

# ***SUGÁRVÉDELEM***

**Eötvös Loránd Fizikai Társulat  
Sugárvédelmi Szakcsoportjának  
On-line Folyóirata  
<http://www.sugarvedelem.hu/sugarvedelem>**

**X. Évfolyam 1. szám  
2017**

**BUDAPEST**

**HU ISSN 2060-2391**

**Kiadó:** az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakcsoportja

**Kiadásért felelős:** Bujtás Tibor, a Szakcsoport elnöke

**A Szerkesztőbizottság elnöke:** Fehér István

**Web megjelenés:** Vincze Árpád

**A szerkesztőbizottság tagjai:**

Csige István,

C. Szabó István,

Déri Zsolt,

Elek Richárd,

Fehér Ákos

Katona Tünde,

Pesznyák Csilla,

Petrányi János,

Rónaky József

Vincze Árpád

**A szerkesztőség elérhetősége:**

Levelezési cím: 1539 Budapest, PF. 676.

e-mail: [avincze67@gmail.com](mailto:avincze67@gmail.com)

HU ISSN 2060-2391

## Nukleáris létesítményekre vonatkozó sugárvédelmi követelmények korszerűsítése

Sebestyén Zsolt, Laczkó Balázs, Ötvös Nándor, Petőfi Gábor, Tomka Péter  
Országos Atomenergia Hivatal  
sebestyen@haea.gov.hu

A kézirat beérkezett: 2017.03.21.

Közlésre elfogadva: 2017.05.02.

*Modernization of radiation protection requirements relating nuclear facilities*

*The domestic regulatory system was changed on 1st January 2016 and the Hungarian Atomic Energy Authority became the main supervisor and licensing authority for radiation protection issues. At the same time the HAEA developed the Govt. decree 487/2015. (XII. 30.) on the protection against ionizing radiation and the corresponding licensing, reporting (notification) and inspection system, which is the regulation for the implementation of radiation protection.*

*The newly created regulation addresses some specific issues in connection with the special facilities, but the results of our study showed that it is not sufficient.*

*This article presents the proposals for amendments, which modernize the radiation safety requirements for nuclear facilities in the Govt. decree 118/2011. and its annexes and guidelines.*

*Radiation protection, legislation, modernization*

***A hazai hatósági rendszer 2016. január 1-jei változásával az Országos Atomenergia Hivatal lett a fő engedélyező és felügyeleti hatóság a sugárvédelmi területen is. A hatáskörbővüléshez kapcsolódóan kidolgozta az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről szóló 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendeletet, mely a sugárvédelem végrehajtására szolgáló rendelet.***

***Az újonnan létrehozott rendelet ugyan foglalkozik külön néhány speciális sugárvédelmi kérdéssel a kiemelt létesítményekkel kapcsolatosan, ugyanakkor a vizsgálatunk eredménye azt mutatta, hogy nem kellő részletességgel.***

***Cikkünkben bemutatjuk azokat a módosítási javaslatokat, melyeket a nukleáris létesítmények sugárvédelmi követelményeinek korszerűsítésére tettünk a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet és mellékletei, valamint útmutatói módosításával kapcsolatban.***

