

A SZEMÉLYI DOZIMETRIA FEJLESZTÉSE AZ IZOTÓP INTÉZET KFT.-NÉL

Kovács Bence^{*1}, Szőnyi-Pákai Renáta¹, Gáspár Lilla² és Elek Richárd³

¹Izotóp Intézet Kft.

²Budapest Főváros Kormányhivatala, Metrológiai és Műszaki Felügyeleti Főosztály

³Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központ

*kovacs@izotop.hu

A kézirat beérkezett: 2024.03.16.

Közlésre elfogadva: 2024.05.29.

The Institute of Isotopes Ltd. has become Hungary's most important research, development and manufacturing centre for radioisotope applications over the past 30 years. The company provides its employees with high level of protection in hazardous jobs and uses its own personal dosimetry system in addition to the official personal dosimeters to be worn by them.

In recent years, the company has reviewed its thermoluminescent (TLD) whole-body dosimetry system in use and has decided to introduce new technology to monitor its staff. The accepted offer for the company's tender in 2022–2023 was Canberra-Packard Ltd. with the German-developed dosimetry system from Dosimetrics, BeOSL.

In our presentation we will introduce the BeOSL system in more detail, covering the optically stimulated luminescence technology, the principle of operation of the system, and its advantages and disadvantages compared to other systems. We will also report on our daily experience as users, as well as on its use and the results of an ad-hoc organised intercomparison exercise.

Keywords: BeOSL, dosimetry, development

Az Izotóp Intézet Kft. az elmúlt 30 évben Magyarország legfontosabb radioizotóp alkalmazásokkal kapcsolatos kutató, fejlesztő és gyártó központjává vált. A Kft. sugárveszélyes munkakörben foglalkoztatott munkavállalóit megfelelő minőségű védelemben részesíti, és a számukra biztosított hatósági személyi dózismérők mellett, saját személyi dozimetriai rendszert is használ.

Az elmúlt évek folyamán az eddig használt termolumineszcens (TLD) egésztest dózismérő rendszert felülvizsgálta és a személyi dozimetria fejlesztését tűzte ki célul és döntött úgy, hogy újabb technológiát vezet be a személyzet ellenőrzésére. 2022–2023-ban a Kft. által kiírt pályázat győztese, a Canberra-Packard Kft. és a német Dosimetrics BeOSL dozimetriai rendszere volt.

Jelen publikációban a BeOSL rendszert kívánjuk részletesebben bemutatni, kitérve az optikailag stimulált lumineszcens technológiára, a rendszer működési elvére, valamint előnyeire és hátrányaira más rendszerekkel szemben. Felhasználókként a mindennapi tapasztalatainkról, valamint a használatáról és egy ad-hoc szervezett összemérésben kapott eredményekről is beszámolunk.

Kulcsszavak: BeOSL, dozimetria, fejlesztés

BEVEZETÉS

Az Izotóp Intézet Kft. (továbbiakban Kft.) kb. 80 főt foglalkoztat „A” besorolású sugárveszélyes munkakörben, akik számára a hatósági személyi dózismérők mellett saját dozimétert is biztosít, illetve kb. 70 főt, akik a munkájuk során nem szükségszerűen, de kapcsolatba kerülhetnek nagyaktivitású fotonsugárzó forrásokkal. Annak érdekében, hogy a

Kft. demonstrálja, hogy a munkavállalóit megfelelő minőségű védelemben részesíti, saját személyi dozimetriai rendszert is használ. Ehhez önálló dozimetriai rendszer alkalmazása elengedhetetlen az előbbiektől, és a Kft. sokrétű tevékenysége miatt, mely magába foglalja a radiógyógyszer-gyártást, a sugárforrások gyártását és tokozását, újrahasznosítását, az ipari nagybesugárzók (> 370 TBq) töltetcsereit stb. A Kft. vezetése 2022-ben felülvizsgálta a személyi dozimetria részét képező termolumineszcens (TLD) egésztest dózismérő rendszert. A felülvizsgálat az 1990-es években üzembe helyezett TLD rendszer elavulása, valamint a kiértékelési munkafolyamatok időigényessége és körülményessége miatt vált szükségessé. Ezeknek a problémáknak a fényében Lakatos Mihály, a Kft. ügyvezető igazgatója jóváhagyásával az Izotóp Intézet Kft. pályázatot írt ki a személyi dozimetriai rendszer fejlesztésére.

A 2023-as év elején a győztes pályázó a Canberra-Packard Kft. és a német Dosimetrics BeOSL dozimetriai rendszere volt.

