13. Mi egy radioaktív izotóp felezési ideje? {A1.3}

Jegyzet alapképzésű sugárvédelmi képzésekhez

14. Az alábbiak közül melyik ionizáló sugárzás? {A1.4}
15. Melyik radioaktív sugárzás áll azonos részecskékből, mint a röntgensugárzás? {A1.4}
16. Mi az elnyelt dózis? {A1.7}
17. Az effektív dózis számításakor milyen tényezőkkel szorozzuk az elnyelt dózisokat? {A1.7}
18. Mi az elnyelt dózis mértékegysége? {A1.7}
19. Mi az effektív dózis mértékegysége? {A1.7}
20. Melyik a helyes, növekvő dózissorrend? {A1.7}
21. Mi az aktivitás? {A1.3}
22. Mi az aktivitás mértékegysége? {A1.3}
23. Melyik a helyes növekvő aktivitássorrend? {A1.3}
24. Mi az elnyeltdózis-teljesítmény? {A1.7}
25. Milyen dózismérő található a hatósági személyi doziméterben? {A5.2}
26. Mit kell tenni a doziméterrel a munkaidő végén? {A5.3}
27. Melyik érzékszervünkkel tudjuk észlelni az ionizáló sugárzást? {A5}
28. Gamma-sugárzás dózisteljesítményének mérésére az alábbiak közül melyik műszer alkalmazható? {A5.1}
29. Ha egy dolgozó mellkasán árnyékoló gumikötény van, hol kell viselnie a hatósági személyi dozimétert? {A5.3}
30. Milyen eszközt használhatunk a szem sugárterhelésének csökkentésére? {A4.1}
31. Mi jellemzi a determinisztikus (korai) hatásokat? {A2.1}
32. Mi jellemzi a sztochasztikus (késői) hatásokat? {A2.2}
33. Sztochasztikus hatások esetében a besugárzás után tipikusan mennyi idővel jelentkeznek a tünetek? {A2.2}
34. Milyen megfigyelések igazolják az ionizáló sugárzások örökletes (genetikai) káros hatását? {A2.3}
35. Jellemzően milyen nagyságrendűek a determinisztikus károsodások küszöbdózisai (amely dózis alatt nem lép fel determinisztikus hatás)? {A2.1}
36. Az alábbi hatások közül melyik a sztochasztikus jellegű? {A2.2}

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

37. Milyen típusú sugárterhelés léphet fel zárt sugárforrás közelében tartózkodva? {A4.1}
38. A bőrön nagy dózisoknál megjelenő elváltozások leginkább mely kóros állapot tüneteire emlékeztetnek? {A2.1}
39. Ha egy dózismérőt nem viselt munkavállalónál fennáll a gyanú, hogy jelentős mennyiségű külső sugárterhelést kapott, utólag hogyan becsülhető a dózisa? {A4.3.1}
40. Ha valakinek a testére radioaktív anyag kerül, melyek a legsürgősebb teendők? {A4.3.2}
41. Baleset során hogyan kerülhet radioaktív anyag az emberi szervezetbe? {A4.3.2}
42. Ha radioaktív anyag kerül a szervezetbe, mivel próbálhatjuk annak a hatását csökkenteni? {A4.3.2}
43. Melyek a különösen sugárérzékeny szövetek? {A2}
44. Mi a sugárvédelem három alapelve? {A3}
45. Mikor kell egy dolgozót az effektív dózis alapján A-kategóriába sorolni? {A7.1.1}
46. Mikor kell egy dolgozónak feltétlenül hatósági személyi dózismérőt viselnie? {A7.1.1}
47. Mit jelent a sugárvédelemben a „külső munkavállaló” kifejezés? {A4}
48. Melyik a lakosságot természetes forrásoktól érő dózis legnagyobb összetevője? {A1.5}
49. Melyik mesterséges forrásból éri a fejlett országokban élő lakosságot a legnagyobb sugárterhelés? {A3.3.2}
50. Mennyi a magyarországi lakosokat természetes forrásokból érő tipikus évenkénti effektív dózis? {A3.3.2}
51. Milyen sugárvédelem illeti meg a külső munkavállalót? {A4}
52. Mit jelent az optimálás? {A3.2}
53. Az optimálás során – a sugárvédelmi mellett – milyen tényezőket kell figyelembe venni? {A3.2}
54. Mikor jön létre belső sugárterhelés? {A1.5}
55. Mikor tekinthető egy sugárforrás zártnak? {A4.1}
56. Mik a fizikai védelem alapvető feladatai (funkciói)? {A6}

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

57. Mi a késleltetés célja a fizikai védelemben? {A6}
58. Kinek a feladata az aktuális munkahelyre vonatkozó speciális ismeretek oktatása? {7A.4}
59. Mennyi a sugárterhelésnek kitett munkavállalókra vonatkozó éves effektív dózis-korlát? {A3.3.3}
60. Mennyi a lakosság egyedeire mesterséges forrásokból eredő besugárzásokra megállapított évi dóziskorlát (az orvosi besugárzások járuléka nélkül)? {A3.3.2}
61. Indokolt körülmények esetén ki engedélyezhet egy-egy évre a foglalkozási dóziskorlátnál nagyobb effektív dózist? {A3.3.3}
62. Mennyi a 16. életévüket betöltött, de 18 évesnél fiatalabb tanulóokra és gyakornokokra vonatkozó foglalkozási effektív dózis-korlát? {A3.3.3}
63. Dolgozhat-e bárki érvényes sugárvédelmi képzettség nélkül sugárveszélyes munkakörben? {A7.4}
64. Dolgozhat-e várandós munkavállaló sugárveszélyes munkakörben? {A3.3.1}
65. Dolgozhat-e csecsemőt szoptató munkavállaló sugárveszélyes munkakörben? {A3.3.1}
66. Az effektív dózis-korlátok milyen sugárterhelésre vonatkoznak? {A3.3.3}
67. Beoszthatók-e 16. életévüket be nem töltött személyek olyan feladatra, amelyben sugárterhelésnek lennének kitéve? {A3.3.1}
68. Szabad-e élelmiszerekhez szándékosan radioaktív anyagot adni? {A3.3.1}
69. Szabad-e játékokhoz szándékosan radioaktív anyagot adni? {A3.3.1}
70. Milyen alapon jelölhető ki valaki olyan veszélyhelyzetelhárítási feladatra, amelynek során várhatóan 100 mSv-nél nagyobb dózist kaphat? {A3.3.3}
71. Szabad-e sugárveszélyes munkaterületen élelmiszert fogyasztani? {A3.3.1}
72. Szabad-e a mentességi szintet meghaladó aktivitású zárt sugárforrást kézbe venni? {A3.3.1}
73. Mikor mondhat le a munkavállaló a kockázat csökkentésére előírt védőeszköz alkalmazásáról? {A4}
74. Milyen szintű az ionizáló sugárzás elleni védelemről szóló alapvető jogszabály? {A7.1.1}
75. Milyen besugárzások esetén nem alkalmazhatók dóziskorlátok? {A3.3.2}

