

EGYÉNI VÉDŐESZKÖZÖK ELLENŐRZÉSE RÖNTGENMUNKAHELYEKEN

Elek Richárd*

Nemzeti Népegészségügyi Központ Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztály,
Országos Személyi Dozimetriai Szolgálat, 1221 Budapest, Anna u. 5.

*elek.richard@osski.hu

A kézirat beérkezett: 2021.01.12.

Közlésre elfogadva: 2021.03.08.

Evaluation of personal protective equipment at X-ray workplaces

Recommendations for the evaluation of personal protective equipment, lead aprons and such are available as international standards, but the requirements for these demands a well-developed laboratory, experience, a highly specific infrastructure. This article investigates what possibilities are available at hand for medical X-ray workplaces to check the different characteristics of personal protective equipment. It briefly describes methods to either quantitatively or qualitatively evaluate the effectiveness of the protective gear and lists further considerations for the selection of the appropriate protective equipment, that are overlooked in standards applicable for the determination of the shielding characteristics.

Keywords: personal protective equipment, lead equivalent, shielding evaluation, ergonomy.

Az egyéni védőfelszerelések, úgymint ólomköpenyek és egyéb eszközök értékelésére különböző ajánlások, mint nemzetközi szabványok rendelkezésre állnak, azonban ezek meglehetősen komoly tapasztalatot és laboratóriumi infrastruktúrát követelnek meg a vizsgálataikhoz. Jelen közlemény annak a kérdésért járja körül, hogy milyen kulcsrakész lehetőségeik vannak az egyes orvosi röntgenmunkahelyeknek az egyéni védőeszközök különböző szempontú értékelésére. Röviden magyarázza azokat a módszereket, amelyekkel minőségi és mennyiségi értékelés végezhető a védőeszközök hatékonyságával kapcsolatban az egyes jellemzőik szerint, illetve a szigorúan csak az árnyékolóképesség értékelését előíró szabványokban közöltek felül további szempontokat is felsorol a megfelelő védőeszközök kiválasztásához.

Kulcsszavak: egyéni védőeszköz, ólomegyenérték, sugárgyengítés, ergonómia.

BEVEZETÉS

A Nemzeti Népegészségügyi Központ Sugárbiológiai és Sugáregészségügyi Főosztályához (NNK SSF) alkalmanként fordulnak olyan kéréssel röntgenmunkahelyekről dolgozók, hogy végezzük el számukra az újonnan beszerzett ólomköpenyeik vagy más védőfelszereléseik értékelését. Az NNK SSF ún. megfelelőségi vizsgálat keretében végzi a röntgenmunkahelyeken alkalmazott egyéni védőeszközök sugárgyengítésének minősítését, az [1] szabvány szerint. A szabvány előírásai szigorúak a geometriai elrendezés, a sugárminőség és a méréshez használt eszközök tekintetében. A megfelelőségi vizsgálat díja az előbbieket miatt leggyakrabban meghaladja egy adott védőeszköz beszerzési árát, tehát a tájékozódó konzultációk során arra terelődik a szó, hogyan végezhetnék el egyszerűen, a már meglévő röntgenberendezéseikkel a dolgozók az ellenőrzést.

CÉLKITŰZÉS

A jelen közlemény tehát a röntgenmunkahelyeken alkalmazott védőeszközök fajtáit és vizsgálataik lehetőségeit tárgyalja. Elsősorban arra igyekszik választ adni, hogy a radiográfusok hogyan végezhetnek maguk ellenőrzést arra, hogy az egyes védőeszközöket alkalmazhatják-e a továbbiakban, illetve az itt leírt módszerek testreszabásával akár rendszeres rutinellenőrzéseket is bevezethetnek, ami a kórházi minőségirányítási rendszer része is lehet. Egy másik célja még támogatást nyújtani az egyes eszközök kiválasztásához és felsorolni a kiválasztásuk sajátos szempontjait.

ESZKÖZÖK ÉS MÓDSZEREK

Alkalmazott védőfelszerelések

Először is érdemes tisztázni, hogy milyen védőfelszereléseket alkalmaznak az orvosi röntgenmunkahelyeken. Az alábbiakban azok az eszközök szerepelnek, amelyek akár egyének viselhetnek, vagy szolgálják az egyének védelmét:

Köpenyek. Széles körben alkalmazott egyéni védőeszközök, amelyek a hasonló nevű ruhadaraboknak megfelelő kialakításúak, azaz köpeny alatt olyan védőeszközt értünk, amely takarja a hátat, a mellkast és legalább a gonádokat, tehát körkörös védelmet biztosít. Térd alá vagy fölé érő változataik is léteznek, de fontos szempont, hogy a köpenyhez hasonlóan kell belebújni. Elöl legalább egy, de gyakran tenyérnyi szélességet meghaladó részen két rétegben is átfed.

Kötény. Elsősorban a mellkas és a gonádok védelmét szolgálják, a hátat nem takarják. Térd alá vagy fölé is érhetnek. Ellentétben a köpenyekkel, ezeket a mellkas felől kell felvenni és a hátra fekvő rögzítőkkel megkötni vagy tépőzárral, csattal rögzíteni. Egyes kötények olyan kialakításúak, hogy a mellkas közepére eső felületükön nagyobb a sugárgyengítésük.

Mellény. Önmagában ritkábban alkalmazott eszköz, szinte kizárólag a megfelelő szoknyákkal vagy gonádvédőkkel együtt fordulnak elő a röntgenosztályokon. Lehetnek kötényszerű, hátul nyitott, vagy köpenyszerű, azaz hátul zárt modelljeik.

Szoknya. A deréktól leggyakrabban a térdig, vagy az alá érő, körkörös védelmet biztosító védőeszköz. Egy adott felületén két rétegben átfed, ami célszerűen a gonádok elé eső felület. Önmagában nem alkalmazzák.

Gonádvédő. Csak elöl, a gonádok védelmére használatos eszköz. Elsősorban a páciensek egyes röntgenvizsgálatainál ajánlható takarásként, dolgozók sugárvédelmére a fentiek alkalmasabbak.

Pajzsmirigyvédő gallér. A nyakat árnyékoló eszköz. Alkalmazását a [2] szabvány írja elő egyes munkahelyeken, illetve tiltja például a panoráma röntgenberendezéseknél a páciensek takarására, mert az belelőghat a felvételbe, így hibát okozhatna.

Kesztyűk. Egy- és ötujjas kivitelben készülnek, különböző sugárgyengítéssel és ennek megfelelően eltérően akadályozhatják a finommotoros mozgásokat. Alapos körütekintést igényel a kiválasztásuk és használatuk, minden alkalommal érdemes mintadarabot kérni a beszerzés előtt.