***Sugárvédelem, jogszabály, korszerűsítés***

**TARTALOMJEGYZÉK**

Bevezetés .....	3
Nemzetközi ajánlások, irányelvek.....	4
GSR Part 3: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards [9].....	6
SSR-2/1 Rev. 1 Safety of Nuclear Power Plants: Design [10].....	6
SSR-2/2 Rev. 1 Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation [11] ....	6
NS-R-4: Safety of Research Reactors [12] .....	6
NS-R-5 (Rev. 1) Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities [13] .....	6
WS-G-2.3 Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment [14].....	7
RS-G-1.1 Occupational Radiation Protection [15].....	7
NS-G-1.13 Radiation Protection Aspects of Design for Nuclear Power Plants [16] .....	7
NS-G-2.7 Radiation Protection and Radioactive Waste Management in the Operation of Nuclear Power Plants [17] .....	7
A hazai Sugárvédelmi követelmények, szabályozások bemutatása .....	8
Hazai nukleáris létesítmények [19: p. 18-24] .....	8
A Paksi Atomerőmű.....	9
A Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolója .....	10
A Budapesti Kutatóreaktor.....	10
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Oktatóreaktora .....	11
Előzmények – korábbi kutatási munkák .....	11
Következtetések, javaslatok a sugárvédelem korszerűsítéséhez .....	12
1. Sugárvédelmi program .....	13
2. Irányítási rendszer .....	16
2.1. Foglalkozás-egészségügyi szolgálat.....	16
2.2. Sugárvédelmi szolgálat.....	17
2.3. Munkaterületek besorolása .....	17
2.4. Sugárvédelmi képzések tervezése .....	20
3. A sugárveszélyes munkák optimalizálása .....	22
3.1. Általános szabályok.....	23
3.2. Idővédelem.....	23
3.3. Dózismegszorítás .....	24
3.4. Árnyékolás .....	25
3.5. Egyéni védőeszközök .....	26
3.6. Dózistervezés .....	26
3.7. Radioaktív anyagok, források minimalizálása.....	27
4. Sugárvédelmi munkatervezés .....	27
5. Kiemelten sugárveszélyes munkavégzés.....	28
6. Munkahelyi ellenőrző és monitoring rendszer.....	29
6.1. Munkahelyi ellenőrző rendszerek .....	29
6.2. Személyi dozimetriai ellenőrzés .....	30
6.3. Belső sugárterhelés megállapítása.....	32
7. Kibocsátás-ellenőrzés .....	32
7.1. Általános szabályok.....	32
7.2. A mérőműszerekkel szemben támasztott követelmények .....	36
7.3. Folyékony radioaktív kibocsátás-ellenőrzés.....	37

7.4. Légnemű radioaktív kibocsátás-ellenőrzés.....	37
8. Dekontaminálás.....	37
9. A radioaktív hulladékok kezelésének szabályozása.....	39
9.1. Légnemű radioaktív hulladékok.....	39
9.2. Folyékony radioaktív hulladékok.....	40
9.3. Szilárd radioaktív hulladékok.....	40
Összegzés.....	41
Felhasznált irodalom.....	42

## BEVEZETÉS

Az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény [1] (a továbbiakban: atomtörvény) és a kapcsolódó végrehajtási rendeletek módosítása alapján 2016. január 1-től az Országos Atomenergia Hivatal (a továbbiakban: OAH) lett a fő engedélyező és felügyeleti hatóság sugárvédelmi területen is. A hatáskörbővüléshez kapcsolódóan a sugárvédelmi végrehajtó rendelet, az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról szóló 16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet [2] korszerűsítése érdekében kidolgozásra és bevezetésre került az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről szóló 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendeletet. [3]

Ezen sugárvédelmi rendelet legfontosabb újítása, hogy a korábbi szabályozással szemben centralizált, egylépcsős engedélyezést vezetett be: országos szinten az OAH vált az engedélyező hatósággá, valamint az egyszerűsítésnek köszönhetően immáron egy, közös engedély vonatkozik alkalmazásra és üzemeltetésre egyaránt, ezzel csökkentve az engedélytípusok számát. A rendelet megalkotásakor az Európai Tanács ionizáló sugárzás miatti sugárterhelésből származó veszélyekkel szembeni védelmet szolgáló alapvető biztonsági előírásokról, 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 szóló 2013/59/EURATOM irányelvét is figyelembe vették, mivel annak 2018. február 6-ig meg kell felelteni a hazai szabályozást. [4]

Korábbi cikkünkben már bemutattuk, hogy Magyarországon milyen módon hasznosítjuk, alkalmazzuk az atomenergiát. [5]

A hazai sugárvédelmi szabályozás fejlesztésének következő lépése a nukleáris létesítmények és radioaktív hulladék-tárolók üzemeltetéséhez szükséges létesítményspecifikus sugárvédelmi követelmények rendszerezése, korszerűsítése és bővítése. Ezt a megállapítást alátámasztja, hogy a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség<sup>1</sup> (a továbbiakban: NAÜ) is külön kezeli a nukleáris létesítményeket, még akár azokon belül is különbséget tesz, illetve elkülönítve kezeli a radioaktív hulladék-tárolókat is. A jelenlegi hazai szabályozásban a sugárvédelmi követelmények rendszerezettségének és részletességének mértéke elmarad a NAÜ ajánlásaiban tapasztalhatóaktól: egyrészt nem különülnek el akkora mértékben a nukleáris létesítményekre vonatkozó specifikus követelmények sem az új sugárvédelmi rendeletben, sem a nukleáris létesítmények biztonsági szabályzatát is tartalmazó rendeletben (a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről szóló 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet [6]), sem a