Jegyzet alapkonzató sugárvédelmi képzésekhez

76. A mostani tanfolyamot lezáró eredményes vizsga mennyi ideig érvényes? {A7.4}
77. Kinek kell gondoskodnia a sugárvédelmi eszközök folyamatos karbantartásáról? {A7.3.1}
78. Milyen gyakorisággal történik a hatósági személyi dózismérők kiértékelése? {A5.3}
79. Kinek a feladata az adott munkahelyi tevékenységre vonatkozó speciális sugárvédelmi szabályok megismertetése a munkavállalókkal? {A7.4}
80. Melyik munkahelyi dokumentum tartalmazza a sugárveszélyes helyen dolgozó munkavállalók sugárvédelemmel kapcsolatos jogait és kötelességeit? {A7.3.3}
81. Ha egy munkavállaló sugárvédelmi szabálytalanságot észlel, kinek kell jelentenie? {A7.3.3}
82. Mikor hozza a munkavállaló tudomására a személyidózis-adatokat az Országos Személyi Dozimetriai Nyilvántartás? {A5.3}
83. Kinek az engedélye szükséges radioaktív anyag alkalmazásához? {A7.2}
84. Milyen szintű jogszabály tartalmazza az atomenergia alkalmazása során követendő fizikai védelmi előírásokat? {A6}
85. Ki látja el az atomenergia alkalmazásában a fizikai védelmi rendszerek kialakításának, üzemeltetésének, valamint módosításának hatósági engedélyezését? {A6}
86. Milyen cselekmények ellen véd a megfelelő fizikai védelem? {A6}
87. Milyen sugárterhelésre nem terjed ki a sugárvédelemmel foglalkozó 487/2015 (XII. 30.) Korm. rendelet hatálya? {A7.1.1}
88. Milyen jogszabály rendezi a sugárterhelésnek kitett munkavállalók orvosi vizsgálatának részleteit? {A3.3.1}
89. Kikre vonatkozik a hatályos sugárvédelmi szabályozás? {A7.1.1}
90. Melyik jel figyelmeztet sugárveszélyre? {A3.3.1}

B. Szakirányú alapkonzató sugárvédelmi ismeretek

A következő négy fejezetben azokat a kiegészítő alapkonzató ismereteket soroljuk fel, amit azoknak kell tudniuk, akik az adott szakirányra vonatkozó sugárvédelmi képzettséggel szeretnének rendelkezni.

B1 Egészségügyi alkalmazások

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

Az egészségügyben alkalmazott sugárvédelem egyik sajátossága, hogy a legtöbb esetben egyszerre kell figyelembe venni a páciens és a kezelést végző személyzet, valamint alkalmanként további érintett személyek (gondozók és segítők, valamint a kórházban tartózkodó, az adott eljárás során nem szándékosan besugárzott páciensek) védelmének a szempontjait.

A sugárvédelmi alapelvek alkalmazása szempontjából a szándékosan besugárzott páciensek dózisa orvosi, a személyzeté foglalkozási, a többi érintett személyé pedig lakossági sugárterhelésnek számít.

B1.1 Képkalkotó eljárások

Orvosi célú képkalkotó eljárásokat elsősorban diagnosztikai céllal és műtétek közben használnak.

Az orvosi képkalkotó eljárásoknál az optimálás annak az eljárásnak a kiválasztását és az olyan paraméterek beállítását jelenti, amelyeknél a páciens dózisa úgy lesz a legkisebb, hogy eközben az alkotott kép minősége (felbontása, élessége) megfeleljen az adott vizsgálatnál, vagy műtét során megkívántnak.

B1.1.1 Képkalkotás röntgenberendezésekkel

A képkalkotó röntgenberendezések alkalmazása több mint 100 éves múltra tekint vissza. A röntgenberendezések által kibocsátott fotonok egy része akadály nélkül áthalad a vizsgált testrészekben, másik része pedig vagy szóródik a szövetek alkotóelemein, vagy elnyelődik azokban. Az ütközetlenül áthaladó és a szóródott, illetve elnyelt fotonok aránya függ az útjukba eső szövetek sűrűségétől (és anyagi összetételétől). A hasznos képet az ütközés nélkül áthaladt fotonok alkotják: a sűrűbb anyagok (például csontok) mögött kisebb lesz az ütközés nélkül átment fotonok aránya, mint a lágy szövetek (vagy üregek) mögött.

A röntgenberendezéseknél elsősorban a csőfeszültség beállításával, az alkalmazott mezőméret (blendezés) és a szűrők kiválasztásával tudjuk elérni az optimális körülményeket. Az alkalmazott csőfeszültség megválasztását elsősorban az átvilágítandó test, vagy testrész vastagsága befolyásolja; az alumínium szűrőkkel a sugárnyaláb (sugárkéve) kisenergiájú összetevőit szűrik ki.

A páciensek dózisát – a kívánt paraméterek beállításán túlmenően – az átvilágítani nem kívánt területek letakarásával lehet csökkenteni. A személyzet dózisát a legtöbb átvilágításnál azzal lehet nagymértékben csökkenteni, ha a személyzet a besugárzaskor külön vezérlőhelyiségben tartózkodik. A besugárzó- és a vezérlőhelyiség közötti falakat, ajtókat és

Jegyzet alapképzésű sugárvédelmi képzésekhez

betekintőablakokat úgy kell kialakítani, hogy sugárzásgyengítésük (árnyékoló hatásuk) megfelelő legyen.

A röntgenképképzés során a páciensekben elnyelt dózis a vizsgálat típusától függően meglehetősen széles határok közt változik. A legkisebb sugárterheléssel általában – az egyébként igen gyakori – fogászati felvételek készítésekor találkozunk.

A **fogászati intraorális** röntgenberendezésekben a nyaláb irányítására és a távolság tartására legalább 20 cm-es tubust alkalmaznak. A felvételek elkészítése viszonylag alacsony sugárterheléssel jár, az effektív dózis 1-5 μSv felvételenként. Ilyen esetekben a páciensekre mindig az egész törzset takaró, legalább 0,25 mm ólomgyenértékű, pajzsmirigyvédő gallérral ellátott ólomgumikötényt kell adni.

Fogászati panorámaröntgen-felvételek alkalmazásakor felvételenként 10-30 μSv nagyságú effektív dózisok fordulhatnak elő. A páciens a testet hátul takaró, 0,25 mm ólomgyenértékű ólomgumiköpennyel kell védeni.

CBCT Fogászati röntgen: a Cone Beam Computer Tomograf általában szájszészeti beavatkozások esetén alkalmazandó. A hagyományos CT felvételhez hasonló kép készül a vizsgált beteg fejének alsó részéről. A sugármező méret nagyságrendekkel nagyobb, mint egy panorámafelvétel esetén. Ebből kifolyólag a páciensdózis 200-300 μSv /felvétel nagyságrendű is lehet. A páciens a testet elől-hátul egyaránt takaró, 0,25 mm ólomgyenértékű ólomgumiköpennyel kell védeni, mert a besugárzó fej az átvilágítás során körbefordul.

A **diagnosztikai röntgenberendezésekkel végzett vizsgálatok** esetében két külön területet különböztetnek meg: az ellenőrzött és a felügyelt területet. Az ellenőrzött terület, ahol a röntgenvizsgálók és a vizsgálókkal egy légterű vezérlők találhatóak, kivéve a mammográfiát és a fogászati röntgent. Felügyelt területek az ellenőrzött területtel határos helyiségek. A helyiségekre vonatkozó előírásokat az MSZ 824:2017 szabvány tartalmazza. Minden térrészre külön került meghatározásra a minimális alapterület, a minimális belmagasság és a legkisebb oldalméret. Erre azért van szükség, mert túl kis méretű helyiségekben nagy lesz a falakról visszaszórt (a képképzés szempontjából haszontalan, de a dózist megnövelő) sugárzás.

A besugárzott pácienssel minden esetben audio-vizuális kapcsolatban kell lenni, akár ólomüveglapon, akár monitoron keresztül.

B1.1.2 Képképzés más eszközökkel

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

A komputeres tomográf (CT) alkalmazásával a hagyományos röntgenberendezéssel nyerhetőnél sokkal aprólékosabb, pontosabb felvételek készíthetők. Az alapelv megegyezik a röntgenberendezéseknél leírtakkal, de a felvételeket rétegenként (szeletenként) készítik, s ezekből rekonstruálják számítógéppel a teljes háromdimenziós képet. A CT-felvételek készítésekor a páciens mintegy 10-20-szor akkora dózis éri, mint hagyományos röntgenfelvétel készítésekor. A legnagyobb sugárterheléssel a mellkas és a hasi régió CT-vizsgálata jár.

A CT-vizsgálatokat ki lehet egészíteni valamilyen radioizotópos vizsgálattal (ilyen például a PET-CT, amelynek alkalmazásakor pozitív béta-sugárzást – azaz pozitronokat – kibocsátó izotópokat juttatnak a szervezet valamely szövetébe, és az elektron-pozitron párok megsemmisülésekor kibocsátott gamma-sugárzást detektálják), ezek alkalmazása természetesen még nagyobb sugárterheléssel jár, mint a hagyományos, izotóp nélküli CT-vizsgálatok.