Szemüveg. A szemlencse dózisegyenérték-korlát csökkenése miatt az elmúlt években megnövekedett népszerűségnek örvendenek. Különböző formatervezésű modellek, akár dioptriás, tehát személyre szabott változatban is készülnek. Elsősorban intervenciós munkahelyeken javasolt a használatuk az eljárást végző orvosoknál.

Áttekintő pajzs. Ismert még mennyezeti függesztésű pajzsként is. Közös tulajdonsága ezeknek, hogy szabadon mozgatható bizonyos tartományon belül és egyes átvilágító eljárásoknál alkalmazhatóak a szórt és szivárgó sugárzás elleni védelem céljából.

Vért. Olyan védőeszközöket értünk ez alatt, amelyek egy adott berendezéshez rögzítettek. Lehetnek elforgathatóak egy adott tengely mentén, illetve nem ritka olyan kivitelezésük sem, aminél egymással átfedő lamellákból áll a vért.

Paraván. Különböző magasságig érő falak, árnyékolások, leggyakrabban mozgatható kivitelűek. Lamellás, függönyszerű kialakításúak is lehetnek.

AZ ALKALMAZOTT VÉDŐESZKÖZÖK ÉRTÉKEKELÉSÉNEK SZEMPONTJAI ÉS VIZSGÁLATUK

Az optimalás egyik alapvetése, hogy az ALARA elve (vagyis az „észszerűen elérhető legalacsonyabb”) szerint történjen e folyamat. A védőfelszerelések kiválasztásakor az észszerűség kielégítése megköveteli, hogy az alábbiakban felsorolt szempontokat figyelembe vegyük és az egyes eszközök beszerzése során körütekintéssel járjunk el.

Sugárgyengítő képesség. Minden egyes röntgensugárzási elleni védelemre szánt eszköz egyik legfontosabb műszaki adata. Megadása az eszköz jellegétől függően eltérhet, ami lehet ólomegyenértékben (Pb mm) kifejezett számszerű érték, vagy gyengítési arány. Mindkét esetben csak akkor tekinthetjük korrektnek e tulajdonság ismertetését, ha meg van adva a számszerű érték, a mértékegység, illetve az, hogy mely sugárminőségen vizsgálta vagy vizsgáltatta a gyártó az adott eszközt. Az akkreditált vizsgálati jegyzőkönyvek kiadásakor egy további paraméter is szerepel a számszerű érték után, mégpedig a kiterjesztett mérési bizonytalanság becsült mértéke (pl. $k=2$, azaz 95%-os konfidenciaszint mellett). Példa tehát egy korrekt meghatározásra: 0,53 mm Pb ($\pm 0,03$ mm Pb; $k=2$) @ 80 kV.

Az egyes eszközök árnyékolásához használt anyagok anyagi minősége befolyásolja a sugárgyengítő képességet. A védőeszközök alkalmazásakor ugyanis az ólom használata kezd visszaszorulni környezetvédelmi és ergonómiai okok miatt. Megjelentek a korábbi „ólomgumi” keverékek mellett az antimon és a bizmut, illetve az ezekből felépített ólommentes védőeszközök. Ezek hasonló sugárgyengítéssel bírhatnak az ólomhoz, kisebb tömeg mellett. Itt azért nem az azonos kifejezés szerepel, mert a sugárgyengítő képesség a fotonenergia és az anyag függvénye, tehát még inkább fontos szerepelnie annak, hogy az adott sugárgyengítő képességet milyen sugárminőség mellett vizsgálták. A sugárgyengítő képesség meg kell feleljen annak, amit a munkahelyen közreműködő sugárvédelmi szakértő megállapít a munkahellyel egyeztetve. Ezt a követelményt a [2] szabványból vezethetik le, illetve egyéni tervezést is végeznek. Az egyes eszközök által biztosított védelemnek olyan kialakításúnak kell lennie, hogy minden, a szabályos munkavégzés során szükséges testhelyzetben biztosítsa a védelmet mindazokra a szervekre és szövetekre, amelyeket védeni kívánnak az expozíció során. E vizsgálati szempontnak az értékelését később részletezi e közlemény.

Ergonómia. Az egyes védőeszközökre vonatkozó szabványok [1, 3, 4] egy kevésbé kiemelt szempontja az ergonómia, amely azonban a mindennapi használhatóságukat meghatározza. Néhány gyártó a köpenyeikbe párnázatot varr, vagy olyan megoldásokat alkalmaz, amivel hosszabb ideig viselhető az akár 10 kg tömeget is elérő köpeny. Az eszköz tömege ergonómiai szempont, mert kóroki tényező lehet a mozgásszervi bántalmak kialakulásához [5]. Az Európa Tanács irányelve [6] szerint a védőfelszerelést úgy kell megtervezni, hogy a felhasználó mozgását, testtartását vagy helyváltoztatását ne korlátozza egy hosszabb expozíció alatt. Az irányelvnek való megfelelés nem vonja maga után azt, hogy az adott védőeszköz tartós viselése egy adott személy számára nem lesz kényelmetlen, ezért érdemes mintadarabot kérni a forgalmazóktól, hogy értékelhessék azt a későbbi felhasználóik. Az egyéni védőeszköz a ruhákhoz hasonlóan mérettel bír, megfelelően illeszkednie kell, tehát

csak a felhasználó testméretének megfelelő méretű eszközt érdemes alkalmazni. Az egyéni védőeszközök címkéi és azonosítói megadják, hogy milyen személynek javasolják használni a gyártók, ugyanakkor akárcsak egy ruhadarabnál, azt érdemes felpróbálni és értékelni a használatát.

Burkolatok, felületek. Az egészségügyben alkalmazott eszközök esetén kiemelten fontos, hogy a felhasznált anyagok könnyen tisztíthatóak legyenek a megfelelő szerekkel. A védőeszközöket gyártói, ha a termékük megfelel a [2] és [3] szabványnak, akkor a hozzájuk tartozó dokumentáció tartalmaz előírást arra, hogy milyen tisztítószer alkalmazható a védőeszköz fertőtlenítésére, tisztítására.

Optikai jellemzők. Mindazoknál az eszközöknél, amelyeken át kell tekintsenek a dolgozók, a fényáteresztő-képesség is kulcsfontosságú. Ezt a tulajdonságot általában a látható fény spektrumára, %-ban kifejezve adják meg a gyártók. A vizsgálat mintadarabon, vagy már alkalmazott védőeszközökön is elvégezhető szemrevételezéssel.

