

Dózisteljesítménymérő kalibrálása

1. Bevezetés

A külső, elsősorban fotonoktól származó dózisteljesítmény mérése a munkahelyi sugárvédelem fontos feladata. Az egyes munkaterületek sugárzási terének előzetes meghatározásával jelentősen csökkenthető a foglalkozás körében kapott sugárterhelés. A sugárvédelmi mérőberendezések hitelesítéséről az 1997-ben módosított 1991-es mérésügyi törvény intézkedik. A hitelesítések módját és gyakoriságát előíró rendelkezés betartása mellett rendszeresen szükséges lehet a berendezések pontos működésének munkahelyi ellenőrzése, amely az eszközök egyes tulajdonságainak ismételt kalibrációjára is kiterjed.

2. Elméleti összefoglalás

Az ionizáló sugárzás fizikai abszorpcióját az elnyelt dózissal (D) jellemezhetjük:

$$D = \Delta E / m \quad [1]$$

ΔE az m tömegű, az abszorpciót illetően homogénnek tekintett céltárgyban leadott sugárzási energia. Az elnyelt dózis mértékegysége a Gy (Gray), $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. Az elnyelt dózis biológiai károsítóképesége arányos az elnyelt dózis és az adott sugárzási fajta veszélyességére jellemző sugárzási tényező (w_R) szorzataként értelmezett egyenértékdózissal (dózisegyenértékkel) :

$$H = D * w_R \quad [2]$$

w_R elfogadott értéke a gamma- és béta-sugárzásra egységesen 1, alfa-sugárzásra egységesen 20, neutron-sugárzás esetében w_R a neutronenergia függvényében 5 és 20 közötti értéket vehet fel. Az egyenértékdózis mértékegysége a Sv (Sievert). Az emberi szervek nem egyformán érzékenyek az ionizáló sugárzások dózisára. Ezt az eltérő érzékenységet a (csak) sztochasztikus sugárkárosodást, azaz daganatos megbetegedést kiváltani képes, általában 1 Sv-nél kisebb szervdózisok esetében az egyes szövetekhez rendelt szöveti súlyozótényezővel (w_T) fejezik ki. A különböző szerveket ért dózist összegezve az effektív dózist (E) kapjuk:

$$E = \sum w_T * H_T \quad [3]$$

A dózismennyiségek időegységre eső hányada a dózisteljesítmény. Pl az elnyelt dózis esetében:

$$D = dD / dt \quad [4]$$

A dózisteljesítmény úgy is értelmezhető, mint a (homogén) céltárgy egységnyi felületét érő Φ energia-áramsűrűség (energiafluxus) és az anyag tömegabszorpciós együtthatójának (μ/ρ) a szorzata:

$$dD/dt = \Phi * (\mu/\rho) \quad [5]$$

Ez az értelmezés azért előnyös, mert elválasztva mutatja be a sugárzás abszorpciójának két összetevőjét: a céltárgyat elérő sugárzás energiáját és intenzitását illetve a céltárgynak az adott sugárzástípusára és energiára vonatkozó abszorpciók képességét.

A dózis- és dózisteljesítmény mérése során az lenne az előnyös, ha a mérőberendezés az emberi szövetekkel azonos abszorpciók sajátosságokkal rendelkezne. Mivel ez a legtöbb berendezés esetében csak bizonyos hibahatáron belül állítható, a berendezések hitelesítését általában elnyelt dózissal vagy dózisteljesítményre végzik el. Bonyolítja a helyzetet, hogy - különösen a gáztöltésű sugárzásdetektoroknál - a detektor válaszjelét valójában nem a benne elnyelt dózis, hanem a sugárzás és a detektor anyaga közötti primer kölcsönhatásban átadott energia alakítja ki. A primer energia egy része ugyanis szekunder sugárzást energiává (pl. fékezési röntgensugárzássá) alakulhat, amely az élő szervezet esetében valószínűleg elhagyja a közvetlenül besugárzott, az elnyelt dózis számításában homogénnek tekintett térfogatelemet. Elsősorban a méréstechnika szempontjainak megfelelően definiálták ezért a közölt dózis (K) vagy elterjedt angol mozaikszóval a kerma fogalmát:

$$K = \Delta E_{kin} / m \quad [6]$$

A közölt dózis a homogén térfogatelem tömegében átadott mozgási energiát jelenti, mértékegysége szintén a Gy. Értéke akkor egyenlő az elnyelt dózissal, ha a térfogatelemben megvalósul az úgynevezett szekunder részecske-egyensúly, azaz az adott térfogatelemben gyakorlatilag ugyanolyan mennyiségű (pontosabban: energiatartalmú) szekunder részecskeáram érkezik, mint amekkora kilép belőle. Az emberi szervezetet érő külső sugárterhelés esetében ez az állapot már a bőr rétegeiben beáll. Ezért a mérőberendezéseket - bizonyos speciális esetektől eltekintve - elnyelt dózissal kalibrálják, illetve hitelesítik.

Egy sugárforrás által okozott dózisteljesítmény számítása az [5] egyenlet megfelelő alakjának felhasználásával lehetséges. A legegyszerűbb eset az, ha egy pontszerű, homogén fotonenergiát kibocsátó gammasugárforrás dózisteljesítményét akarjuk meghatározni. A számítási egyenlet megadásához az is szükséges, hogy rögzítsük: a detektor úgynevezett levegőekvivalens falú, azaz a primer kölcsönhatásban elsődleges szerepet játszó detektorburkolat abszorpciók sajátosságai megegyeznek az azonos tömegű levegőével. (Ez a feltétel a legtöbb gáztöltésű detektorra teljesül.) Ha ismert a forrás aktivitása (A), a forrástól r távolságra tapasztalható dózisteljesítmény a [7] egyenlettel adható meg:

$$\dot{D} = k_{\gamma} * A / r^2 \quad [7]$$

D: dózisteljesítmény [$\mu\text{Gy/h}$]

A : aktivitás [GBq]

r : forrás-detektor-távolság [m]

k_{γ} : dózisállandó [$(\mu\text{Gy/h})/(\text{GBq/m}^2)$]

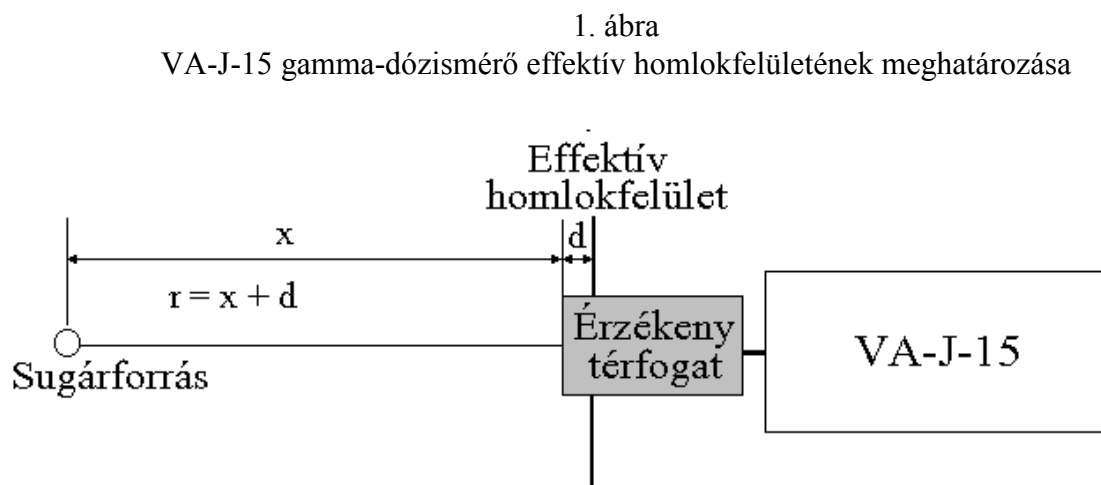
A dózisállandó egy arányossági tényező, melynek értéke tartalmazza a sugárzás gyakoriságát és energiáját, a pontforrás körül feltételezett gömbszimmetrikus alakzat miatt 4π -t, valamint az adott energiára és a levegőre jellemző tömegabszorpciók együtthatót, amely homogén sugárzást energián - a többi tényezővel együtt - konstans. k_{γ} értéke így az adott feltételek esetén állandó, és számításokkal vagy táblázatokból meghatározható.