B1.2 Terápiás célú besugárzások

Az orvosi terápiás eljárásoknál az optimálás nem a hagyományos dóziscsökkentésre irányul, hanem annak a célnak a minél jobb megvalósítására, hogy az elpusztítani kívánt daganatot a tervezésnél meghatározott dózis, a környező egészséges sejteket/szerveket pedig minél kisebb sugárzás érje.

A besugárzó források kiválasztása az adott daganat fajtájához és elhelyezkedéséhez igazodik. Egyaránt használnak röntgenberendezéseket, gamma-sugárzó izotópokat, gyorsítókat, vagy akár neutronforrásokat is.

B1.3 Nukleáris medicina

A nukleáris medicinában diagnosztikai vagy terápiás céllal is alkalmazhatnak nyitott radioaktív anyagokat, ennek megfelelően izotópdiaosztikáról vagy izotópterápiáról beszélünk. Az MSZ 62-7:2017 szabvány szerint a humán izotópdiaosztikai és izotópterápiás célú alkalmazására szolgáló laboratóriumot orvosi izotóplaboratóriumnak nevezünk.

Gyakran használt nyitott radioaktív anyagok: a F-18 (fluor 18), a Tc-99m (technécium 99m) és a I-131 (jódió 131). Némely alkalmazásokban a radioaktív izotópot egy molekulához kötve (radiofarmakon) juttatják a szervezetbe. Az elválások helyén az így jelzett molekula bedúsul, aminek következtében az adott ponton jól detektálható ionizáló sugárzás lép ki.

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

A páciens sugárterhelésének csökkentése szempontjából fontos, hogy az alkalmazott radioizotóp rövid fizikai felezés idővel rendelkezzen, és a radiofarmakon gyorsan ürüljön ki a szervezetből.

Ha a beteg szervezetében nyitott radioaktív izotóp van, környezetében mérhető sugárzási tér alakul ki. Ennek megfelelően a beteg csak azután hagyhatja el az egészségügyi létesítményt, ha a tőle 1 m távolságra mérhető dózisteljesítmény kisebb, mint 25 $\mu\text{Sv/h}$.

Nyitott radioaktív készítmény alkalmazása kizárólag izotóplaboratóriumban történhet. Az izotóplaboratórium kialakítása és felszereltsége biztosítja, hogy a munkavállalók külső és belső sugárterhelése elfogadható szinten maradjon, valamint, hogy a környezetbe radioaktív anyag ellenőrizetlenül ne kerüljön ki.

A személyzet belső sugárterhelése elleni védekezést laboratóriumi eszközökkel (például elszívófülke) és személyi védőeszközök (gumikesztyű, légzésvédő stb.) használatával kell megvalósítani.

Ha egy terület vagy testfelület radioaktív izotópokkal szennyeződik (kontamináció), a sugárvédelmi megbízott irányításával meg kell kezdeni a szennyeződés eltávolítását (dekontamináció). Minden izotóplaboratóriumban kell lenni dekontamináló készletnek, amelynek használatát évente egyszer az engedélyesnek ismertetnie kell a munkavállalókkal.

B1.4 Kiegészítő irodalom

Az egészségügyi alkalmazások témakörhöz elsősorban az általános részben hivatkozott Sugáregészségtan könyv [A2] ajánlható, a páciensek sugárvédelméről 2018-ban jelent meg rendelet [A7].

A sugárbiológiáról elektronikus könyv jelent meg [B1.1].

A szennyezett személyek sugármentesítéséről [B1.2] és a munkavédelmi szabályzatokról [B1.3] a Nemzeti Népegészségügyi Központ Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztályának honlapján olvashatók módszertani útmutatók.

Az orvosi és állatorvosi munkahelyeken [B1.4] és a nyitott radioaktív anyagok felhasználásakor [B1.5] alkalmazandó sugárvédelemről 2017-ben jelent meg két új szabvány.

Tételes irodalomjegyzék:

Jegyzet alapképzésű sugárvédelmi képzésekhez

[B1.1] Sugárbiológia. Elektronikus tankönyv (szerk.: Pesznyák Csilla és Sáfrány Géza), 2013. A javított változat (2016) letölthető a <http://www.osski.hu/kiadvanyok/kiadvanyok.html> honlapról.

[B1.2] Radioaktív anyagokkal szennyeződött személyek sugármentesítése (dekontaminálása és dekontaminációja) (Szerk.: Turai István). OSSKI, 2006. Módszertani Útmutató. Letölthető a <http://www.osski.hu/kiadvanyok/kiadvanyok.html> honlapról.

[B1.3] Ballay László: Izotópos munkavédelmi szabályzat. OSSKI, 2011. Módszertani Útmutató. Letölthető a <http://www.osski.hu/kiadvanyok/kiadvanyok.html> honlapról.

[B1.4] MSZ 824:2017: Sugárzás elleni védelem orvosi és állatorvosi röntgenmunkahelyeken.

[B1.5] MSZ 62-7:2017: Az ionizáló sugárzás elleni védelem, 7. rész: Sugárvédelem nyitott radioaktív anyagok alkalmazásakor.

B1.5 Az alapképzésű írásbeli vizsgán feltehető kérdések és a megfelelő válaszok helye

A következőkben felsoroljuk azt a 15 kérdést, amely az „egészségügyi alkalmazások” szakirány írásbeli vizsgáján szerepelhet. A kérdések után kapcsos zárójelben feltüntetjük annak a fejezetnek a sorszámát, amelynek elolvasása után az adott kérdés helyesen megválaszolható.

E1: 16 éven aluli tanulók szakmai gyakorlaton hogyan foglalkoztathatók sugárveszélyes munkakörben? {A3.3.1}

E2: Intraorális fogászati röntgenfelvétel készítésekor milyen védelemmel kell ellátni a páciens az MSZ 824:2017 szabvány szerint? {B1.1.1}

E3: A műszaki védelmi lehetőségeken túl milyen lehetőség van a külső sugárterhelés csökkentésére röntgenberendezést alkalmazó munkahelyen? {A4.1}

E4: Melyik típusú röntgenvizsgálat jár a páciens legnagyobb sugárterhelésével? {B1.1.2}

E5: Miért látják el alumínium szűrővel a röntgencsőket? {B1.1.1}

E6: Röntgenvizsgálatot követően mennyi ideig kell számolni a helyiségben visszamaradó (remanens) sugárzással? {A4.1}

E7: Mobil kórtermi röntgenberendezés alkalmazása esetén az olyan beteg, akin ugyan nem történik röntgenvizsgálat, de az alkalmazás helyének

Jegyzet alapképzés sugárvédelmi képzésekhez

- közeléből nem távolítható el, milyen dóziskorlátozás alá esik? {B1 és B3.3.2}
- E8: Miért kell megfelelő sugárvédelmi árnyékolást biztosítani a fogászati röntgenmunkahelyek falainak, ajtóinak és a betekintő ablakoknak? {B1.1.1}
- E9: Intraorális fogászati berendezéseknél sugárvédelmi szempontból milyen tubus a megfelelő? {B1.1.1}
- E10: Mit nevezünk orvosi izotóplaboratóriumnak az MSZ 62-7:2017 szabvány szerint? {B1.3}
- E11: Egy röntgenosztályon sugárvédelmi szempontból mely munkaterület sorolható be ellenőrzött területként? {B1.1.1}
- E12: Az MSZ 824:2017 szabvány a röntgenhelyiség mely méreteit szabja meg? {B1.1.1}
- E13: Az MSZ 824:2017 szabvány szerint milyen kapcsolat kell a vizsgálat alatt a páciens és az exponáló személy között? {B1.1.1}
- E14: A felsorolt képképző eljárások közül általában melyik jár a legkisebb páciens-sugárterheléssel? {B1.1.1}
- E15: A CT berendezésben van-e radioaktív anyag? {B1.1.2}

B2 Nem nukleáris ipari alkalmazások**B2.1 Ipari röntgenberendezések**

Ipari területen röntgenberendezéseket számos célra alkalmaznak.