Tárolás. Elsősorban a köpenyek, mellények, kötények és szoknyák, gonádvédők esetén van jelentősége a tárolás módjának. A tárolást úgy kell megvalósítani, hogy azok ne töredezzenek, ne hajoljanak meg éles szögben, vagy gyűrődjenek meg. Erre a megfelelő teherbírású fogasok, tartók, tárolók alkalmasak. A már említett védőeszközök gyűröttségét, töredezettségét akár tapintással is ellenőrizhetjük. Fellógatott állapotukban két tenyerünkkel végigsimítva-tapogatva azokat megállapítható, hogy egyenletesen oszlik-e el bennük a védelmet biztosító anyag, nem töredezett meg vagy hullott le.

Ár. A szempont utolsóként szerepel, ugyanakkor a legkritikusabb a legtöbb beszerzés során. Az adott védelem kialakításának az ára, vagy a védőeszközök beszerzési költségei az előbbi mérlegelési szempontok mellett jelentős tényező lehet, például az átvilágító röntgenmunkahelyeken, ahol nagyszámú személy működhet közre a műtétek, beavatkozások során. A legdrágább köpenyek darabja akár százezres nagyságrendű tétel is lehet, egy komplett műtő felszerelése és több műtői „team” esetén ez már számottevő költséget jelent.

A fenti felsorolásban nem került külön kiemelésre a *képzés*, ami magától értetődő sokszor, ugyanakkor a hatósági személyi dozimetriai ellenőrzések során nem egyszer tapasztalható, hogy röntgenmunkahelyek dolgozói a dózismérőiket a köpeny fölött, az azokon gyakran elhelyezett zsebben tárolják. A magyarországi előírások szerint a dózismérőt a köpeny alatt, szívtájékon kell viselni.

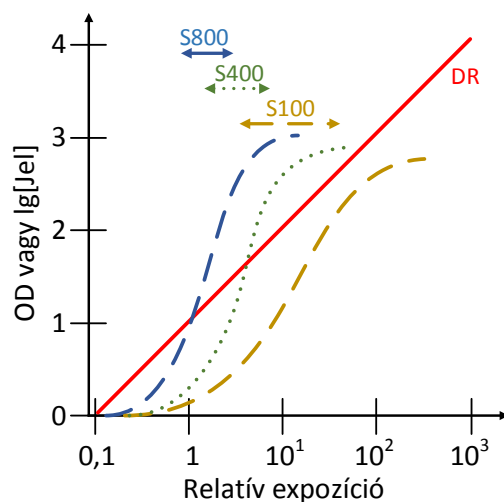
SUGÁRGYENGÍTŐ KÉPESSÉG ÉRTÉKELÉSÉNEK MÓDSZEREI

A röntgenmunkahelyeken felhasznált, egyéni sugárvédő eszközökben alkalmazott árnyékoló anyagok vizsgálatára a már hivatkozott szabvány [1] alkalmas. Emellett akad közlemény a szakirodalomban, amely ionizációs kamra segítségével a visszaszórást is figyelembe véve [7] végzett ellenőrzések eredményeiről számol be. Az ilyen jellegű közlemények komolyabb műszereket igényelnek, legalább kalibrált ionizációs kamrát és tapasztalatot, a szabványban leírt körülményekhez hasonló feltételeket.

Néhány újabb közlemény összehasonlító vizsgálatot mutat be az adott védőeszköz sugárgyengítésének meghatározására, különböző vastagságú rézlemezkek sorozatával [8], vagy éppen ólomlemezkekből épített sorozattal [9]. Utóbbiak azért érdekesek jelen közlemény szempontjából, mert az intézményeknél meglévő, a felvételi röntgenberendezéseikbe szerelt digitális képreceptort alkalmazzák az elemzéseikhez.

Az elvi alapja annak, hogy a képreceptorral becsülhető egy anyag sugárgyengítése már a röntgenfilmek alkalmazásakor is érvényes volt, ezért lehet velük képet alkotni. A röntgenfilmek esetén a Hurter-Driffield görbe írja le a film dózis–feketedés összefüggését, azaz az expozíció függvényében a film optikai denzitását (OD). Az 1. ábrán különböző

érzékenységi (S=speed, magyarul érzékenység) filmek szenzitometriai görbéi és azok lineáris szakaszai láthatóak. Ezek mellett feltüntettem még a digitális képreceptorok válaszfüggvényét is, ami gyakorlatilag lineárisnak tekinthető a filmeknél jóval szélesebb dózistartományban. A felvételezendő anatómia a lineáris szakaszon képezhető le a legelőnyösebben.



1. ábra: Hurter-Driffeld szenzitometriai görbe

Amíg a hatósági személyi dozimetriai ellenőrzésekhez filmeket alkalmaztunk, addig szintén a görbék ezen szakaszát „használtuk ki” dozimetriai célból. A digitális képreceptor széles dinamikatartománya elméletileg alkalmassá teszi arra is, hogy a sugárgyengítést meghatározzuk, mintha egy mérőműszer lenne. Az egyes anyagok sugárgyengítését az ismert összefüggés írja le (1):

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

ahol

- I : a gyengített intenzitás,
- I_0 : a nyáláb gyengítetlen intenzitása,
- μ : a sugárgyengítési tényező,
- x : a sugárgyengítő anyag vastagsága.

Az előbbi közlemények megismerése mellett saját kutatást végeztem, amelyhez egy referenciaként szolgáló ólomlemez-sorozatot állítottam össze. Ennek egyes részei 0,12 ($\pm 0,01$); 0,22 ($\pm 0,01$); 0,34; 0,41 ($\pm 0,01$); 0,63; 0,75; 0,83 ($\pm 0,02$); 1,24; 1,46; 1,58 mm vastagságú, hengerelt ólomlemezektől, 0,25 és 0,5 mm névleges ólomgyengítésként ólomgumi lapokból, illetve 0,5 ($\pm 0,02$); 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 mm vastagságú ólomlemezektől állnak. Az aláhúzások az átfedéssel adódó lemezvastagságokat, a zárójelbe tett értékek a mintavétellel mért vastagságok türését, azaz minimumát és maximumát jelölik. A lemezek tényleges vastagságát legalább 10 pont mérésének átlagából adtam meg, amelyet nóniuszkálás mikrométerrel végeztem.