<sup>1</sup> International Atomic Energy Agency

radioaktív hulladék-tárolókra vonatkozó rendeletben (*a radioaktív hulladékok átmeneti tárolását vagy végleges elhelyezését biztosító tároló létesítmények biztonsági követelményeiről* szóló 155/2014. (VI. 30.) Korm. rendelet [7]), másrészt a hivatkozott jogszabályok további speciális sugárvédelmi követelményekkel egészíthetők ki a NAŰ ajánlásai nyomán.

A NAŰ biztonsági szabályzatai csak ajánlást tesznek a jogszabályokra, azok nem kötelező jellegűek, ugyanakkor a Nukleáris Biztonsági Konvenció elvárja, hogy a tagállamok hazai jogrendszere összhangban legyen az ajánlásokkal. A NAŰ ajánlásai ugyanakkor meghatározó jelentőségűek, így a tagállamok, (köztük Magyarország is) törekednek azokat referenciaként tekinteni, ezért szükséges a NAŰ dokumentumok megvizsgálása és felhasználásukkal a hazai szabályozás korszerűsítése.

A felülvizsgálat időszerű és szükséges, mivel az idei évben zárul a jogszabály alapján előírt Nukleáris Biztonsági Szabályzatok öt évenkénti felülvizsgálata. [6, 3.§ (7)]

A tervezési követelmények korszerűsítése is célunk volt, nem csupán az új atomerőművi blokk tervezése tekintetében, hanem mert a nukleáris létesítmények átalakítása esetében is az aktuális tervezési követelményeket kell figyelembe vennie. Emellett kötelező tízévente időszakos biztonsági felülvizsgálatot végrehajtani, melynek a tervezési követelményekkel való összhangot is kell vizsgálni.

Mindezek alapján megvizsgáltuk a NAŰ egyes, a nukleáris létesítményekre vonatkozó ajánlásait, és azokat összevetettük a hazai szabályozással. Jelen cikkünkben ezen tevékenységünk eredményét mutatjuk be. Részletezni fogjuk, hogy mely NAŰ ajánlások átvételével lehetne fejleszteni a hazai szabályozást, és a meglévő szabályozásunkat miképpen lehetne átstrukturálni annak érdekében, hogy a létesítményspecifikus követelmények jobban elkülönüljenek egymástól. Munkánk során mindvégig szem előtt tartottuk, hogy a javaslataink ne eredményezzenek olyan jogszabályi környezetet, ami ellehetetleníti a nukleáris létesítmények üzemeltetését. Ezen felül figyeltünk arra, hogy ne csak a szükséges mennyiségben és mértékben fogalmazzunk meg követelményeket, hiszen a túlszabályozás kontraproduktív, a biztonsági kultúrát is rossz irányba mozdítja. Emellett a hatóságnak lehetősége van útmutatók kiadására, amelyek tartalmazhatják a részletesebb elvárásokat.

A javaslataink megalkotásakor aszerint jártunk el, hogy az általános sugárvédelmi követelmények maradjanak a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendeletben, míg a létesítményekre vonatkozó speciális követelmények kerüljenek a nukleáris létesítményre vonatkozó jogszabályba [118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet]. Ezzel egy átláthatóbb jogszabályi rendszer jönne létre.

Az eredmények publikálásához az OAH Nukleáris Biztonsági Főigazgató-helyettes hozzájárulását adta.

## **NEMZETKÖZI AJÁNLÁSOK, IRÁNYELVEK**

A sugárvédelmi követelmények kiegészítéséhez a NAŰ dokumentumaiból indultunk ki. A NAŰ dokumentumaiban bekövetkező változás szükségessé teszi, hogy megvizsgáljuk, milyen új ajánlásokat fogalmaztak meg a nukleáris létesítmények sugárvédelmi követelményeire.

Kecskés Gábor és társai a Nukleáris jog a 21. század első évtizedeiben című könyvükben bemutatták a NAŰ dokumentumok felépítését. [8] A NAŰ dokumentumokat háromszintű hierarchiába rendezték, miszerint a legfelső szinten a biztonsági alapelvek (Fundamental Safety Principles) helyezkednek el, a hierarchia következő szintjén a biztonsági követelmények (Safety Requirements) majd a harmadik szinten a biztonsági útmutatók

(Safety Guides) következnek. A műszaki kérdéseket, gyakorlati tapasztalatokat, a szabályzatok megalapozását alacsonyabb szintű kiadványok foglalják össze.