A rendszer telepítése és a hozzá tartozó oktatás 2023. júliusában történt meg. A 3 napos oktatáson a Kft. sugárvédelmi szolgálatának munkatársai mellett vendégként részt vett Elek Richárd a Nemzeti Népegészségügyi és Gyógyszerészeti Központtól, Taba Gabriella a Semmelweis Egyetem Sugárvédelmi Szolgálatának vezetője, Csizmadia László az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. munkatársa és természetesen a Canberra-Packard Kft. munkatársai. Az oktató Dr. Reiner Eßer volt, a Dosimetrics Kft. szakértője, aki fontos szerepet töltött be a BeOSL rendszer kifejlesztésében és talán a legnagyobb tapasztalattal rendelkezik a rendszerről, mellyel kb. félmillió dozimétert értékelnek ki havonta a Helmholtz Zentrum München intézetében, Németországban. A fejlesztés minőségéről sokat elárul, hogy a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség is alkalmazza bizonyos dozimetriai feladatai esetén.

A telepítéssel egybekötött oktatás keretein belül megismerhettük a rendszer működéséhez szükséges alapokat, a használatát és minden olyan apró részletet, mely elengedhetetlen ahhoz, hogy a felhasználó könnyedén és egyszerűen tudja alkalmazni a BeOSL rendszert.

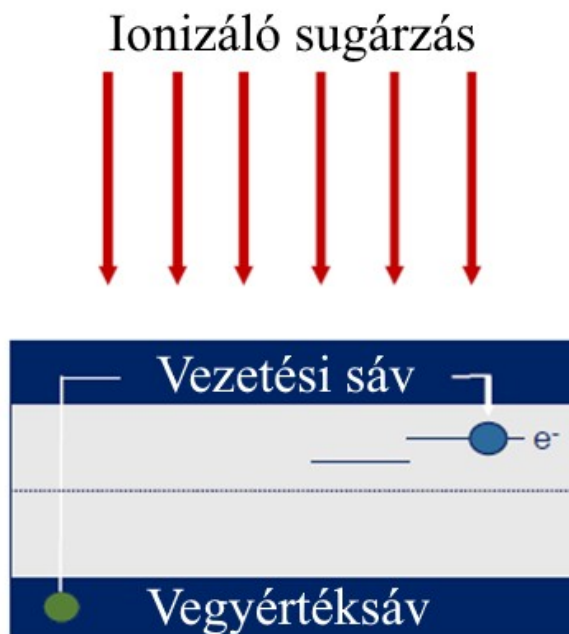
AZ OSL MŰKÖDÉSI ELVE



1. ábra. Sáv-modell

Egy szigetelő alapállapota:

- a vegyértéksáv elektronokkal telített,
- a vezetési sáv üres;
- csapdanívoknak nevezzük a szigetelőben lévő szennyeződések és hibák miatt a két sáv között helyenként speciális energiaállapotokat.

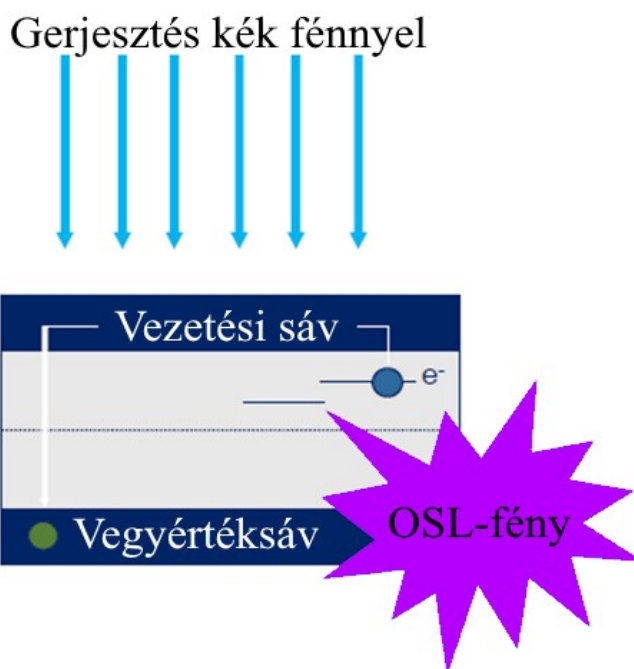


2. ábra. Detektor gerjesztés ionizáló sugárzással

A sugárzás energiájának elnyelése:

- az elektronok a vegyértéksávból a vezetősávba gerjesztődnek;
- ezek az elektronok a vegyértéksávban lévő lyukakkal rekombinálódhatnak;
- majd-
- csapdázódnak a vegyértéksáv és a vezetési sáv közötti lokalizált energiaállapotokban (a csapdanívókon).

A csapdanívók sűrű elhelyezkedése miatt szigetelőben nagy mennyiségű elektron nem tud legerjesztődni (fellépni a vezetési sávba, majd le a vegyértéksávba), ezért hosszú távon a csapdákból marad, külső gerjesztő hatás nélkül.