A vizsgálatok során Carestream DRX-1 Ascend, Siemens Ysio Max és Philips Digital Diagnost C50 típusú röntgenberendezésekkel készítettem 60, 80, 100, 125 és 150 kV csőfeszültségek mellett, kiegészítő szűrés nélkül, 10 mAs röntgensőáram-idő szorzat beállításával felvételeket. A szellemképesedés elkerülésére alacsony röntgensőáram-idő szorzattal készültek a felvételek, azonban ez megnövelte a képzajt. A képközléshez digitális sikképreceptort alkalmaznak, amely cézium-jodid (CsI:Tl) vagy gadolínium-oxisulfid ($Gd_2O_2S:Tb$, „GOS” vagy „Gadox”) szcintillátor segítségével alkot képet. A Siemens gyártmányú berendezéseken kereken 80 kV nem, csak 81 kV állítható be, az eredményeket

közlő szakaszban ezért ez a berendezés is 80 kV értékkel szerepel. A névleges teljes (állandó) szűrésük legalább 2,5 mmAl egyenértékű.

Minden felvételkedészítést megelőzően, az egyes berendezéseknél ellenőriztem a röntgenberendezések csőfeszültségének a pontosságát (<2,5%) a vizsgálati tartományban és a sugárzás-kibocsátásuk reprodukálhatóságát (<1%).

Az elkészült felvételeket az ImageJ, ingyenes, nyílt forráskódú szoftverrel értékeltem ki. A felvételeken kb. 1 cm² méretű tárgyérdekű területeket (region of interest, ROI) jelöltem ki, amelyeket az egyes lemezek leképezett részletein helyeztem el úgy, hogy azok homogén részekre kerüljenek. A ROI-k mérete, így az azokba eső pixelek számossága kompenzálja a felvételek alacsony röntgensőáram-idő szorzataiból származó zajosságot. Az egyik berendezésből nem volt mód kinyerni a nyers, képi utófeldolgozástól (flat-field, kiemelések) mentes felvételeket, amelyek a „for processing” címkét viselik, ezért e felvételeken csak olyan ROI-kat jelöltem ki, amelyek nem a leképezett lemezek széleihez (>5 mm) estek közel, ez jelentősen befolyásolta az eredményeket.

Az említett közleményekkel [8, 9] azonos módon a mért pixelértékek (PV) adott ROI-ba eső átlagait (MPV) és az adott sugárgyengítő lemezek ólomgyenértékét (mm Pb) vetettem össze. A kijelölt ROI-kat a 3c. ábra mutatja be. A pixelérték megfelel a monitoron megjelenítendő szűrkeskáláértéknek vagy fényességnek, a filmes technikához hasonlóan a világosabb részletek kevésbé exponáltak, ezt a megjeleníthető legnagyobb fényességhez, pixelértékhez közelebb eső számérték jellemez.

A fentiekén túl meghatároztam a pixelértékek tapasztalati szórását (SD PV), illetve azok minimális (Min PV) és maximális értékeit (Max PV). Utóbbi három paraméter tájékoztatásul szolgál a lemezek homogenitásáról, és elsősorban ellenőrzési célt szolgált a meghatározásuk. Az említett közleményekben megadott görbeillesztési módszerekkel, vagy éppen az Archer-féle képlettel [10] ellentétben az ólomgumi lemezek tényleges ólomgyenértékének meghatározására az egyszerű lineáris interpolációt alkalmaztam a szomszédos adatpontok között (2. képlet), a kellően részletes felbontású lemezsorozat és a mérést terhelő egyéb hibák jelentős torzító hatásai miatt. Megjegyzendő, hogy nem elengedhetetlen táblázatkezelő program használata a mérési eredmények kiértékeléséhez, az segítséget nyújthat a feldolgozás során.

$$x = x_1 + (MPV_x - MPV_1) \frac{x_2 - x_1}{MPV_2 - MPV_1} \quad (2)$$

ahol

x : az ismeretlen ólomlemez vagy ólomgumi vastagsága,

x_1 : az ismeretlen ólomlemeznél vékonyabb ólomlemez ismert vastagsága,

x_2 : az ismeretlen ólomlemeznél vastagabb ólomlemez ismert vastagsága,

MPV_x : az ismeretlen ólomlemezhez tartozó átlagos pixelérték,

MPV_1 : az ismeretlen ólomlemeznél vékonyabb ólomlemezen mért átlagos pixelérték,

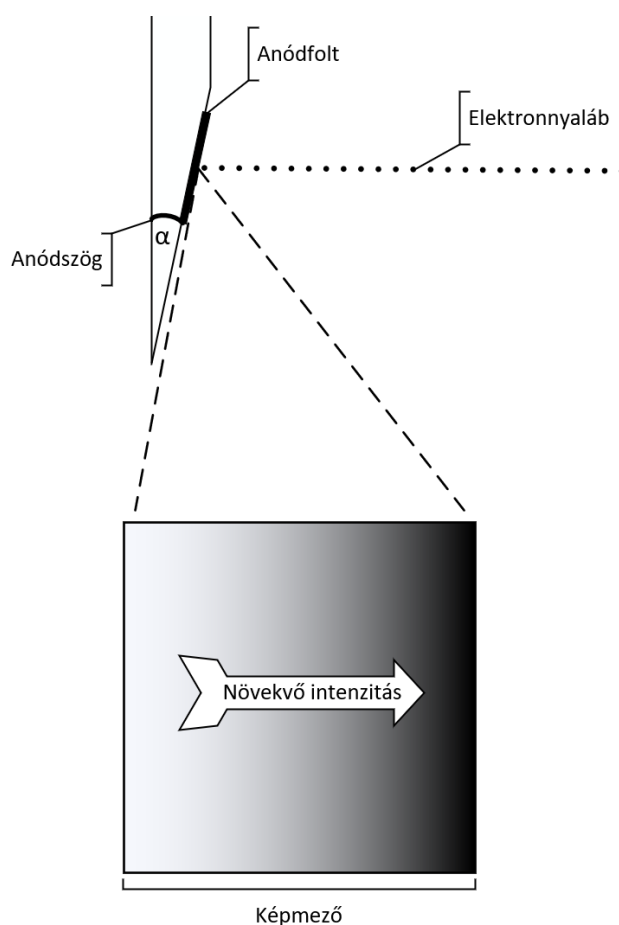
MPV_2 : az ismeretlen ólomlemeznél vastagabb ólomlemezen mért átlagos pixelérték.