A NAÜ Kormányzótanácsa 1995-ben eldöntötte, hogy az összes szabályozó dokumentumot felül kell vizsgálni, és egységes rendszerbe kell foglalni. A munka eredményeként 2003-ra kialakult a dokumentum rendszer felépítése. A biztonsági alapelvek alá rendelt biztonsági követelmények két csoportba sorolták. Az egyik csoportba az egyes témaköröket lefedő követelmények kerültek, többek között a radioaktív hulladékok kezelése, a leszerelés és a szennyezett területek helyreállítása, a másik csoportba a létesítményekhez kapcsolódó követelmények tartoztak, köztük a hulladékkezelő és -elhelyező létesítmények követelményei.

2006-ban a teljes területet egyetlen kötetben lefedő, biztonsági alapelvek (Fundamental Safety Principles, SF-1) című dokumentumban közreadta a NAÜ. 2006 novemberében a NAÜ Biztonsági Szabályozási Bizottsága (Commission of Safety Standards) javaslatot tett arra, hogy a biztonsági alapelvek új kötetével való összhang megteremtése, valamint a biztonsági követelmények és útmutatók számának korlátozása érdekében a szervezet vizsgálja felül a rendszer felépítését és helyezze azt új alapokra. A javaslat lényege, hogy az általános biztonsági követelmények egyetlen, 2013-ig kidolgozandó, hét részből álló kötetben legyenek összefoglalva, és ezt egészítse ki további hat kötet, amelyek a tevékenységek és a létesítmények jellemzőitől függő biztonsági követelményeket tartalmazzák. Ezeket 2015-ig kellett kidolgozni. A követelményekhez biztonsági útmutatók csatlakoznak.

A NAÜ biztonsági szabályzat rendszere csak ajánlásokat fogalmazhat meg, a tagállamokra kötelező érvényű előírásokat nem tehet, ugyanakkor a szervezet minden államtól, amely tőle műszaki segítséget igényel, elvárja, hogy annak hazai jogrendszere összhangban legyen az ajánlásokkal. A NAÜ biztonsági szabályzatainak, útmutatóinak jelentősége azonban meghatározó, a szervezet minden tagállama referenciának tekinti ezeket. Ily módon szükséges a NAÜ dokumentumok megvizsgálása és felhasználásukkal a hazai szabályozás korszerűsítése. [8]

A NAÜ dokumentumait áttekintettük és azokat az útmutatókat, illetve követelményeket (általános és biztonsági), amik a nukleáris létesítmények sugárvédelmi szabályozásánál relevánsak lehetnek, részletesen megvizsgáltuk. A következő dokumentumokról találtuk úgy, hogy olyan követelményeket tartalmaz, melyek hiányoznak a hazai sugárvédelmi szabályozásból:

- GSR Part 3: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards [9]
- SSR-2/1 Rev.1 Safety of Nuclear Power Plants: Design [10]
- SSR-2/2 Rev.1 Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation [11]
- NS-R-4: Safety of Research Reactors [12]
- NS-R-5 (Rev. 1) Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities [13]
- WS-G-2.3 Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment [14]
- RS-G-1.1 Occupational Radiation Protection [15]
- NS-G-1.13 Radiation Protection Aspects of Design for Nuclear Power Plants [16]
- NS-G-2.7 Radiation Protection and Radioactive Waste Management in the Operation of Nuclear Power Plants [17]

***GSR Part 3: Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards [9]***

Az új ajánlások (ICRP 103) [18] figyelembe vételére felülvizsgálták a sugárvédelem alapjait és egy új, általános biztonsági követelmények típusú dokumentumot hoztak létre, melynek címe Sugárvédelem és sugárforrások biztonsága. A dokumentum 3 különböző szituációban sorolja a sugárzási helyzeteket, úgymint tervezett, veszélyhelyzeti, valamint a már fennálló besugárzásokra vonatkozó helyzetek.