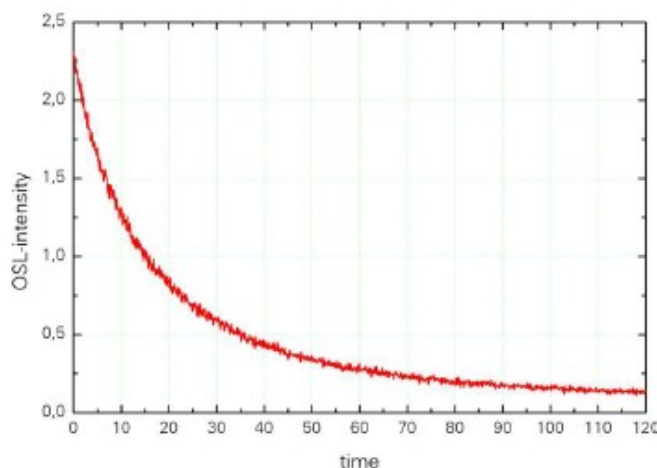


3. ábra. Detektor optikai stimulációja

A csapdák kiürítéséhez a csapdába esett elektronok legerjesztésére van szükség:

- ez kék fénnel történő stimulálással történik (alacsony hullámhossz, nagy energia a látható fény tartományában, ~455 nm);
- vezetősávba jutó gerjesztett elektronok ultraibolya (nagyobb hullámhosszúságú, alacsonyabb energiájú) fény kibocsátásával rekombinálnak a vegyértéksávban lévő lyukakkal, ~350 nm).

Ez a lumineszcencia jelensége.



4. ábra. Bomlási görbe

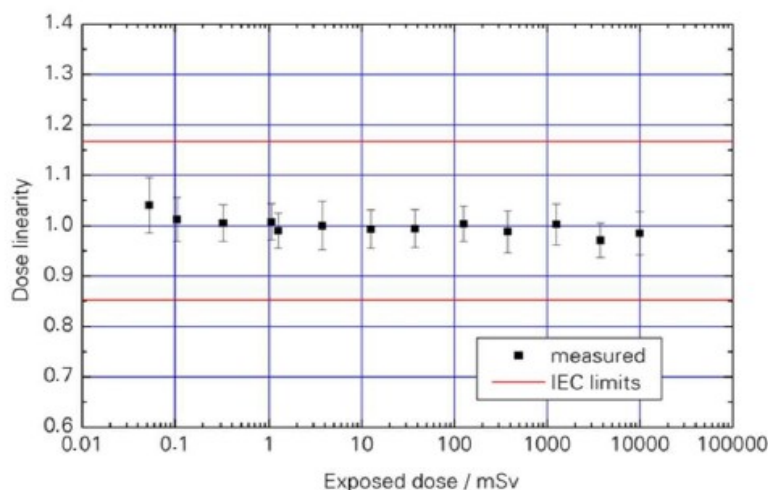
A BeOSL DOZIMETRIAI RENDSZER BEMUTATÁSA

A BeOSL rendszer, ellenben a TLD rendszerekkel, nem a termolumineszcencia, hanem az optikailag stimulált lumineszcencia (OSL) elve alapján működik. Esetünkben a detektor anyaga berillium-oxid, mely anyagot az elektronikai eszközökben széles körben használják jó elektromos szigetelő-, és kiváló hővezetőképessége miatt. Viszonylag olcsón előállítható. Szinterezett kerámiaként érzéketlen a mechanikai vagy környezeti hatásokkal szemben, a porított vagy hasonló anyagi minőségű berilliumvegyületekhez képest e kémiai-fizikai forma nem mérgező, így a kezelése biztonságos. Közel szövetekvivalens ($Z_{\text{eff}}=7,13$). Ezzel a tulajdonságával lehetőség van arra, hogy akár egyetlen detektor a megfelelő szűrő mögött biztosítsa a széles energiatartományú, pontos személyi dózisegyenérték [Hp(10)] mérésének lehetőségét.