A legkisebb sugárterhelést okozó berendezések közé tartoznak a csomagvizsgáló röntgenberendezések. A csomagvizsgáló berendezések kezelőit érő dózisok jellemzően az éves lakossági dóziskorlát alatt maradnak. A berendezések felszínétől néhány 10 cm-es távolságban az dózisteljesítmény a háttérsugárzás nagyságrendjébe esik. Fontos felhívni a figyelmet arra, hogy a csomagvizsgáló röntgenberendezések a vizsgált tárgyat nem tudják felaktiválni (nem teszik sugárzóvá). A kritikus részt, ahol sugárzás léphet ki egy ilyen berendezésen, az ólomgumiszalagok („ólmogumifüggönyök”) jelentik, amelyek a folyamatos használat során elhasználódnak. Ha megsérültek, ameddig ki nem cserélik őket, tilos üzemeltetni a berendezést.

Előfordulhat, hogy egy tárgy elakad a berendezés belsejében. Ekkor először áramtalanítani kell a készüléket, mivel a kikapcsolást követően nem

keletkezik röntgensugárzás; ezután szabad az elakadt tárgyat kivenni, akár kézzel is.

B2.2 Zárt sugárforrást tartalmazó berendezések

A zárt izotópok ipari alkalmazásának egyik leggyakoribb területe a vastagságmérés. A gyártósori alkalmazásoknál, ha a technológia ezt indokoltá teszi, zárt radioaktív izotópot tartalmazó vastagságmérő berendezést használnak. A mérendő anyag egyik oldalán (alul) egy zárt sugárforrást tartalmazó munkatartót helyeznek el, a másikon (felül) egy sugárzásmérő detektort. A sugárzás intenzitásának gyengüléséből következtetnek az anyag vastagságára. Van olyan megoldás, amikor a munkatartó és a detektor együtt mozog, pásztázó mozgással.

A munkatartóban elhelyezett zárt radioaktív sugárforrást nem lehet „kikapcsolni”. A munkatartó egy árnyékolóanyagból készült zárt sugárforrást tartalmazó tartó, amelynek egyik (a detektor felé néző) oldala nyitott. Ha valamilyen beavatkozást kell végezni a berendezésen vagy a közvetlen környezetében, a munkatartót le kell zárni: a nyitott oldalon egy árnyékolóanyagot kell húzni (manuálisan vagy elektronika segítségével) a nyílás fölé, ezt a sugárnyalábot árnyékoló anyagot „shutter”-nak (ejtsd: sáttter) nevezzük. Vastagságmérőkben jellemzően Am-214 (amerícium 214), Sr-90 (stroncium 90) és Kr-85 (kripton 85) izotópot alkalmaznak, az első kettő szilárd halmazállapotú, ezzel szemben a kripton gáz halmazállapotú, ami egy esetleges mechanikai sérülés esetén kisebb belső sugárterhelési kockázatot jelent.

Hasonlóan működnek az ipari alkalmazás során a töltésszintjelző berendezések, amelyeket használhatnak rögzített tartályok vagy futószalagon lévő palackok, dobozok töltésszintmérésére. A sugárforrás munkatartója és a detektor ebben az esetben vízszintesen van elhelyezve.

A jellemzően használt aktivitások mindkét esetben a 0,1 MBq - 0,1 GBq nagyságrendbe esnek, ami azt jelenti, hogy másodpercenként százezer – százmillió radioaktív bomlás történik.

B2.3 Nyitott radioaktív anyagok alkalmazása

Nyitott radioaktív készítmény alkalmazása kizárólag izotóp-laboratóriumban történhet. Az izotóplaboratórium kialakítása és felszereltsége biztosítja a munkavállalók külső és belső sugárterhelése elleni védelmét, valamint azt, hogy a környezetbe ellenőrizetlenül ne kerüljön ki radioaktív anyag.

A nyitott izotópokat alkalmazó munkahelyeken fokozott figyelmet kell fordítani a belső sugárterhelés elkerülésére. A belső sugárterhelés elleni

Jegyzet alapképzésű sugárvédelmi képzésekhez

védekezést laboratóriumi eszközökkel (például elszívófülke) és személyi védőeszközök (gumikesztyű, légzésvédő stb.) használatával kell megvalósítani. Természetesen ezeken a munkahelyeken is fontos a lehető legrövidebb idejű ott-tartózkodás.

Ha egy terület vagy testfelület elszennyeződik radioaktív izotópokkal (kontamináció), a sugárvédelmi megbízott irányításával meg kell kezdeni a szennyeződés eltávolítását (dekontamináció). Minden izotóplaboratóriumban kell lenni dekontamináló készletnek, amelynek használatát évente egyszer az engedélyesnek ismertetnie kell a munkavállalókkal.

B2.4 Ipari radiográfia

A roncsolásmentes anyagvizsgálati módszerek egyike az ipari radiográfia. Az ipari radiográfiában a leggyakrabban Ir-192 (irídium 192) és Se-75 (szelén 75) zárt radioaktív sugárforrásokat használnak. A képalkotás elve, hogy a vizsgált minta (például hegesztési varrat) egyik oldalára a radiográfiai filmet rakják, a másikhoz pedig egy gégecsövön keresztül sugárforrást vezérelnek. Az anyagvastagságtól függően néhány percig ott tartják a sugárforrást, ezalatt elvégzik az átvilágítást, majd a forrást visszahúzzák a munkatartóba és a fényképet kiértékelik. A nagy aktivitású sugárforrásokat úgynevezett munkatartókban szállítják az ipari radiográfiai vizsgálatok helyszíneire, a sugárforrás kivezérlését és visszahúzását a munkatartóból végzik. Mivel nagy aktivitású sugárforrásokat használnak, a munkatartók felszínén (zárt állapotban is) jelentős, a háttérsugárzásnál akár több nagyságrenddel nagyobb gammasugárzás mérhető.

B2.5 Külső területen végzett munka

Az alkalmi radiográfiát végző munkavállalóknak, mielőtt a radiológiai munkát megkezdik, ki kell jelölniük és el kell keríteniük egy területet, ahol a maximális dózisteljesítmény nem haladja meg a $20 \mu\text{Sv/h-t}$. Csak ezután szabad a radiológiai munkát megkezdni.

Az elzárt munkaterület biztosítása, őrzése (annak megakadályozása, hogy oda illetéktelenek lépjenek be) az alkalmi radiológussegítő feladata. Ha mégis idegen személy téved be az elkerített területre, akkor az alkalmi radiológussegítő haladéktalanul távozásra szólítja fel az illetőt.

A radiológusok által használt sugárforrásokat csak megfelelő típusú sugárvédelmi csomagolásban szabad szállítani.

B2.6 Szállítás

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

A radioaktív anyagok csomagolásának biztosítania kell a szállítást végző személyzet és a környezet sugárvédelmét. Közúti szállítás esetén a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodásnak, ADR-nek; vasúton a Nemzetközi Vasúti Fuvarozási Egyezménynek, a COTIF-nak megfelelő szabályok betartásával.

Többféle csomagolás létezik, amelyeket a bennük szállítható radioaktív anyag mennyisége alapján különböztetünk meg. Ezek növekvő szállítható aktivitás szerint az alábbiak:

- engedményes csomagolás,
- ipari csomagolás,
- A-típusú csomagolás,
- B-típusú csomagolás,
- C-típusú csomagolás.

A csomagolásoknak fontos szerepük van abban, hogy akár baleseti helyzetben megrongálódva megakadályozzák a radioaktív anyag környezetbe kerülését és a szállítást végző személyek sugárterhelését. Ezért a csomagolásoknak (azok prototípusainak) forgalomba kerülésük előtt szigorú baleseti tesztvizsgálatokon kell átesniük.