A dokumentum egy általános fejezetből, valamint a besugárzási szituációkra külön fejezetekből áll. A dokumentum legnagyobb részét lefedi a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet, ugyanakkor van néhány pontja, amit érdemes lenne hazai szabályozásba integrálni.

***SSR-2/1 Rev. 1 Safety of Nuclear Power Plants: Design [10]***

Ez szintén egy követelmény jellegű dokumentum, mely specifikus követelményeket tartalmaz az atomerőművek tervezéséhez. Számos területen megjelenik a sugárvédelem a dokumentumban, mely öt részre tagolódik: a biztonsági elvek és fogalmak alkalmazása, a biztonság irányítása tervezés során, legfontosabb műszaki követelmények, az erőmű általános tervezési követelményei és a specifikus erőművi rendszerek tervezése.

***SSR-2/2 Rev. 1 Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation [11]***

Követelmény jellegű dokumentum, címe az Atomerőművek biztonsága: létesítés és üzemeltetés. Általános követelményeket tartalmaz, melyek az atomerőművek létesítése, illetve üzemeltetése során relevánsak. Kettő, a sugárvédelmet is érintő követelmény található benne. Az egyik a sugárvédelmi program követelményeire tesz ajánlást, míg a másik a hulladékkezelési programot szabályozza.

***NS-R-4: Safety of Research Reactors [12]***

Szintén követelmény jellegű dokumentum, mely a kutatóreaktorok biztonságáról szól. Hét fejezetre tagolódik, melyek a biztonsági célok, elvek és fogalmak, a hatósági felügyelet, a biztonság kezelése és igazolása, a telephely értékelés, a tervezés, az üzemeltetés és végül a leszerelés.

***NS-R-5 (Rev. 1) Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities [13]***

Az előzőhöz hasonló felépítésű, követelmény jellegű dokumentum. Kilenc fejezetre tagolódik, a biztonsági célok, elvek és fogalmak, a hatósági felügyelet, a biztonság kezelése és igazolása, a telephely értékelés, a tervezés, a létesítés, az üzembe helyezés, az üzemeltetés és végül a leszerelés.



***WS-G-2.3 Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment [14]***

A NAÜ ezen dokumentuma útmutató szintű, így ajánlásokat tartalmaz. A címe: A környezetbe történő radioaktív kibocsátások hatósági felügyelete. Ahogy ebből is következik, a radioaktív kibocsátások felügyeletével, szabályozásával foglalkozik egy új gyakorlat bevezetéséből származó kibocsátásoktól kezdve a már megtörtént kibocsátásokig.

***RS-G-1.1 Occupational Radiation Protection [15]***

Ez szintén egy útmutató szintű dokumentum, mely a sugárbiztonsággal foglalkozik. A címe: Munkahelyi sugárvédelem. Az útmutató foglalkozik a dóziskorlátozással, a sugárvédelem optimalizálásával, a sugárvédelmi programmal, a veszélyhelyzetekbe történő beavatkozással, valamint az egészség felmérésével. Számos esetben általánosan foglalkozik az adott témával, így ajánlásait részletesebben megtaláltuk valamely más ajánlásokban.

***NS-G-1.13 Radiation Protection Aspects of Design for Nuclear Power Plants [16]***

Az NS-G-1.13 útmutató sorrendben a következőkkel foglalkozik: optimalizálás és dóziskorlátok; az atomerőművek tervezési folyamataiban a sugárvédelem szerepe, hozzájárulása a biztonsághoz; az üzemeltetés és a leszerelés sugárbiztonsági kívánalmi a személyzet, illetve a lakosság kapcsán; útmutatás a dózisszámításokhoz; sugárvédelmi monitoring rendszer; kiegészítő létesítmények; a munkavállalók és a lakosság sugárvédelme balesetek során. Az útmutatót öt melléklet és egy kifejezéstár egészíti ki.

***NS-G-2.7 Radiation Protection and Radioactive Waste Management in the Operation of Nuclear Power Plants [17]***

A dokumentum útmutató szintű, és a nukleáris biztonsággal foglalkozik. A címe: Sugárvédelem és radioaktív hulladékkezelés üzemelő atomerőművekben. Az útmutató a jelenleg üzemelő hazai nukleáris létesítmények tekintetében az egyik legfontosabb dokumentum. A következő témakörökkel foglalkozik: sugárvédelmi program, radioaktív hulladékkezelési program, ideértve a kibocsátást is, képzés, valamint jelentések, igazolások.