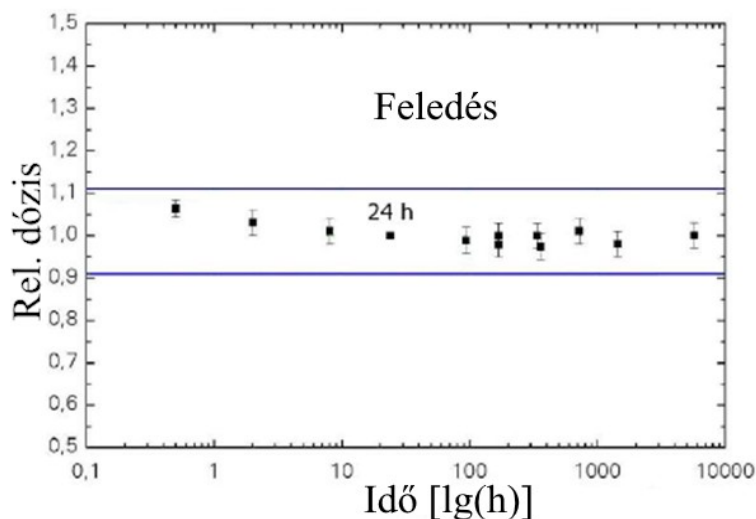
A BeOSL detektorok tulajdonságai

Linearitása kiváló.

A besugárzási dózissal arányos jelet a BeO csak jelentéktelen mértékben „feledi”, gyakorlatilag így megtartja az egyszeri besugárzásból adódó dózist. Ennek jelentősége, hogy két munkavállaló esetén, akik közül az egyik az ellenőrzési időszak elején, a másik pedig az ellenőrzési időszak végén azonos besugárzást szenved el, dozimétereiken lényegében azonos eredményeket mérhetünk.



5. ábra. Linearitás



6. ábra. Feledés

E tulajdonságok lehetővé teszik, hogy a Dosimetrics minőségellenőrző dozimétereket kínáljon fel (ún. „QA flexKits”) a kiolvasó kalibrációjára. Ekkor természetesen a háttérsugárzástól óvni kell a dozimétereket, de így is hosszabb ideig felhasználhatóak.

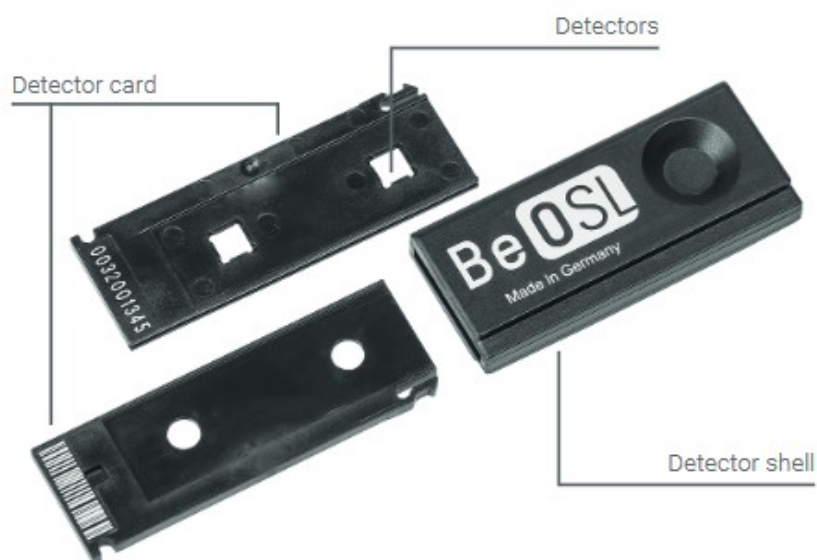
A dozimetriai rendszer részei

A rendszer elvi működésének megismerése után ismertetjük a rendszer felépítését, részegységeit és azok működését.

A rendszer fő elemei, amelyek szükségesek a használathoz, egy számítógép és perifériái (monitor, billentyűzet stb.), a BeOSL Reader, ami maga a kiolvasó készülék, a BeOSL Eraser, amely pedig a doziméterek nullázó törlésére szolgál. A beüzemelés napján a Dosimetrics kollégái szállították le és helyezték üzembe a Canberra-Packard Kft. Magyarország munkatársainak közreműködésével. Miután a rendszer egyes egységeit csatlakoztatták és megismerkedtünk a működésének elvi alapjaival, folytattuk a tanulást a rendszer fizikai részeinek megismerésével és használatával.