A radioaktív anyagok szállításakor a csomagoláson általában több információnak szerepelni kell, ezek a következők: a radioaktív izotóp vegyjele és tömegszáma (például: I-131, azaz jód 131), a radioaktív izotóp aktivitása (MBq, GBq stb. egységben) és a szállítási mutatószám (elterjedt angol néven „transport index”, vagy rövidítve TI). A szállítási mutatószám (TI) azt mutatja meg, hogy mennyi a csomag felszínétől 1 m távolságra mért, $\mu\text{Sv/h}$ egységben megadott dózisteljesítménynek az egytizede (azaz, ha a szállítási mutatószámot 10-zel megszorozzuk, akkor megkapjuk a csomag felszínétől 1 m távolságra mért dózisteljesítmény-értéket, $\mu\text{Sv/h}$ egységben).

Ha a szállítási mutatószám 0,1 és 10 közötti érték (mértékegység nélküli szám), akkor a csomagolás felszínétől 1 méterre a dózisteljesítmény 1 és 100 $\mu\text{Sv/h}$ közé esik.

B2.7 Kiegészítő irodalom

Az ipari radiográfiai munkahelyeken alkalmazandó sugárvédelem részleteiről külön szabvány készült [B2.1].

Az izotóplaboratóriumok kialakításakor és üzemeltetésekor az MSZ 62-7:2017 szabvány [B2.2] előírásainak ismerete.

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

A telepített izotópos berendezések ellenőrzéséről módszertani útmutató [B2.3] található a Nemzeti Népegészségügyi Központ Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztályának honlapján.

A veszélyes áruk – és ezen belül a sugárveszélyes áruk – közúti, vasúti, belvízi, tengeri és légi szállításáról számos nemzetközi egyezmény született. Ezeket az egyezményeket és módosításait, valamint a mellékleteiket Magyarországon törvénnyel, illetve rendelettel hirdetik ki. Itt a hazai szállítások szempontjából legfontosabb közúti és vasúti fuvarozásra vonatkozó egyezményeket emeljük ki [B2.4-B2.11]. Külön felhívjuk a figyelmet arra, hogy ezek az egyezmények valamennyi fajta veszélyes árura vonatkoznak, a kifejezetten sugárvédelemre vonatkozó bekezdések megtalálása nem mindig egyszerű feladat.

Tételes irodalomjegyzék:

[B2.1] MSZ 836:2017: Sugárzás elleni védelem röntgenberendezést és/vagy gamma-sugárforrást alkalmazó ipari radiográfiai munkahelyeken.

[B2.2] MSZ 62-7:2017: Az ionizáló sugárzás elleni védelem, 7. rész: Sugárvédelem nyitott radioaktív anyagok alkalmazásakor.

[B2.3] Turák Olivér, Ballay László és Turai István: Telepített ipari izotópos berendezések sugárvédelmi ellenőrzése. OSSKI, 2010. Módszertani Útmutató. Letölthető a <http://www.osski.hu/kiadvanyok/kiadvanyok.html> honlapról.

[B2.4] 1979. évi 19. törvényerejű rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás kihirdetéséről.

[B2.5] 2015. évi LXXXIX. törvény a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás (ADR) „A” és „B” Melléklete szövegének kihirdetéséről, valamint a belföldi alkalmazásának egyes kérdéseiről.

[B2.6] 178/2017. (VII. 5.) Korm. rendelet a Veszélyes Áruk Nemzetközi Közúti Szállításáról szóló Európai Megállapodás (ADR) „A” és „B” Melléklete szövegének kihirdetéséről, valamint a belföldi alkalmazásának egyes kérdéseiről.

[B2.7] 1986. évi 2. törvényerejű rendelet a Bernben az 1980. évi május hó 9. napján kelt Nemzetközi Vasúti Fuvarozási Egyezmény (COTIF) kihirdetéséről.

[B2.8] 4/1987. (V. 13.) KM rendelet a Nemzetközi Vasúti Árufuvarozási Egyezményre vonatkozó Egységes Szabályok (CIM) mellékleteinek kihirdetéséről.

Jegyzet alapközvetítő sugárvédelmi képzésekhez

[B2.9] 2006. évi LXXVII. törvény a Bernben, 1980. május 9-én kelt, Nemzetközi Vasúti Fuvarozási Egyezmény (COTIF) módosításáról Vilniusban elfogadott, 1999. június 3-án kelt Jegyzőkönyv kihirdetéséről.

[B2.10] 2011. évi LXXX. törvény a Bernben, 1980. május 9-én kelt, Nemzetközi Vasúti Fuvarozási Egyezmény (COTIF) módosításáról Vilniusban elfogadott, 1999. június 3-án kelt Jegyzőkönyv C Függeléke 2011. évi módosításokkal és kiegészítésekkel egységes szerkezetbe foglalt szövegének kihirdetéséről.

[B2.11] 179/2017. (VII. 5.) Korm. rendelet a Nemzetközi Vasúti Fuvarozási Egyezmény (COTIF) módosításáról Vilniusban elfogadott, 1999. június 3-án kelt Jegyzőkönyv C Függeléke Mellékletének kihirdetéséről, valamint a belföldi alkalmazásának egyes kérdéseiről.

B2.8 Az alapközvetítő írásbeli vizsgán feltehető kérdések és a megfelelő válaszok helye

A következőkben felsoroljuk azt a 15 kérdést, amely a „nem nukleáris ipari alkalmazások” szakirány írásbeli vizsgáján szerepelhet. A kérdések után kapcsos zárójelben feltüntetjük annak a fejezetnek a sorszámát, amelynek elolvasása után az adott kérdés helyesen megválaszolható.

- 11: Felaktiválódik a csomagvizsgáló berendezésbe tett élelmiszer? {B2.1}
- 12: Általában milyen nagyságrendű dózisteljesítmények mérhetők egy csomagvizsgáló röntgenberendezés környezetében, normál üzemi körülmények között? {B2.1}
- 13: Szabad-e üzemeltetni olyan csomagvizsgálót, melynek láthatóan sérültek az ólomfüggönyei? {B2.1}
- 14: Melyik dokumentumot kell egy új belépő dolgozóval feltétlenül áttanulmányoztatni? {A7.3.2}
- 15: Mi a teendő abban az esetben, ha csomagvizsgáló alagútjában elakad egy tárgy? {B2.1}
- 16: Mi a leghatékonyabb módszer a belső sugárterhelés csökkentésére? {B2.3}
- 17: Mekkora lehet a maximális környezeti dózisegyenérték egy alkalmi radiográfiai munkaterület határán a felvételkedzés alatt az MSZ 836:2017 szabvány szerint? {B2.5}
- 18: Mi az alkalmi radiológussegítő feladata? {B2.5}

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

- I9: Mi a radiológussegítő első teendője az MSZ 836:2017 szabvány szerint, ha azt látja, hogy az alkalmi radiográfiai területre illetéktelen személy lépett be a felvételkedészítés ideje alatt? {B2.5}
- I10: Gamma-sugárforrást tartalmazó radiográfiai munkatartó felszínén mérhető-e gamma-sugárzás? {B2.4}
- I11: Közúti izotópszállítás során mely előírásokat kell betartani? {B2.6}
- I12: A radioaktív anyagok csomagolásán mi a szállítási mutatószám (Transport Index, TI)? {B2.6}
- I13: Egy gyártósorba épített, radioaktív izotópot tartalmazó vastagságmérő berendezésnél mit nevezünk „shutter”-nek? {B2.2}
- I14: Általában hány radioaktív bomlás következik be másodpercenként egy töltésszintmérőben található radioaktív izotópban? {B2.2}
- I15: A ^{85}Kr izotóp milyen halmazállapotban kerül alkalmazásra egy vastagságmérőben? {B2.2}

B3 Radioaktív hulladék-tárolók üzemeltetése**B3.1 A radioaktív hulladék**

Radioaktív hulladéknak nevezzük a további felhasználásra már nem kerülő olyan radioaktív anyagokat, amelyek sugárvédelmi jellemzőik alapján nem kezelhetők közönséges hulladékként.