Hagyományos értelemben az ólomlemez sugárgyengítő képességének vizsgálatokor egyre csökkenő válaszjeleket kellene kapjunk a detektoroktól, azonban a lineáris interpoláció és az összehasonlítás módszerével nem feltételezünk semmilyen fizikai modellt a képreceptor működéséhez, így a [8] és [9] közleményekben közöltekkel ellentétben az értékeléshez nem kell a pixelértékeket invertálni. A fizikai modell elhanyagolása miatt akár foszforlemez (Computed Radiography, CR, számítógépesített radiológiai) képalkotókkal is alkalmazhatóak az itt leírtak, amennyiben az alkalmazott ólomlemez-sorozat elég kis lépésközü a vizsgált

tartományban, vagy linearizálták a képreceptor választ [11], mivel a CR képalkotók nem-lineáris válaszuak.

A mérést torzító hibák közé tartozik az anódsarok-jelenség, amely abból adódik, hogy a röntgensöről kilépő fotonok nem egyenletes eloszlásúak, sem mennyiségi, sem minőségi tekintetben. Az anód tompaszögű a katódból kilépő elektronok pályájához képest, amit az elektronok pályájára merőleges síkkal bezárt hegyesszöggel jellemzünk (α). Ez a felvételi röntgenberendezések esetén kb. 15° , az anódból kilépő fotonok mennyisége a katódcsésze irányában növekszik a képmezőn. Ezt a jelenséget igyekszik szemléltetni a 2. ábra is. További bizonytalanságot eredményez a képreceptor érzékenységének inhomogenitása és a ROI-k kijelölésének bizonytalansága, illetve a nagyobb csőfeszültségeken előforduló visszaszórás, az ólomlemezek sajátos inhomogenitása mellett.

A felvételek szemrevételezéses ellenőrzésekor a képkértékelő program kontraszt/fényesség beállítására szolgáló ablakoló funkcióit is felhasználtam.



2. ábra: Az anódsarok jelenség illusztrációja

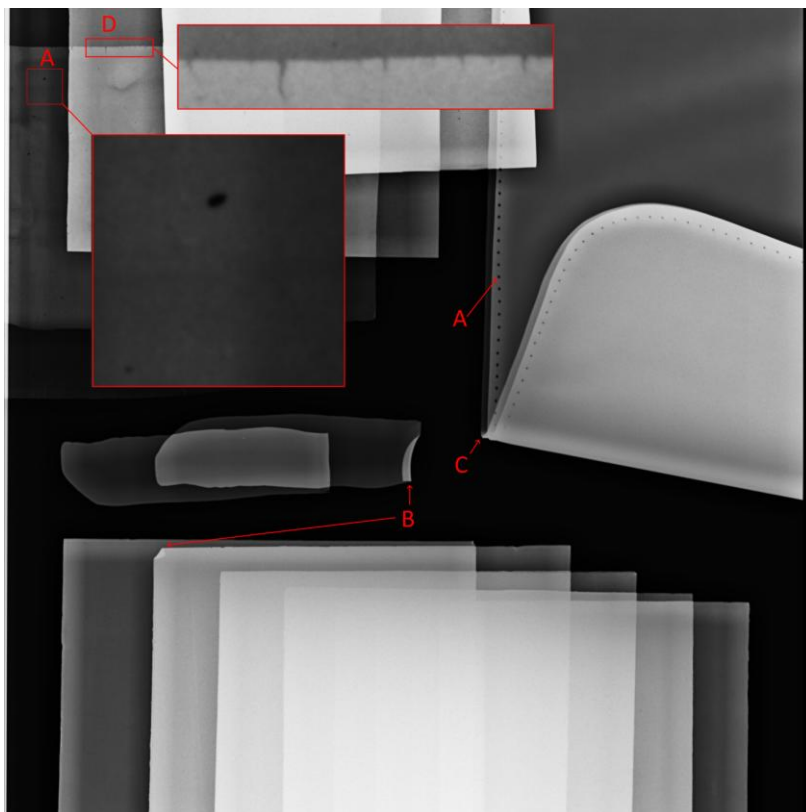
EREDMÉNYEK

Az egyes védőeszközökről készült felvételek alkalmasak még arra is, hogy a szemrevételezéssel, vagy akár a tapintással nem észlelhető hibákat is felderíthessük.

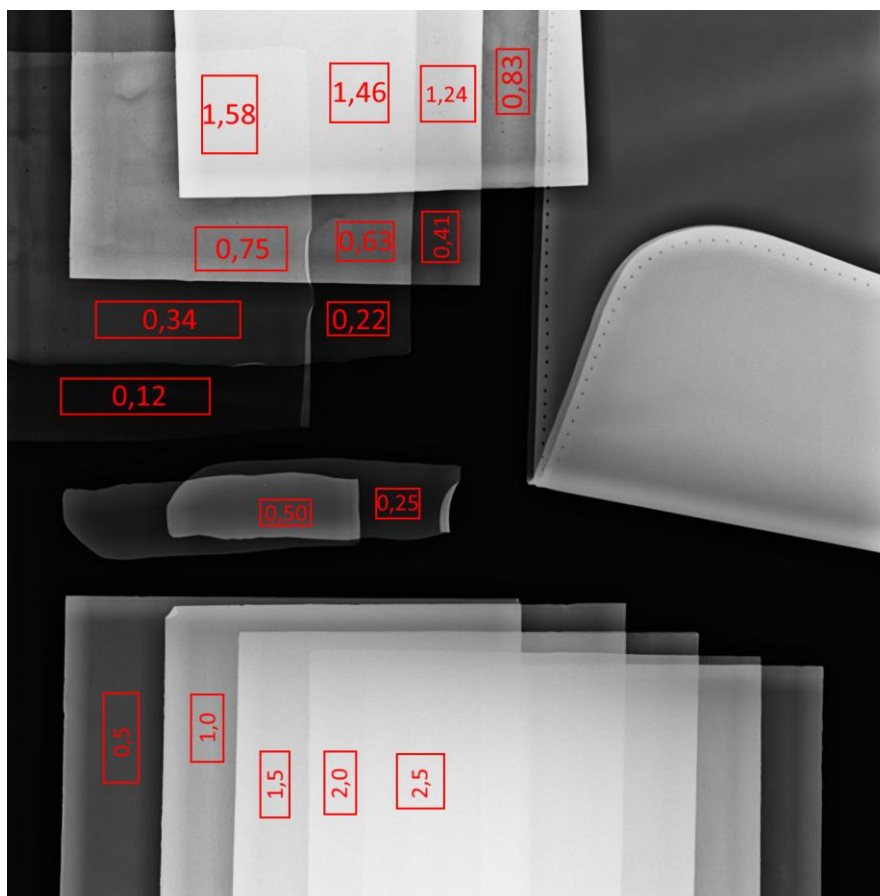
A 3a. ábrán látható példaként az egyik mérési elrendezés, feliratozva az egyes vizsgált lemezeket. A következő képen az azonos irányba forgatott, 80 kV röntgensőfeszültség mellett készült röntgenfelvételük tekinthető meg (3b. ábra).