Alapjában véve elmondható, hogy a különböző NAÜ dokumentumok ajánlásai között nagy átfedés van, így egy olyan szabályozási javaslatot teszünk, amiben a különbözőségeket figyelembe vettük és aszerint dolgoztuk ki javaslatainkat.

Ezen felül figyelembe vettük az ionizáló sugárzás okozta 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 szóló, a Tanács 2013/59/EURATOM irányelvét. [4]

Az irányelvek a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság<sup>2</sup>, a NAÜ és más szervezetek újabb ajánlásait is figyelembe vették az új irányelv készítése során. A NAÜ sugárvédelmi biztonsági alapszabályzatát [9] 2011-ben aktualizálták az új kutatási fejlesztési eredményekkel. A szabályzat többek között tartalmaz általános követelményeket a védelemre és biztonságra,

<sup>2</sup> International Commission on Radiological Protection

illetve a tervezett-, a veszélyhelyzeti-, valamint a fennálló sugárzási helyzetekre speciális ajánlásokat. A mellékletei tartalmazzák a felszabadítási és mentességi szinteket, a zárt sugárforrások kategorizálását, a tervezett besugárzási helyzet dózis korlátait, valamint azok kiszámításához szükséges dóziskonverziós tényezőket. [5]

## **A HAZAI SUGÁRVÉDELMI KÖVETELMÉNYEK, SZABÁLYOZÁSOK BEMUTATÁSA**

Korábban írt cikkünkben [5] bemutattuk a hazai jogszabályi rendszer hatályos felépítését, vagyis hogy jelenleg hazánkban a sugárvédelem szabályozása több jogszabályban jelenik meg nukleáris létesítmények esetében. Az Atomtörvény az atomenergia békés célú alkalmazásának legáltalánosabb kérdéseit szabályozza. Ezen általános kérdések szabályozására szolgálnak a végrehajtáshoz szükséges kormányzati és miniszteri rendeletek. Ilyen kormányzati rendeletek a már korábban említett 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet és annak mellékletei, a Nukleáris Biztonsági Szabályzatok (a továbbiakban: NBSZ), valamint a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet, ami a sugárvédelmi követelményeket tartalmazza.

A jogszabályi [pl. NBSZ, 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet] követelmények teljesítésének módjára vonatkozó hatósági ajánlásokat a hatósági útmutatók tartalmazzák, amelyek követése egyszerűsíti, gyorsabbá teszi a hatósági eljárásokat. Rugalmasak, mivel az OAH főigazgatója által kiadott útmutatók változhatnak az időről időre összegyűlt tapasztalatok alapján.

### **HAZAI NUKLEÁRIS LÉTESÍTMÉNYEK [19: P. 18-24]**

A nukleáris létesítmény meghatározását az atomtörvény tartalmazza.

nukleáris létesítmény:

- a) a dúsítóüzem, nukleáris üzemanyagot gyártó üzem, atomerőmű, újrafeldolgozó üzem, nukleáris üzemanyagot vizsgáló laboratórium, kutatóreaktor, oktatóreaktor, nukleáris kritikus és más neutronsokszorozás célját szolgáló rendszer, friss nukleáris üzemanyag tárolására és kiégett üzemanyag átmeneti tárolására szolgáló létesítmény,
- b) az a) alpontban felsorolt nukleáris létesítményekhez közvetlenül kapcsolódó, ugyanazon a telephelyen található, radioaktív hulladék tárolására szolgáló létesítmények, amennyiben külön létesítménynek minősülnek; [1]

Ezek alapján a következő nukleáris létesítmények találhatók hazánkban.

## A Paksi Atomerőmű



1. ábra: Az MVM Paksi Atomerőmű látképe [20]

Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. négy VVER-440/V-213 típusú nyomottvizes blokkot üzemeltet: a reaktorok moderátora és a hőhordozó könnyűvíz. (Az erőmű biztonsági filozófiáját tekintve a második generációs VVER-440-es atomerőművek csoportjába tartozik.) A reaktorhoz hat hurkon keresztül kapcsolódik egy-egy gőzfejlesztő. A hermetikus terekhez a csőtöréses üzemzavarok kezeléséhez blokkonként egy-egy buborékoltató kondenzációs elven működő lokalizációs torony csatlakozik. Ezekben a tornyokban egymás fölött elhelyezkedő bórsavas vízzel feltöltött tálcák és légcspadák kaptak helyet.