A radioaktív hulladékok mint veszélyes anyagok elhelyezésére különleges szabályok vonatkoznak. Magyarországon külön szervezetet hoztak létre a radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére, a kiégett fűtőelemek átmeneti tárolására, a nukleáris létesítmények majdani lebontására és a nukleáris fűtőelemek végleges sorsának kezelésére. Ez a szervezet a Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. (RHK Kft.). Az RHK Kft. üzemeltetésében működik a B3.3-B3.5 fejezetekben ismertetett két hulladéktároló és a kiégett kazetták átmeneti tárolója.

A világszerte alkalmazott egyik legfontosabb alapelv az, hogy – sok más ártalmas anyaggal ellentétben – a radioaktív hulladékok esetében nem megengedett az ártalmas anyag hígítása, és az így elért kis koncentrációban a környezetbe kiengedése (az úgynevezett „hígítás és szétszórás”). Ehelyett a radioaktív hulladékokat megfelelően kezelni és tömöríteni kell, majd az élő környezettől elzártan kell elhelyezni („tömörítés és tárolás”).

Ugyanakkor a rövid felezésű (tehát rövid idő alatt elbomló, radioaktivitását rövid idő alatt a mentességi szint alattira csökkentő) anyagok esetében

megengedett módszer a veszélyes anyagoknak adott ideig a keletkezési helyen tárolása, és a továbbiakban nem radioaktív hulladékként kezelése.

B.3.2 A radioaktív hulladékok osztályozása

A radioaktív hulladékok osztályozása elsősorban az általuk létrehozott hőfejlődés mértéke szerint történik. (Ne feledjük, a kibocsátott sugárzások által szállított energia a sugárzás és a besugárzott anyag közötti kölcsönhatások révén végső soron zömében hővé alakul).

Ennek alapján *kis és közepes aktivitásúnak* nevezzük azokat a hulladékokat, amelyekben a hőfejlődés mind a tárolás, mind a végső elhelyezés során elhanyagolható. Magyarországon a kis és közepes aktivitású hulladékok elhelyezésére két létesítmény áll rendelkezésre (lásd B3.3 és B3.4 fejezet).

A *nagyaktivitású* hulladékok hőtermelését a tárolás és a végleges elhelyezés tervezése és üzemeltetése során figyelembe kell venni. Ebbe a kategóriába sorolják – aktivitásuktól függetlenül – a hosszú élettartamú (nagy felezési idejű) hulladékokat is. Magyarországon a nagyaktivitású hulladékok végleges elhelyezése még nem megoldott, jelenleg csak átmeneti tárolásuk lehetséges.

Az Országgyűlés által jóváhagyott nemzeti politika szerint a nagyaktivitású radioaktív hulladék és a kiégett üzemanyag elhelyezését – a nemzetközi gyakorlattal és tervekkel összhangban – stabil, mélységi geológiai formációban kialakítandó tárolóban kell megoldani. A megfelelő telephely kiválasztását célzó kutatómunka megkezdődött. Viszonylag nagy mennyiségű nagyaktivitású hulladék keletkezésére majd a nukleáris létesítmények lebontásakor kell számítani.

B3.3 A püspökszilágyi Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló

Magyarországon az egészségügyi, ipari és mezőgazdasági intézményekben, kutatóintézetekben, egyetemeken, oktató- és kísérleti reaktorokban keletkezett és a jövőben keletkező kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére az 1976-ban Püspökszilágyon létesült hulladéktároló, amely Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tároló néven üzemel. Ebben a tárolóban nem helyezhetők el a Paksi Atomerőben keletkezett hulladékok. A hulladékok elhelyezése földfelszínhez közeli tárolóterekben történik.

A Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tárolóba nem helyezhetők el sem nagyaktivitású hulladékok, sem kiégett fűtőelemek.

B3.4 A bátaapáti Nemzeti Radioaktív hulladék-tároló

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

A Paksi Atomerőműben keletkezett, és a jövőben keletkező kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére Bábaapátiban, gránit formációban épült meg a Nemzeti Radioaktív Hulladék-tároló. A tárolóban jellemzően acélból készült hordókba töltött szilárd halmazállapotú közepes aktivitású hulladékcsomagok a föld alatt, bányászati módszerekkel kialakított terekben kerülnek végleges elhelyezésre.

A tárolóban folyékony radioaktív hulladék közvetlenül nem helyezhető el, a folyékony hulladékot előbb szilárd halmazállapotúvá kell alakítani, például cementálással.

A radioaktív hulladékot tartalmazó hulladékcsomagok ellenőrzésére először minden esetben még a kiszállítás előtt, magában az atomerőműben kerül sor.

A csomagok tárolását úgy kell megoldani, hogy azokat a létesítmény üzemeltetési ideje alatt vissza lehessen nyerni (a tároló majdani lezárása után már nem lesz lehetőség a visszanyerésre).

Nagyaktivitású hulladékok és kiégett fűtőelemek nem helyezhetők el a Nemzeti Radioaktív Hulladék-tárolóban.

B3.5 A Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója

A kiégett fűtőelemek számos értékes anyagot tartalmaznak, ezért nem feltétlenül hulladékként kezelendők, több országban újrafeldolgozással (az angolból átvett, gyakran használt kifejezéssel: reprocesszállással) kinyerik belőlük a hasznos anyagokat. Mivel Magyarországon még nem született döntés arról, hogy a kiégett fűtőelemeket azonnal hulladékká nyilvánítsák, vagy újra feldolgozzák, ezért azokat egyelőre Pakson, az atomerőmű közelében létrehozott, Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója nevű létesítményben helyezik el. Megjegyzendő, hogy ha a kiégett fűtőelemeket újrafeldolgozás céljából külföldre szállítják (ilyen újrafeldolgozó üzemek alig néhány országban üzemelnek), akkor is megoldandó feladat az újrafeldolgozás során keletkezett nagyaktivitású hulladékok elhelyezése.

A Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója moduláris felépítésű létesítmény, azaz a szükségleteknek megfelelően fokozatosan bővíthető. A telephelyi adottságok lehetővé teszik az átmeneti tároló olyan mértékű bővítését, hogy az atomerőmű tervezett élettartama során keletkezett összes kiégett fűtőelemet be tudja fogadni.

B3.6 Kiegészítő irodalom

A radioaktív hulladékokkal kapcsolatos meghatározások külön szabványban [B3.1] találhatóak meg.

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

A radioaktív – illetve azon belül elsősorban az atomreaktorokban keletkező – hulladékok kezeléséről sok rajzzal illusztrált érvelés olvasható Björn Wahlström népszerűsítő könyvében [B3.2].

A kiégett fűtőelemek kezelésének biztonságáról és a radioaktív hulladékok kezelésének biztonságáról a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség égisze alatt több ország (köztük hazánk) egyezményt hozott létre. Az egyezményt Magyarországon törvénnyel hirdették ki [B3.4]. Az egyezmény részes országai háromévente jelentést készítenek, a magyar jelentések az Országos Atomenergia Hivatal honlapján [B3.5] olvashatók.

A magyarországi létesítményekről sok hasznos információ található az üzemeltetésükért felelős Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. honlapján [B3.4].

Tételes irodalomjegyzék:

[B3.1] MSZ 14344:2004: Radioaktív hulladékok. Fogalom-meghatározások és osztályozás.

[B3.2] B. Wahlström: A mag és az alma héja. Paksi Atomerőmű Rt. 1999.

[B3.3] A 2001. évi LXXVI. törvény a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség keretében a kiégett fűtőelemek kezelésének biztonságáról és a radioaktív hulladékok kezelésének biztonságáról létrehozott közös egyezmény kihirdetéséről.

[B3.4]

http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?openagent&menu=05&submenu=5_3

[B3.5] <http://www.rhk.hu/letesitmenyeink/>

B3.7 Az alapközzetű írásbeli vizsgán feltehető kérdések és a megfelelő válaszok helye

A következőkben felsoroljuk azt a 15 kérdést, amely a „radioaktív hulladék-tárolók üzemeltetése” szakirány írásbeli vizsgáján szerepelhet. A kérdések után kapcsos zárójelben feltüntetjük annak a fejezetnek a sorszámát, amelynek elolvasása után az adott kérdés helyesen megválaszolható.