3a. ábra: Mérési elrendezésről készült fényképfelvétel



3b. ábra: Adott mérési elrendezésről készült röntgenfelvétel 80 kV csőfeszültség beállításával



3c. ábra: A mérésekhez kijelölt ROI-k és az azokhoz tartozó ólomegyenértékek

A felvételen jól látszanak az egyes betűjelekkel jelzett részletek, amelyeket kiemeltem:

„A”: Egyes ólomlemezeken, itt a 0,12 mm vastagságún, apró lyukak figyelhetőek meg. Ez a pixelértékek vizsgálatakor a csőfeszültségtől függő, megjeleníthető minimális szürkeértékként számszerűsíthető. Ezek az ólomlemez vékonyítása, a hengerlés során keletkezett lyukak. Nagyobb (kb. 1 cm² területű ROI kijelölése mellett az ebből adódó hiba nem számottevő (<2%). Hasonló hiba figyelhető meg a jobb oldalon, a kötény szegésénél.

„B”: Az ólomlemez és az ólomgumi „szamárfüles”. Az effajta hiba az egyéni védőeszközöknél gondot jelent, az ólomgumi az ilyen éles hajlítások mentén könnyen széttöredezik.

„C”: Jól látható, hogy a kötény két belső ólomgumi rétegből tevődik össze. Ezt a kontrasztban eltérő, párhuzamos kontúrokból állapíthatjuk meg, a kötény pereme „életlennek” hat.

„D”: Az ólomlemez széle repedezett. Sajnos ez a jelenség itt szintén az alkalmazott, hengerlési technológiából adódik. Az egyes ólomgumi védőeszközök esetén az anyag szintén mutathat hasonló mintázatot, ami abból adódhat, hogy a gumi kiszárad és megrepedezik.

Az ólomlemez pereménél megfigyelhető az is, hogy a példaként hozott berendezés esetén nem volt kinyerhető a nyers felvétel, a fényesség itt nagyobb, tehát élkimelést végzett a képfeldolgozó.

Az 1. táblázat összesíti az egyes ROI-k mérési eredményeit (MPV). A berendezéseket római számú jelzet azonosítja, így azok nem azonosíthatóak, de a táblázatokat követő, az 1. táblázat eredményeit ábrázoló diagramokon leolvasható a hozzájuk tartozó, függvényként adódó érték.

1. táblázat: Ólomlemezek vastagsága és a rajtuk mért átlagos pixelértékek

Jelzet	U (kV)	Ólomlemezek									
		Pb (mm)									
		0,12	0,22	0,34	0,41	0,63	0,75	0,83	1,24	1,46	1,58
I.	60 kV	23583,1	31834	47777	48569	57095	59245	60854	60512	59512	58085
	80 kV	3005	2217	7556	<u>8876</u>	<u>19728</u>	27891	29991	43685	48053	50777
	100 kV	1740	1199	1303	1221	1676	4796	6913	18020	18707	28183
	125 kV	1016	968	827	820	746	690	1000	5121	9186	11360
	150 kV	708	667	660	642	452	402	653	1294	3471	3888
II.	60 kV	1239	1564	2147	2205	2523	2727	2950	3078	3272	3519
	80 kV	1051	1344	1746	<u>1969</u>	<u>2400</u>	2555	2649	3110	3377	3604
	100 kV	959	1221	1789	1869	2326	2528	2704	3125	3358	3566
	125 kV	851	856	1317	1526	1997	2207	2431	3050	3321	3565
	150 kV	1132	1093	1106	1215	1878	2067	2326	3020	3330	3516
III.	60 kV	169	331	948	1189	2391	2982	3228	3339	3405	3448
	80 kV	162	244	479	<u>631</u>	<u>1358</u>	1908	2114	3114	3401	3523
	100 kV	181	212	386	475	987	1365	1495	2501	2970	3202
	125 kV	328	318	359	449	892	1283	1385	2484	2890	3058
	150 kV	394	390	378	393	692	1012	1185	2252	2630	2849

2. táblázat: Ólomgumi és nagy vastagságú ólomlemez sorozat átlagos pixelértékei

Jelzet	U (kV)	Ólomgumi		Ólomlemezek				
		Névl. Pb (mm)		Pb (mm)				
		0,25	0,5	0,5	1	1,5	2	2,5
I.	60 kV	41783	57642	57555	61029	60750	61014	60689
	80 kV	5429	19749	<u>16947</u>	37711	45575	50221	50718
	100 kV	1111	2516	1939	10483	23929	31216	33107
	125 kV	1343	1269	1031	2326	11222	16573	18752
	150 kV	822	922	760	496	5250	9386	11884
II.	60 kV	1862	2306	2446	2715	2646	2588	2728
	80 kV	1650	2243	<u>2252</u>	2887	3025	3181	3118
	100 kV	1416	2189	2152	2913	3123	3310	3365
	125 kV	837	1844	1705	2722	3197	3477	3391
	150 kV	1113	1516	1492	2632	3234	3509	3462
III.	60 kV	510	1558	1512	2653	2807	2962	3088
	80 kV	333	1023	<u>885</u>	2124	2787	3087	3457
	100 kV	272	728	622	1779	2619	3213	3294
	125 kV	328	678	555	1610	2460	3011	3240
	150 kV	394	513	443	1379	2258	2894	3032