Egy-egy blokkhoz három aktív, üzemzavari helyzetben dízelgenerátorról villamosan megtáplált biztonsági rendszer tartozik, amelyeket passzív rendszerek egészítenek ki. Blokkonként két telítettségű turbina üzemel. Az eredeti tervek szerint a blokkok névleges hőteljesítménye 1375 MW/blokk, a villamos teljesítménye pedig 440 MW/blokk volt. A 2006-2009. között végrehajtott teljesítménynövelési program eredményeként a hőteljesítmény minden blokkon 1485 MW-ra, a villamos teljesítmény pedig 500 MW-ra nőtt.

Az erőmű tervezői az ikerblokkos kialakítást választották. A négy blokkra közös turbina-, illetve a két-két blokkra közös reaktorcsarnok lehetőséget nyújt a nagy értékű karbantartási eszközök közös használatára a blokkok között. A blokkok ugyanakkor a főberendezéseiket és a biztonsági rendszereket tekintve lényegében függetlenek egymástól. Kivétel a biztonsági hűtővíz rendszer, ahol a nyomóág a szivattyúktól a kiegyenlítő tartályig közös a két blokkra.

A tervezés során a kiszolgáló rendszereket az erőműre közösen alakították ki, kihasználva a közös telephely és a blokkok egymás melletti elhelyezésének előnyeit.

### *A Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolója*



2. ábra: A Kiegészített Kazetták Átmeneti Tárolójának lát képe [21]

A Paksi Atomerőmű kiegészített kazettáinak 50 éves, átmeneti időtartamra való tárolására moduláris felépítésű száraz tároló üzemel az atomerőmű telephelyével szomszédos telephelyen.

A tárolóban a kazetták elhelyezésére alkalmas tárolókamrák száma modulrendszerben bővíthető, a modulok soros elhelyezése lehetővé teszi a közös fogadóépület és átrakógép alkalmazását. A kiegészített fűtőelem-kazettákat egyenként, függőleges helyzetű csövekben tárolják. A hosszú idejű tárolás során bekövetkező korróziós folyamatok kialakulásának megelőzésére a tároló-csőket nitrogén gázzal töltik fel. A tároló-csővek betonfalakkal körülvett modulokban helyezkednek el. A kazetták maradékhő-termelése miatt szükséges hűtést a modulokban és az ahhoz kapcsolódó kürtőrendszerben kialakuló természetes légáramlás biztosítja. A hűtési folyamat önszabályozó. A hűtést biztosító levegő nem érintkezik a kazettákkal, amelyek hermetikusan elzárt környezetben vannak.

### *A Budapesti Kutatóreaktor*

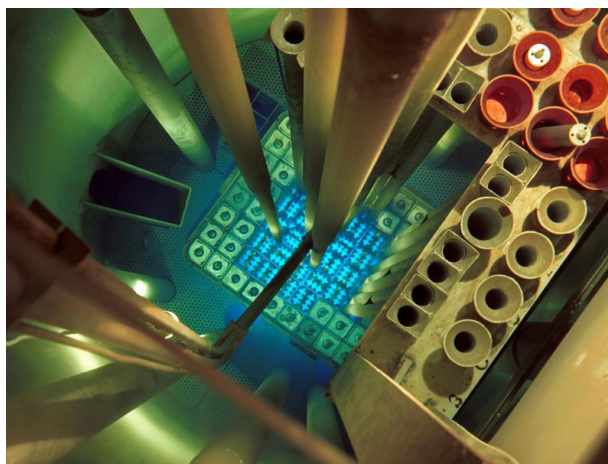


3. ábra: A Budapesti Kutatóreaktor reaktor-csarnoka [22]

Az MTA Energiatudományi Kutatóközpont (korábban: KFKI Atomenergia Kutatóintézet) által üzemeltetett Budapesti Kutatóreaktor 1959-ben épült, majd 1986-1993 között a reaktoron teljes körű rekonstrukciót hajtottak végre. A rekonstrukció után először 2003-ban, majd 2013-ban ismét megtörtént a Budapesti Kutatóreaktor időszakos biztonsági felülvizsgálata. A nukleáris biztonsági felülvizsgálatok eredményei alapján a hatóság engedélyt adott a létesítmény további üzemeltetésére és a Végleges Biztonsági Jelentésében szereplő tevékenységek végzésére. Az üzemeltetési engedély 2023. december 15-ig érvényes.