3. A mérés elve

A dózisteljesítmény mérését VA-J-15 típusú, ionizációs kamrával felszerelt berendezéssel végezzük. A detektor érzékeny térfogatának és burkolatának anyagát úgy alakítják ki, hogy a keletkezett válaszjelek intenzitása egy hibahatáron (általában ± 20 %-on belül) arányos legyen a közölt-, illetve az elnyelt dózisteljesítménnyel, függetlenül attól, hogy a beérkező részecskék (gamma- és röntgenfotonok, esetleg béta-részecskék) egyenként mekkora energiát képviselnek. Ezt a sajátosságot nevezik - kissé elnagyoltan - a dózisteljesítménymérés energiafüggetlenségének. A dózis valójában - mint az az [1] és [5] egyenletekből látható - szorosan kapcsolódik a részecskék kinetikus energiájához.

4. A mérési feladat

Ha a dózisteljesítménymérő detektor a pontforráshoz képest nagy felületű, a forrás és a detektor távolságát egy képzeletbeli laptól, az úgynevezett effektív homlokfelülettől kell számítanunk ahhoz, hogy a [7] egyenlet jól használható legyen. Az effektív homlokfelület és a detektorház külső felszínének távolságát (d) kalibrációs méréssel lehet meghatározni. A mérési elrendezés vázlatát az 1. ábrán látható.



5. A méréshez szükséges eszközök és anyagok

A VA-J-15 ionizációs kamrás gammadózisteljesítmény-mérő berendezés kalibrációját ^{137}Cs vagy ^{60}Co pontforrással végezzük. A 661.6 keV gammaenergiájú ^{137}Cs dózisállandója $79 (\mu\text{Gy/h})/(\text{GBq/m}^2)$. A ^{60}Co -nak két gammaenergiája van, dózisállandója $305 (\mu\text{Gy/h})/(\text{GBq/m}^2)$.

6. A mérés menete

A mérés során a ^{137}Cs vagy ^{60}Co sugárforrások valamelyikének dózisteljesítményét mérjük egy mérőpadra felszerelt, VA-J-15 típusú dózisteljesítménymérővel. A berendezést a pontforrástól 80 - 120 cm távolságban helyezük el, a távolságot 5 cm-es lépésekben változtatjuk. Minden beállításnál három párhuzamos leolvasást végzünk.

7. Kiértékelés

Az effektív homloklfelület a detektor széle és geometriai középpontja között helyezkedik el. Az effektív homloklfelület és a detektor külső felszínének távolságát grafikus úton vagy számítógépes függvényillesztéssel határozhatjuk meg. A [7] egyenlet átalakításával lineáris összefüggés áll elő a leolvasott dózisteljesítmény gyökének reciproka és az effektív detektor-forrás-távolság között:

$$\frac{1}{\sqrt{\dot{D}_\gamma}} = \frac{1}{\sqrt{k_\gamma A}} * r \quad [8]$$

A grafikus megoldás esetében a gamma- dózisteljesítmények reciprokának négyzetgyökét ábrázoljuk az x távolság függvényében. Ekkor egy $(k_\gamma * A)^{-1/2}$ meredekségű egyenest kapunk, amelynek az abszcisszával való metszéspontja kijelöli az effektív homloklfelület helyét. A metszéspont és az origó távolsága adja meg az effektív homloklfelület és a detektor széle közti távolságot (d). Ismeretlen dózisterek kalibrálása alkalmával ettől a helytől kell számítani az r értékét ($r = x+d$). Mivel a k_γ dózisállandó ismert, az egyenes meredekségéből a sugárforrás aktivitása is meghatározható. Az eljárás pontatlanságát egyszerűen úgy becsülhetjük, ha összehasonlítjuk az így számított aktivitást a sugárforrás bizonylatolt aktivitásának a hitelesítést követően eltelt idő alatti bomlással korrigált értékével.

8. Ellenőrző kérdések

Mit jelent a dózismérők energiafüggetlensége?

Hogyan adható meg az arányosság a dózisteljesítménymérőben kialakuló közvetlen válaszjelek és a skáláról leolvasható dózisteljesítmény között ?

Milyen feltételek teljesülése esetén készíthetnek alfa- vagy neutronsugárzás egyenértékűdózisának mérésére alkalmas berendezést ?

9. Ajánlott irodalom

Virágh Elemér : Sugárvédelmi ismeretek (Mérnöki Továbbképző Intézet jegyzete, 1990.)