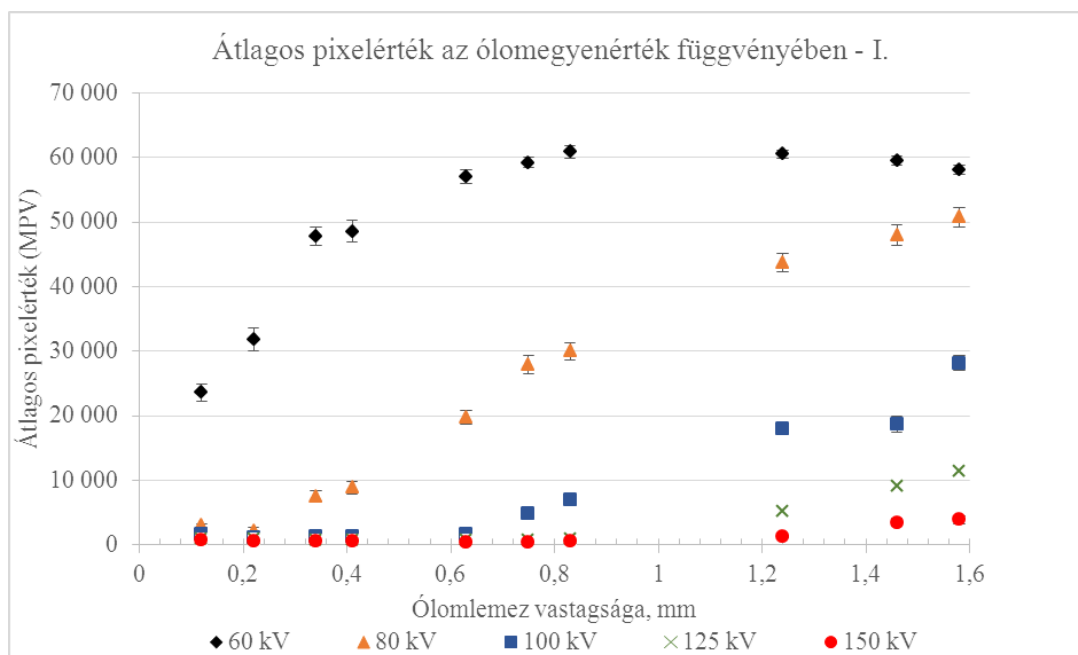
A diagramokon jól látszik, hogy a nagyobb csőfeszültségeken (125 és 150 kV) a berendezések képreceptorai által kapott pixelértékek nem növekednek az ólomlemez vastagságával arányosan. Ez egyfelől a visszaszórásból adódik, vagyis a képreceptor mögött elhelyezkedő, a Bucky szerkezetében található elemek miatt, valamint olyan jelentéktelen mértékű a 0,12...0,42 mm vastagságú ólomlemez sugárgyengítő hatása ilyen

fotonenergiákon, hogy az ezekből származó, leképezett pixelérték is elhanyagolható lesz. Számottevő még a képreceptorok érzékenysége is e fotonenergiákon. Ezen okok miatt érdemes a 80–100 kV tartományra szorítkozni a következő számítással.

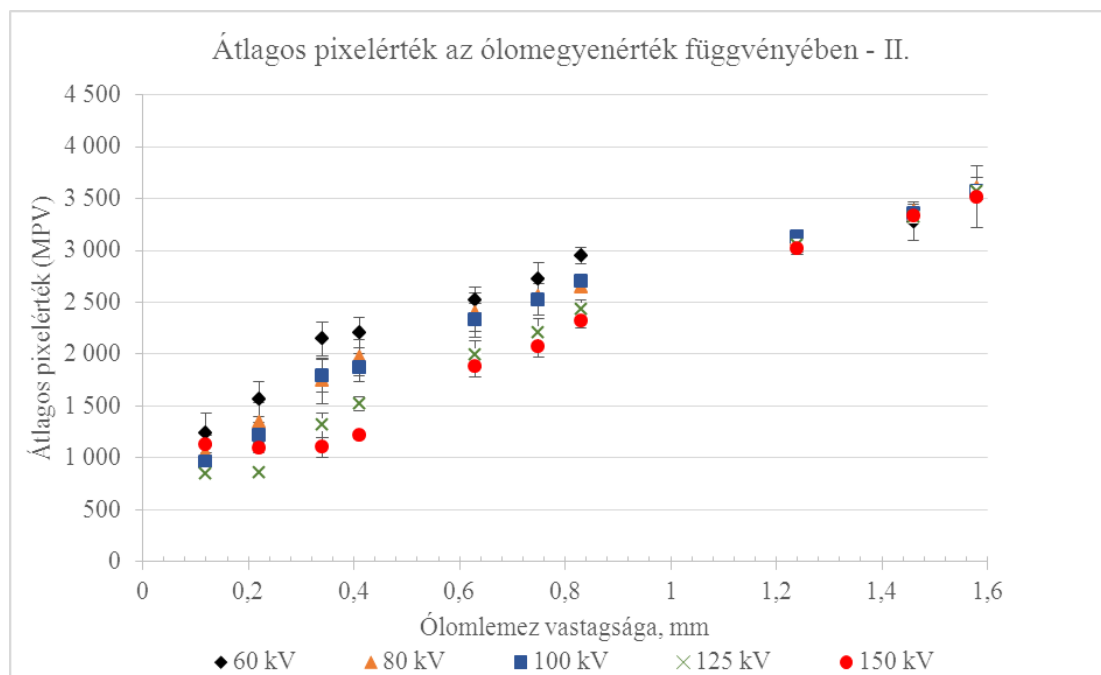
A diagramokon megfigyelhető még a képreceptorok telítődése is, vagyis az, hogy a lineáris üzemi szakaszuk korlátozott.

Az Eszközök és módszerek szakaszban említett lineáris interpoláció alkalmazásával a 0,25 és a 0,5 mm névleges ólomgyenértékű ólomgumi lemezek mért ólomgyenértékére az I. berendezés esetén 0,29 és 0,63 mm Pb, a II. esetén 0,31 és 0,55 mm Pb, illetve a III. jelzetűnél 0,27 és 0,53 mm Pb adódik a számítás eredményeként, 80 kV csőfeszültség mellett.