7. ábra. A BeOSL rendszer részei



8. ábra. BeOSL doziméterek

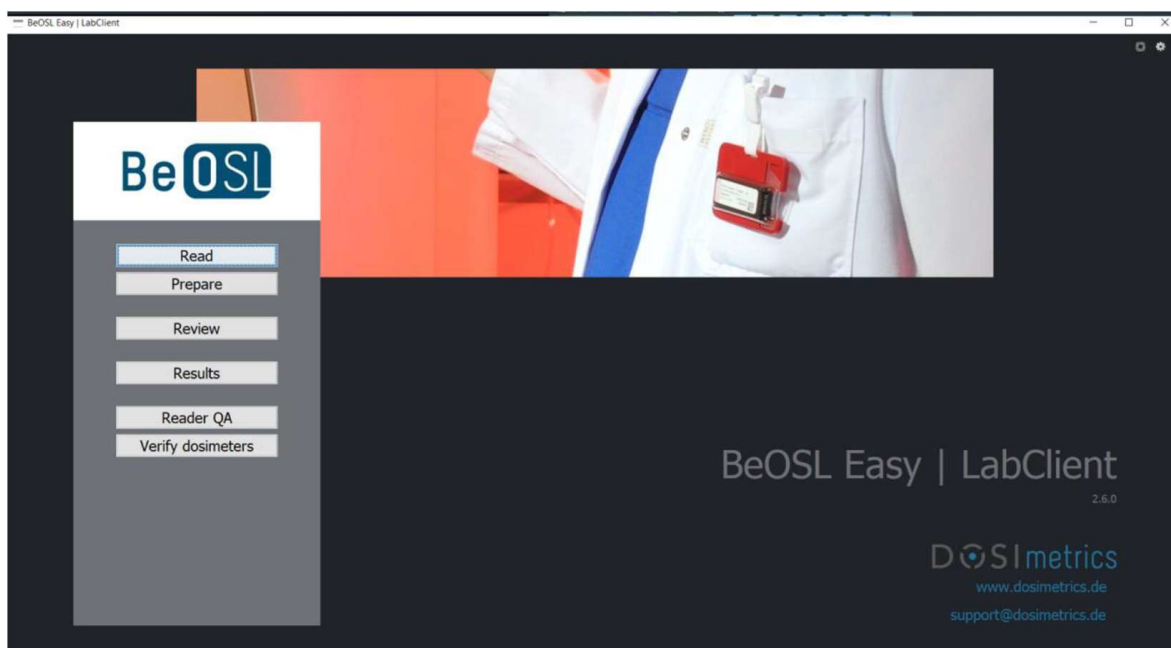
BeOSL egésztestdoziméterek

- 2 és 4 elemű változat, melyből az előbbit szereztük be, összesen 400 darab doziméterrel;
- Mindkét változat $H_p(10)$ és $H_p(0,07)$ mérésére egyaránt alkalmas a német PTB típusvizsgálati tanúsítványa szerint;
- Egyedi kalibrálási tényező minden egyes doziméter minden egyes eleméhez;
- A dozimétereken lévő egyedi vonalkóddal könnyen azonosítható;
- Névleges fotondozimetriai méréstartomány: $0,1 \text{ mSv} \leq H_p(10) \leq 10 \text{ Sv}$;
- Névleges energia- és szögfüggés: $16 \text{ keV} \leq E_{ph} \leq 7 \text{ MeV}$; $0^\circ \leq \alpha \leq \pm 60^\circ$;

- Az egyes doziméterek azonosítása nem csak vonalkóddal, hanem ún. RFID rádiófrekvenciás úton is lehetséges, illetve ezzel a kiegészítővel arra is lehetőség van, hogy a biztonsági ellenőrző kapuk észleljék a dozimétereket (így elkerülhető, hogy kimossák azokat).

A LabClient szoftver

A BeOSL rendszer fő kezelőfelülete a LabClient szoftver, mely vezérli a rendszer elemeit. A felhasználói felület felhasználóbarát, érthető utasításokkal ellátott program, aminél egyszerűen, rutinszerűen lehet dolgozni. A szoftver természetesen lehetőséget biztosít a doziméterek kiolvasására, használatra előkészítésére (azaz nullázásra és ellenőrző nullázásra), a kiolvasó berendezés kalibrációjára, illetve az épp aktuális minőségellenőrzést is módunk van elvégezni erről a kezelőfelületről. Fontos kiemelni, hogy a szoftver által előállított eredmények és a doziméterek adatai, eredményei semmilyen körülmények között nem módosíthatóak vagyis nem „piszkálható” meg, mert digitális aláírással hoz létre minden eredményfájlt a rendszer és rögzít minden rekordot az adatbázisban.