H1: Hol üzemel tároló a Paksi Atomerőműben keletkezett, és a jövőben keletkező kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére? {B3.4}

H2: Hol épült tároló az intézményi (a nem a Paksi Atomerőműben keletkezett) kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok végleges elhelyezésére? {B3.3}

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

- H3: Jellemzően milyen anyagból készült hordókba kerülnek a szilárd kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok a Paks Atomerőműben? {B3.4}
- H4: Elhelyezhető-e véglegesen folyékony radioaktív hulladék mindenfajta kezelés (kondicionálás) nélkül a bátaapáti tárolóban? {B3.4}
- H5: Mi a bátaapáti radioaktív hulladék-tároló hivatalos neve? {B3.4}
- H6: Hol történik a hulladékcsomagok végleges elhelyezése a Bátaapátiban épült hulladéktárolóban? {B3.4}
- H7: Elhelyezhetők-e kiégett fűtőelemek a Nemzeti Radioaktív hulladék-tárolóban? {B3.4}
- H8: Hol történik a bátaapáti tárolóba szállítandó hulladékcsomagok első ellenőrzése? {B3.4}
- H9: Visszanyerhetőnek kell-e lennie a Bátaapátiban elhelyezett hulladékcsomagoknak? {B3.4}
- H10: Mi a Püspökszilágyban működő tároló hivatalos neve? {B3.3}
- H11: Tárolnak-e Püspökszilágyon kutatóreaktorokból származó kiégett fűtőelemeket? {B3.3}
- H12: Milyen végleges tárolótereket találunk Püspökszilágyban? {B3.3}
- H13: Hol történik az atomerőművi kiégett fűtőelemek átmeneti tárolása? {B3.5}
- H14: Mi a radioaktív hulladék? {B3.1}
- H15: Milyen geológiai formációban alakították ki a bátaapáti tárolót? {B3.4}

B4 Nukleáris létesítmények üzemeltetése**B4.1 Fogalmak, meghatározások**

Magyarországon, az Atomtörvény szerint az atomerőmű (MVM Paksi Atomerőmű Zrt., Paks), a kutatóreaktor (Budapesti Kutatóreaktor, KFKI telephely, Budapest XII. kerület, Csillebérc), az oktatóreaktor (Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest XI. kerület) és a kiégett üzemanyagok átmeneti tárolására szolgáló létesítmény (a Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója, KKÁT, Paks) minősül nukleáris létesítménynek.

Az atomerőművek alapvető célja a villamosenergia termelése. A Paksi Atomerőműben jelenleg négy atomreaktor üzemel. A kutatóreaktorban az elsődleges cél neutronok előállítása kutatási programokban szereplő kísérletekhez, illetve izotópok gyártása. Az oktatóreaktorban is a neutronok

előállítása a fő cél, ott azonban a kifejezetten kutatási célok mellett megjelennek az oktatási igények is.

B4.2 Az atomreaktorok működése, maghasadás, láncreakció

A nagyon nagy tömegszámú atommagok már nem képesek újabb neutronok befogadására, neutronokkal történő bombázásuk hatására két kisebb atommaggá hasadnak szét. Az ilyen nagy tömegszámú anyagokat nevezzük hasadóanyagoknak. A természetben előforduló és a gyakorlatban legtöbbször felhasznált hasadóanyag az urán (amelynek az atommagjában 92 proton található), főként annak 235-ös rendszámú izotópja, az U-235.

A hasadási folyamat nagymértékű energiafelszabadulással és további – a legtöbb esetben hasadásonként 2 vagy 3 – neutron kibocsátásával jár. Ha ezek a hasadás során kilépő neutronok újabb hasadásokat idézhetnek elő, láncreakció alakulhat ki: ha a keletkező 2-3 neutronból átlagban több mint 1 okoz újabb hasadást, a hasadások száma egyre nagyobb lesz, a folyamat rendkívül rövid idő alatt „megszalad”, a nagy energiafelszabadulás robbanáshoz vezet. Így működnek az atombombák.

Ha a fizikai körülmények megfelelő beállításával el tudjuk érni, hogy az egy hasadáskor keletkező neutronokból átlagban mindig egy végezzen újabb hasítást, akkor a hasadások száma (és így a felszabaduló energia mennyisége) időben állandó lesz, a rendszer stabil. Normál üzemben így működnek az atomreaktorok.

A hasadáskor előállított hőt a magyarországi reaktorokban a fűtőelemek (a hasadóanyagokat tartalmazó hosszú rudak) között áramló víz segítségével vezetik el. (Az egész világon a vízű reaktorok a legelterjedtebbek, de léteznek gáz- és folyékonyfém-hűtésű reaktorok is.)

Az energetikai reaktorokban (atomerőművekben) a felmelegedett hűtővizet gőzfejlesztőkben gőzzé alakítják, a gőz meghajtja a gőzturbinákat, a turbinák forgó mozgása villamosenergiát termel.

A kutató- és oktatóreaktorok teljesítménye nagyságrendekkel kisebb az energetikai reaktorokénál, a keletkezett hőt általában nem hasznosítják.

B4.3 Sugárzások, védelem

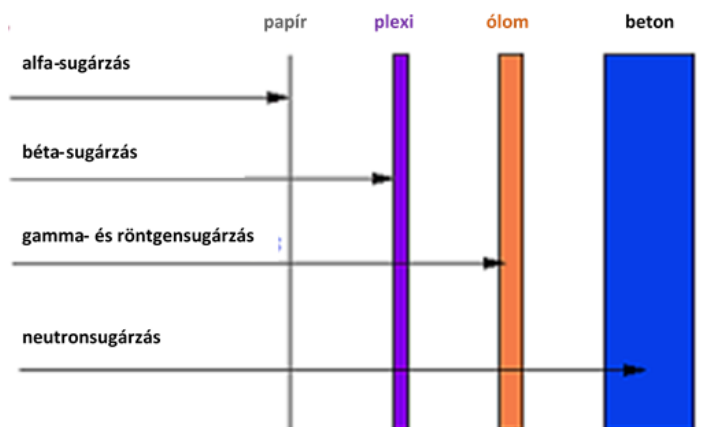
Az atomreaktorok közvetlen környezetében elsősorban a gamma- és a neutronsugárzás (a hasadáskor keletkező neutronoknak a reaktorból kiszökő része) hatásával kell számolni. A gamma-sugárzás a radioaktív hasadványok bomlásakor keletkezik (és így az atomreaktorok leállítása után is jelen van), a neutronsugárzást pedig a reaktor teréből kiszökő (tehát további hasításokat

Jegyzet alapfokozatú sugárvédelmi képzésekhez

nem okozó és a reaktor szerkezeti elemeiben el nem nyelődő) neutronok alkotják.

A védelem tervezésekor igen fontos különbség, hogy míg a gamma-sugárzást elsősorban nagy rendszámú anyagokkal (például ólom) lehet hatékonyan gyengíteni, addig a neutronsugárzás ellen a nagy hidrogéntartalmú anyagokból (például víz, polietilén, beton) lehet hatásos védelmet építeni.

A következő ábra azt szemlélteti, hogy míg az alfa-sugárzást már egy vékony papírlap, a béta-sugárzást pedig két-három milliméter vastag plexilap elnyeli, addig a röntgen- vagy gamma-sugárzás számottevő gyengítéséhez akár több milliméteres ólomrétegre, a neutronsugárzás gyengítéséhez pedig néhányszor tíz centiméteres betonrétegre van szükség.



B4.4 A dolgozók sugárvédelmi ellenőrzése

A személyi dózismérő viselésére kötelezett dolgozóknak a mellkasukon, szívtájékon kell viselniük a munkáltató által kiosztott és meghatározott időnként kiértékelt hatásági dozimetert. A neutron-sugárzástól eredő dózist nem a hatásági személyi dózismérő méri.

Ezen túlmenően az ellenőrzött területen sugárveszélyes munkakörben dolgozóknak a helyszínen leolvasható dózismérőt, vagy hang-, illetve fényjelzést adó egyéni dózisszintjelzőt is használniuk kell, ha fennáll a lehetőség, hogy a munkavállalók külső sugárterhelése meghaladja az évi 6 mSv effektív dózist.