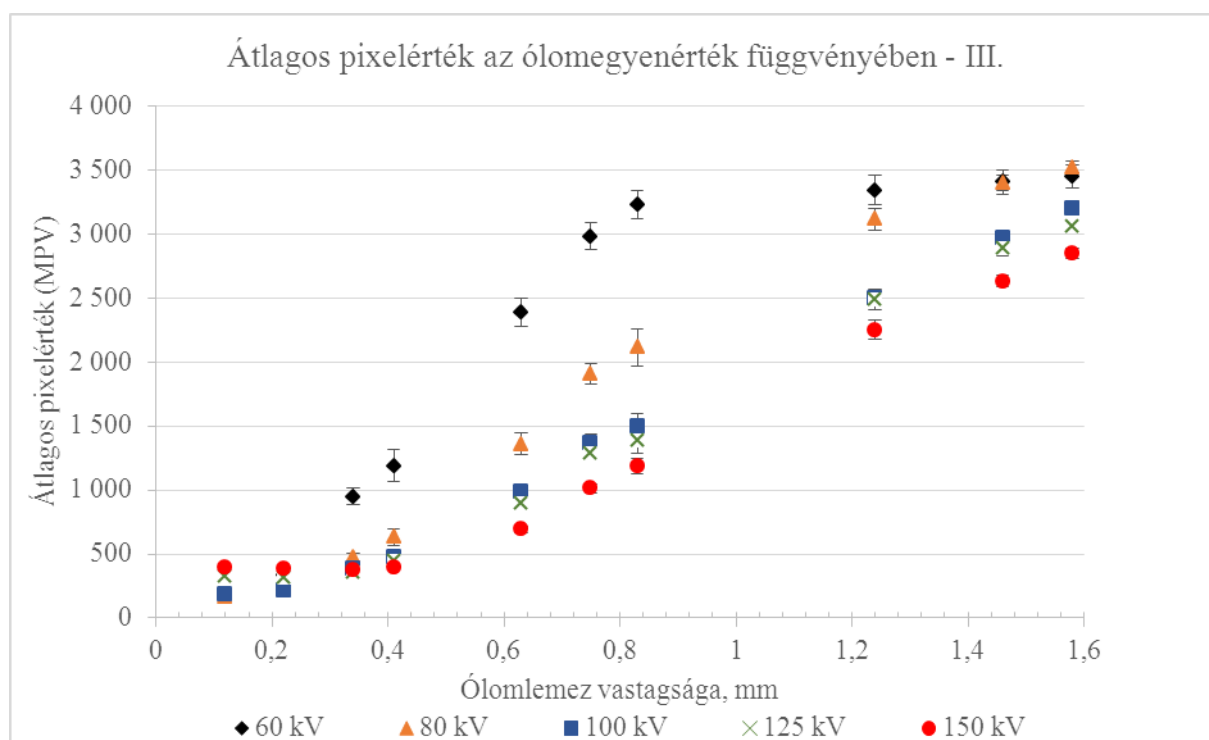
Az ólomgyenérték ilyen meghatározásakor a mérési bizonytalanságot nehéz becsülni. Az eredményeket szemléltető 4. ábraszorozat feltünteti a mért pixelértékek szórásait is. Ez önmagában nem jellemzi a mérési bizonytalanságot. Az 1. táblázatban aláhúzással és kerettel kiemelt adatok között lineáris interpolációt alkalmazva (2. képlet) azt kapjuk, hogy az I., II., és III. berendezéseknél rendre 13.315, 2145 és 928 átlagos pixelértékű kellene legyen a 0,5 mm Pb ólomgyenértékű lemez alatt mérhető intenzitás. Ezzel szemben a 2. táblázatban összefoglalt ólomlemezekkel kapott átlagos pixelértékek: 16.947 (+27%), 2252 (+5%) és 885 (-5%) eltérnek az ólomgumi lemezekkel kapott adatoktól. Az I. adat esetén a jelentős kiugrás annak köszönhető, hogy a berendezés élkimelő algoritmusát nem sikerült kikapcsolni és a nyers felvételeket értékelní. A 0,12–1,58 mm vastag ólomlemezek ROI-jai kisebb méretűek voltak, míg a 0,5–2,5 mm vastag lemezek ROI-jai nagyobbak, így ezeknél nem érvényesült e torzító hatás.



4a. ábra: I. berendezés eredményeinek diagramja



4b. ábra: II. berendezés eredményeinek diagramja



4c. ábra: III. berendezés eredményeinek diagramja

A vizsgált ólomgumi lemezek sugárgyengítése rendre nagyobb e mérések alapján, mint azok névleges ólomgyenértéke.

KÖVETKEZTETÉSEK

Az e közleményben bemutatott kísérleti munka alapján ellenőrizhetők – bonyolultabb infrastruktúra nélkül – az egyéni védőeszközök, legalább annak eldöntésére, hogy az ólomgyenértékük közel azonos-e a gyártó által megadott névleges értékkel, valamint

azonosításukra és állapotuk ellenőrzésére is módot biztosít a röntgenfelvételezésük, tetszőleges képalkotó technika alkalmazása mellett.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kísérleti munka előkészítéséhez több alkalommal végeztem vizsgálatot Innomed TOP-X CHEST röntgenberendezéssel, ezért hálás köszönet illeti Magyar Zsolt Béla radiográfust, aki támogatta a munka előkészítését, illetve kollégámat, Mihályi Dávidot, aki egyes mérések lebonyolításában és megszervezésében közreműködött.

IRODALOM

- [1] MSZ EN 61331-1:2015 Gyógyászati diagnosztikai röntgensugárzás elleni védőeszközök. 1. rész: Anyagok csillapítási tulajdonságainak meghatározása (IEC 61331-1:2014).
- [2] MSZ 824:2017 Sugárzás elleni védelem orvosi és állatorvosi röntgenmunkahelyeken.
- [3] MSZ EN 61331-2:2015 Gyógyászati diagnosztikai röntgensugárzás elleni védőeszközök. 2. rész: Átlátszó védőlapok (IEC 61331-2:2014).
- [4] MSZ EN 61331-3:2015 Gyógyászati diagnosztikai röntgensugárzás elleni védőeszközök. 3. rész: Védőruházat, védőszemüveg és páciensgonád-védő eszközök (IEC 61331-3:2014).
- [5] A. M. Ross, J. Segal, D. Borenstein, E. Jenkins és S. Cho, „Prevalence of spinal disk disease among interventional cardiologists” Am. J. Cardiol. 79, 68–70 1997
- [6] 89/686/EGK irányelv az egyéni védőeszközökre vonatkozó tagállami jogszabályok közelítéséről.
- [7] E. G. Christodoulou, M. M. Goodsitt, S. C. Larson, K. L. Darner, J. Satti és H-P. Chan, „Evaluation of the transmitted exposure through lead equivalent aprons used in a radiology department, including the contribution from backscatter” Med. Phys. 30 (6), 2003.
- [8] R. S. Livingstone és A. Varghese, „A simple quality control tool for assessing integrity of lead equivalent aprons” Indian J. Radiol. Imaging. vol. 28/2, 2018.
- [9] R. R. Wargo, A. F. Aljabal és P-J. P. Lin, „Evaluation and verification of a simplified lead equivalency measurement method” J. Appl. Clin. Med. Phys. 21:2:152-156, 2020.
- [10] NCRP Report No. 147, Structural Shielding Design for Medical X-Ray Imaging Facilities, National Council on Radiation Protection, 2004.
- [11] E. Samei, J. A. Seibert, C. E. Willis, M. J. Flynn, E. Mah és K. L. Muck, „Performance evaluation of computed radiography systems” Med. Phys. 28 (3), 2001.

Készült a SOMOS Alapítvány támogatásával