9. ábra. A LabClient szoftver

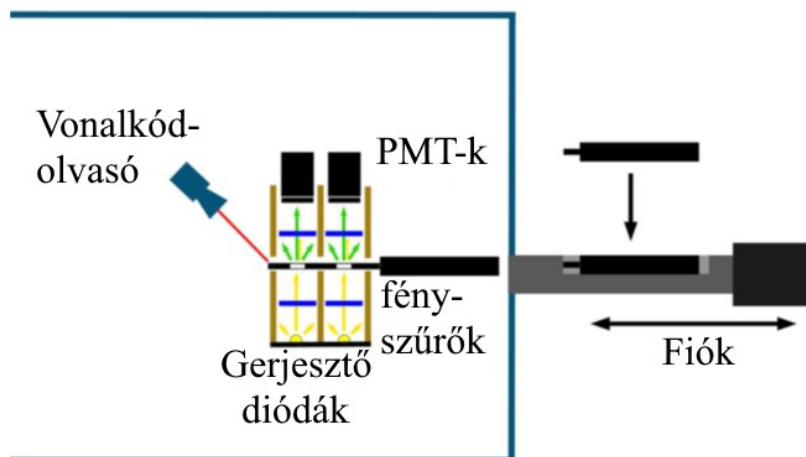
A BeOSL READER MŰKÖDÉSE

A kiolvasó egy nagyon egyszerű, robosztus felépítésű dobozban, lényegében az OSL működési elve szerint végzi a feladatát. A dozimétereket a fiókba mart üregbe kell irányhelyesen belehelyezni – másként nem is lehet – s ezután a berendezés behúzza a fiókot. A doziméter belsejében található műanyag alaplemezt látták el vonalkóddal, amely a dozimétert azonosítja.

A műanyag alaplemezbe sajtolt BeO pasztillák ezután egy trükkös úton kerülnek kiértékelésre. Először egy rövid impulzusidejű (néhány ms) villanással ellenőrzi a rendszer azt, hogy mekkora fotonjel érkezik a fotoelektron-sokszorozóra (PMT), vagyis nagy dózisra kellene-e számítani a doziméterből, majd a kiolvasó fényjel szintjét, azaz a dióda áramát igazítja a kiolvasandó jelhez. Ezután 5 felvillanással kiolvassa a fotonjelet és az eredmények mediánja alapján adja meg a dozimetriai eredményt, figyelembe véve a doziméter érzékenységét.

A normál munkafolyamat szerint a dozimétert ki kell olvasni, nullázni, majd ellenőrizni, hogy sikerült-e a nullázás. Ha olyan jelet érzékelnénk, ami miatt a doziméter jelzését ismét

ellenőrizni kellene (pl. 20 mSv felett), akkor lehetőség van a törlés előtt egy ismételt ellenőrzésre.



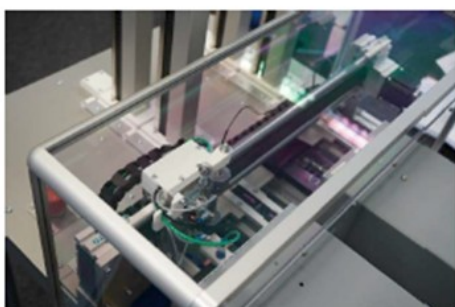
10. ábra. A Reader működése

A BeOSL RENDSZEREK KÜLÖNFÉLE KIÉPÍTÉSEI

A BeOSL dozimetriai rendszerből több kiépítés is elérhető. A típusválasztást a legjobban befolyásoló tényező, hogy hány főnél szükséges a rendszeres dozimetriai monitorozás, ellenőrzés. A Kft. számára, tekintve a sugárveszélyes munkakörben dolgozó munkavállalók számát, elegendő volt az alap, manuális rendszert beszerezni.

Attól függően, hogy mekkora területen szükséges a monitorozás, van lehetőség akár robotizált rendszerre is.

"Táras" automatizáció



Robotcellás asztal



11. ábra. A BeOSL rendszerek különböző kiépítései

A BeOSL RENDSZERÜNK VISSZAVEZETETTSÉGÉNEK BIZTOSÍTÁSA

A jelenlegi dozimetriai rendszerünk kalibrációját alkalmanként végezzük és egyelőre nem tervezzük komolyabb minőségirányítási rendszer bevezetését.

Az oktatáson részt vevő kollégákkal jövőbeli terveink között szerepel egy átfogó összemérés, melyben az országban lévő, a különféle intézmények által alkalmazott dozimétereket kívánjuk ellenőrizni.

A hivatalos összemérés előtt kíváncsiak voltunk, hogy a jelenlegi állapotban a BeOSL doziméterek hogyan viselkednek, így egy ad-hoc besugárzást terveztünk elsődleges feladatnak. A kivitelezéséhez segítséget kértünk a Budapest Főváros Kormányhivatala,

Sugárfizikai és Kémiai Mérések Osztályától (továbbiakban BFKH), ahol Szűcs László és Gáspár Lilla volt segítségünkre.

2024. februárjában 20 db BeOSL dozimétert sugaraztak be különféle dózissal. Ennek eredményeit a 14. ábra és az 1. táblázat ismerteti. Az eredmények rendkívül meggyőzőek.