Magyarországon – a Sugárvédelmi rendelet szerint – sugárveszélyes munka végzéséhez általában egyidejűleg legalább két munkavállaló jelenléte szükséges. Ugyanakkor a rendelet ezen előírás teljesítése alól bizonyos – a rendeletben részletezett – esetekre felmentést ad.

B4.5 Kis és közepes aktivitású radioaktív anyagok kibocsátása, elhelyezése

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

A nukleáris létesítmények üzemeltetése során folyamatosan keletkeznek kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok, azaz olyan radioaktív anyagok, amelyeket nem kívánunk a továbbiakban felhasználni. Ezen anyagok egy része a levegővel, vagy a szennyvízzel távozik; más részük radioaktív hulladékként kerül elhelyezésre. A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok közül a Paksi Atomerőműben keletkezettek Bábaapátiban, a Nemzeti Radioaktív Hulladék-tárolóban; a Budapesti Kutatóreaktorban és az Oktatóreaktorban keletkezettek pedig Püspökszilágyon, a Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tárolóban kerülnek elhelyezésre.

A Paksi Atomerőműben keletkező folyékony hulladékokat először (például cementálással) megszilárdítják. A szilárd halmazállapotú, kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékot tartalmazó hulladékcsomagok ellenőrzésére először még a Bábaapátiba történő beszállítás előtt, magában az atomerőműben kerül sor.

B4.6 A kiégett fűtőelemek kezelése

Az atomreaktorokban használt új fűtőelemek a felhasználás (kiégetés) előtt sugárvédelmi szempontból meglehetősen ártalmatlan eszközök. A reaktorok üzemeltetése során, a radioaktív hasadási termékek keletkezése nyomán folyamatosan egyre aktívabbá válnak, a legnagyobb sugárzást a kiégetésük után bocsátják ki. Ilyenkor a legnagyobb a fűtőelemek hőleadása. A kiégett fűtőelemek számos különféle aktivitású és igen eltérő felezési idejű radioaktív anyagot tartalmaznak. Ezért a reaktorból való kivételük után a fűtőelemeket először 3-5 évre a reaktor mellett lévő, úgynevezett pihentetőmedencébe helyezik, azaz elszállításukkal megvárják, amíg a rövid felezési idejű izotópok lebomlanak. Ezek a vízzel teli pihentetőmedencék egyben biztosítják a kiégett fűtőelemek hűtését.

Magyarországon még nem született döntés a kiégett fűtőelemek végleges sorsáról, még nincs döntés arról, hogy azokat újrahasznosítják, vagy hulladékként kezelik. Ezért – kellő idejű pihentetés után – a fűtőelemeket a paksi Kiégett Kazetták Átmeneti Tárolója nevű létesítménybe viszik ideiglenes (de feltehetően több évtizedes) tárolásra. Ez a tároló moduláris felépítésű létesítmény, azaz a szükségleteknek megfelelően fokozatosan bővíthető.

B4.7 Kiegészítő irodalom

A maghasadásról és láncreakcióról nagyon jó, színes ábrákkal illusztrált összefoglaló található a Paksi Atomerőmű honlapján [B4.1]

A nukleáris biztonságról a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség keretében nemzetközi egyezmény született. Az egyezmény – amelyhez hazánk

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

csatlakozott – magyarországi kihirdetése törvénnyel [B4.2] történt. Az egyezmény részes országai háromévente jelentést készítenek, a magyar jelentések – amelyek a hazai nukleáris létesítményekre vonatkozó adatokat tartalmaznak – az Országos Atomenergia Hivatal honlapján [B4.3] olvashatók.

A Paksi Atomerőmű műszaki adatairól (ide értve a dozimetriai adatokat) a Wikipedia szócikkében [B4.4], illetve az Országos Atomenergia Hivatalnak a Kormány és az Országgyűlés számára készített éves jelentéseiben [B4.5] található információ.

A Budapesti Kutatóreaktorról, illetve az Oktatóreaktorról az Energiatudományi Kutatóközpont [B4.6], illetve a BME Nukleáris Technikai Intézet [B4.7] honlapján található a legtöbb, könnyen érthető információ. Az Országos Atomenergia Hivatal éves jelentéseiben [B4.5] ezekről a berendezésekről is szerepelnek adatok.

A Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Kft. által üzemeltetett létesítményekről: a Nemzeti Radioaktív Hulladék-tárolóról, a Radioaktív Hulladék Feldolgozó és Tárolóról, a Kiegészítő Kazetták Átmeneti Tárolójáról a Kft. honlapján [B4.8] olvashatók részletek.

Tételes irodalomjegyzék:

[B4.1]

http://www.atomeromu.hu/hu/Documents/Maghasadas_es_nuklearis_lancr_eakcio.pdf

[B4.2] Az 1997. évi I. törvény a nukleáris biztonságról a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség keretében Bécsben, 1994. szeptember 20-án létrejött Egyezmény kihirdetéséről.

[B4.3]

http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?openagent&menu=05&submenu=5_3

[B4.4] https://hu.wikipedia.org/wiki/MVM_Paksi_Atomeromu

[B4.5]

http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/web?openagent&menu=05&submenu=5_1

[B4.6] <https://www.energia.mta.hu/hu/content/budapesti-kutatoreaktor>

[B4.7] <http://www.reak.bme.hu/oktatoreaktor.html>

[B4.8] <http://www.rhk.hu/letesitmenyeink/>

B4.8 Az alapközzetű írásbeli vizsgán feltehető kérdések és a megfelelő válaszok helye

A következőkben felsoroljuk azt a 15 kérdést, amely a „nukleáris létesítmények üzemeltetése” szakirány írásbeli vizsgáján szerepelhet. A kérdések után kapcsos zárójelben feltüntetjük annak a fejezetnek a sorszámát, amelynek elolvasása után az adott kérdés helyesen megválaszolható.

N1: Az Atomtörvény szerint atomerőmű, a kutatóreaktor, az oktatóreaktor és a kiégett üzemanyag átmeneti tárolására szolgáló létesítmény közül melyik „nukleáris létesítmény”? {B4.1}

N2: Az atomreaktorok közvetlen környezetében elsősorban mely sugárzásokkal kell számolni? {B4.3}

N3: Gamma-sugárzást milyen anyagokkal lehet hatékonyan gyengíteni? {B4.3}

N4: Neutronsugárzást milyen anyagokkal lehet hatékonyan gyengíteni? {B4.3}

N5: Egy fűtőelemköteg melyik állapotában bocsátja ki a legnagyobb sugárzást? {B4.6}

N6: Miért helyezik a kiégett fűtőelemeket az úgynevezett pihentetőmedencébe? {B4.6}

N7: Hány atomreaktor üzemel a Paksi Atomerőműben? {B4.1}

N8: Hol helyezik el a Paksi Atomerőműben keletkezett kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékokat? {B4.5}

N9: Hol helyezik el a BME Oktatóreaktora melletti laboratóriumokban keletkezett kis és közepes aktivitású hulladékokat? {B4.5}

N10: A személyi dózismérő viselésére kötelezett dolgozóknak hol kell viselniük a dozimétert? {B4.4}

N11: A 487/2015 (XII. 30.) Korm. rendelet szerint mikor kell a kiemelt létesítményekben, ellenőrzött területen, helyszínen leolvasható dózismérőt, vagy hang-, illetve fényjelzést adó egyéni dózisszintjelzőt is használni? {B4.4}

N12: Végezhet egyedül sugárveszélyes munkát egy megfelelő képzettségű munkavállaló? {B4.4}

N13: Normál üzemben milyen úton távozhatnak radioaktív anyagok egy atomreaktorból? {B4.5}

Jegyzet alapközzetű sugárvédelmi képzésekhez

N14: Mi egy kutatóreaktor vagy oktatóreaktor alapvető rendeltetése? {B4.1}

N15: Mit jelent az, hogy a paksi Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolója „moduláris létesítmény”? {B4.6}