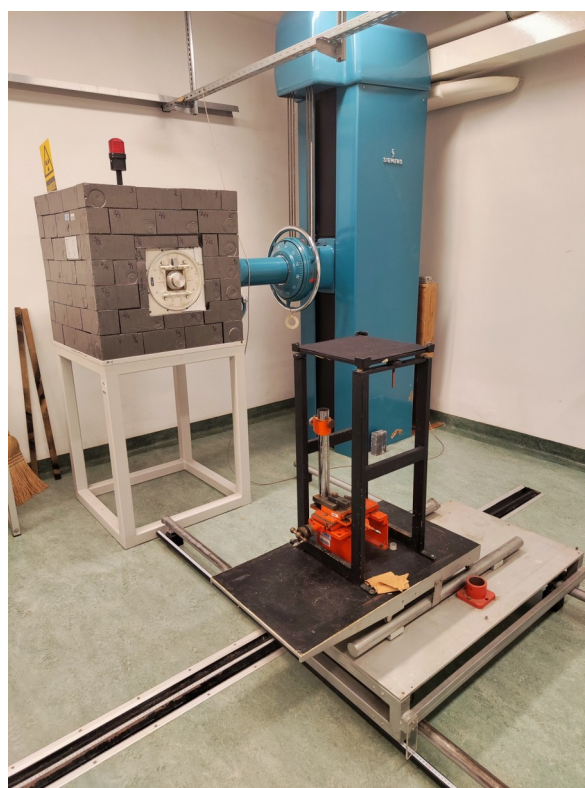
A BESUGÁRZÁS

A BFKH tartja fent a levegőben közölt és a vízben elnyelt dózis országos etalonját (ET-18). Az alkalmazott referenciaértékek az országos etalonra visszavezethetők. A passzív dózismérők besugárzásához két sugárágyút használtunk, egy Gammatron I. típusú besugárzót ^{60}Co sugárforrással (névleges aktivitás 128,16 TBq, referencia idő 2019.01.01.) és egy Műszerhitelesítő gamma-besugárzót ^{137}Cs sugárforrással (névleges aktivitás 5,9 TBq, referencia idő 2002.12.19.). A besugárzás az ISO 4037-3 szabványban leírtak szerint, az ott leírt víz egésztest fantomon történt.

Dózis(egyenérték) besugárzás esetén a referencia dózisértéket számítással kapjuk, amihez a közölt dózis(egyenérték)-teljesítményt a mérés időtartamával kell szorozni. Az aktuális referencia közölt dózisteljesítmény (kerma) értékeket a diszkrét pályaadatokra illesztett függvény segítségével határoztuk meg. A sugárforrás sugárzási terének (sugárkúp) szimmetria tengelye merőleges a dózismérő homloklapjára, és a felületet a detektor helyén (jelölt referencia pont) dőfi. A referencia sík a személyi dózismérő vastagságának felező síkja. Az alkalmazott nyaláb kúpjának az átmérője a dózismérők pozíciójában nagyobb volt, mint a vízfantom mérete.



12. ábra. Műszerhitelesítő Gamma besugárzó



13. ábra. Gammatron I.

EREDMÉNYEK

1. táblázat. A doziméterek kiértékelésének eredményei

Besugárzás	Doziméterek (sorszám)	mért/ref.	Mért érték
1. 2,0 mSv	1.	1,05	2,10
	2.	1,02	2,04
2. 1,0 mSv	3.	1,04	1,04
	4.	1,05	1,05
3. 3,0 mSv	5.	1,03	3,09
	6.	1,05	3,16
4. 1016 mSv	7.	0,88	897,00
	8.	0,98	995,00
5. 0,50 mSv	9.	1,04	0,52
	10.	1,05	0,52
6. 0,71 mSv	11.	1,02	0,72
	12.	1,07	0,76
7. 0,40 mSv	13.	1,05	0,42
	14.	1,05	0,43
8. 100,1 mSv	15.	1,03	103,00
	16.	1,04	104,00
9. 6,01 mSv	17.	1,07	6,45
	18.	1,03	6,19
10. 11,01 mSv	19.	1,02	11,20
	20.	1,03	11,30

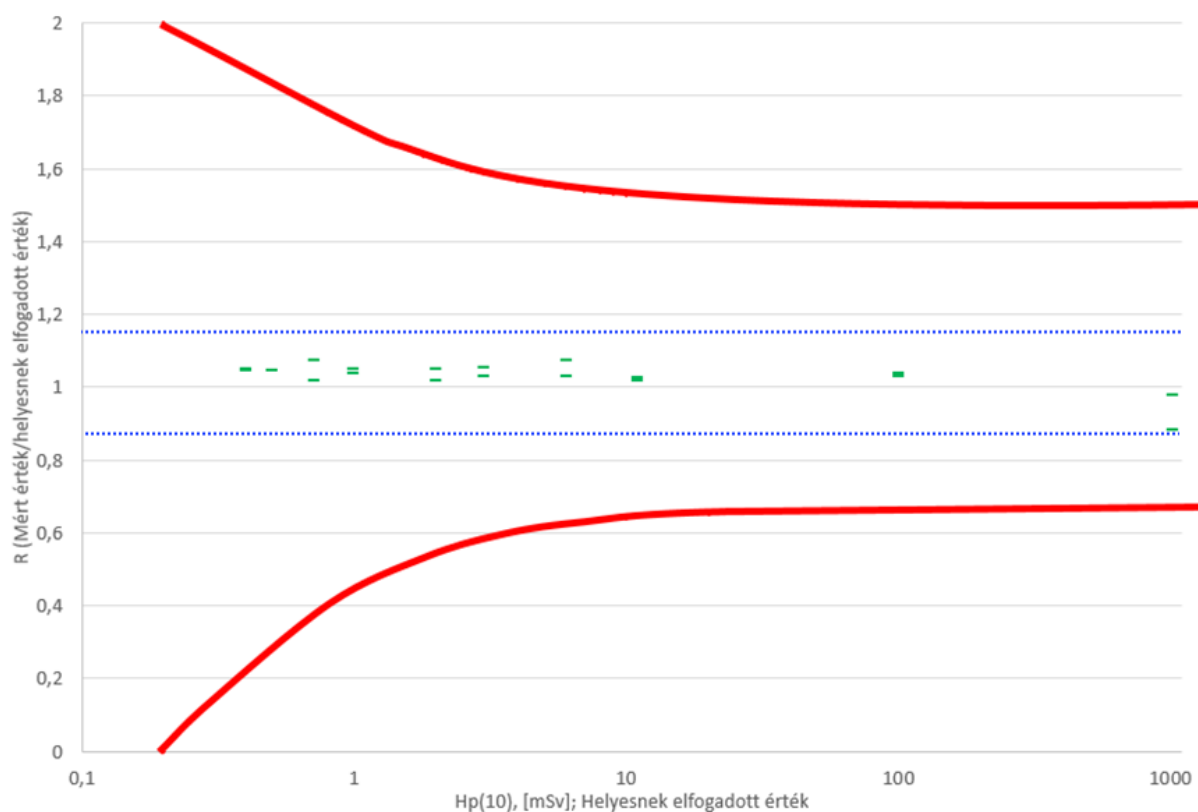
Egésztest dózismérőknél a hitelesítés feltétele, hogy a vizsgált dózismérők referencia értékre vonatkoztatott eltérése a -13% – +15% tartományban legyen, amennyiben ismert sugárminőségű (pl. S-Cs-137) fotonsugárzás érte azokat, 0°-os besugárzással. Ezt a 14. ábrán szaggatott kék vonal jelöli.

Az ISO 4037-3 szabványban leírtak szerint, az ott részletezett hasábfantomon történt az egésztest doziméterek besugárzása. A kiértékelés előtt nem volt ismert számunkra, hogy az egyes dozimétereket milyen szögben és fotonenergián sugarazzák be, ezért a kiértékelésükhöz az ISO 14146:2000 szabvány előírásai szerinti elfogadási kritériumot alkalmaztuk, de megfeleltek volna egyébként a fenti kritériumnak is, vagyis sikerrel vettek volna egy hitelesítést is. Az ún. trombitagörbe az alábbi képlettel határozható meg:

$$\frac{1}{F} \left(1 - \frac{2H_0}{H_0 + H_c} \right) \leq R \leq F \left(1 + \frac{H_0}{2H_0 + H_c} \right),$$

ahol F , H_0 és H_c a 14146:2000 szabványban megadott paraméterek, rendre 1,5; 0,2 és 1,0 paraméterekkel. A 14. ábrán ezt piros színnel tüntettük fel.

Amennyiben a doziméter által adott mérési eredmény a helyesnek elfogadott (BFKH általi besugárzási dózis) értéktől nem tér el jelentősen, azaz nem esik a trombitagörbén kívüli pontok halmazába, úgy a dózismérő alkalmazható személyi dozimetria céljára.



Annak ellenére, hogy a rendszert nem típusvizsgáltattuk, illetve átfogó minőségirányítási rendszert nem vezettünk be, az eredmények alapján megállapítható, hogy remekül megállja a helyét a Kft. új dozimetriai rendszere.

KÖVETKEZTETÉSEK

Bár még csak most ismerkedünk az OSL technológiával, a BeOSL rendszerrel és egyelőre nem tettünk komolyabb intézkedéseket arra, hogy átfogó minőségellenőrzési programot vezessünk be, az eddigi eredményeink biztatóak.

IRODALOM

- [1] Dosimetrics BeOSL LabClient User Manual
- [2] Dosimetrics BeOSL Manual

Készült a SOMOS Alapítvány támogatásával