A reaktor tartály típusú reaktor, a tartály anyaga alumínium ötvözet, hűtőközege és moderátora könnyűvíz, illetve névleges hőteljesítménye 10 MW.

#### *A Budapesti Műszaki és Gazdaság-tudományi Egyetem Oktatóreaktora*



4. ábra: Budapesti Műszaki és Gazdaság-tudományi Egyetem Oktatóreaktora [23]

A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézete által üzemeltetett oktatóreaktor 1971 óta szolgálja az oktatást és kutatást. Az Oktatóreaktor jelenlegi üzemeltetési engedélye 2017. június 30-ig érvényes.

A reaktor medence típusú reaktor, hűtőközege és moderátora könnyűvíz, valamint EK-10 típusú, 10% dúsítású üzemanyagot használ.

### **ELŐZMÉNYEK – KORÁBBI KUTATÁSI MUNKÁK**

A felkészülésünk során irodalomkutatást végeztünk, és nem találtunk olyan hazai publikációt, mely a sugárvédelem korszerűsítésének kutatására irányult volna, ugyanakkor számos olyan dokumentumot találtunk, melynek célja a hazai szabályozási rendszer, illetve más szempontú szabályozás javítása volt.

Rónagy József és szerzőtársa dolgozták ki az egységes hatósági rendszert egy doktori munka keretében. Elsőként jutott arra a következtetésre, hogy a 21. századi kihívásoknak a magyar nukleáris hatósági biztonsági rendszer csak egységes szervezetben és irányítással tud megfelelni. Javaslatuk szerint egy hatóságnak kellene szabályozni az atomenergia békéscélú alkalmazásának minden kérdését. Ehhez szükséges, hogy egy hatóság rendelkezzen nukleáris biztonsági, biztosítéki, sugárvédelmi, fizikai védelmi és jogi szakembergárdával. Az OAH rendelkezik a megfelelő szakemberekkel, így alkalmas az átvett feladatok ellátására. [24]

Solymosi József és társa cikkükben ismertették Az atomreaktorok biztonsága című könyv tartalmát, melynek egyik fontos fejezete a reaktorbiztonság jogi kereteivel foglalkozik.

Kiemelték azokat a fontos megállapításokat, melyeket mi is próbáltunk cikkünkben hangsúlyozni, mégpedig hogy a vonatkozó jogszabályoknak nagymértékben támaszkodniuk kell különböző nemzetközi szabványokra és más nemzetközileg elfogadott normákra. Ezek között a legfontosabbak a NAÜ biztonsági szabványai, valamint az Európai Unió kötelező érvényű jogszabályai és ajánlásai. A biztonság megvalósulását szavatolják a nemzetközi szervezetek, valamint a nemzetközi egyezmények rendszere. [25][26]

A sugárvédelem területén talán az egyik legkiemelkedőbb, a fontosabb kérdéseket összefoglaló mű a Sugárvédelem című könyv, melynek minden fejezetét az adott témában elismert szakember írta. A javaslataink gyakorlati megértéséhez nagy segítséget nyújt az említett könyv, annak is az alábbi fejezetei: [27]

- A dozimetria alapjai
- A sugárvédelmi szabályozás
- Védekezés külső sugárterhelés ellen
- Belső sugárterhelés mechanizmusa és számítása
- Radioaktív anyagok biztonságos szállítása
- Radioaktív hulladékok
- Sugárveszélyes munkahelyek ellenőrzési módszerei
- Személyi dozimetria
- Nukleáris környezetellenőrzés
- A sugárvédelmi műszerek metrológiai követelményei
- A lakosság sugárterhelése
- Nukleárisbaleset-elhárítás
- A Paksi Atomerőmű sugárvédelmi ellenőrző rendszere
- Meghatározások

## **KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK A SUGÁRVÉDELEM KORSZERŰSÍTÉSÉHEZ**

A követelmények teljessége és érthetősége miatt átvettünk követelményeket a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendeletből is.

A munkánk során több olyan témakört is találtunk, amiben kiegészítésre lenne szükség. Ezeket a következőképpen soroltuk be:

- Sugárvédelmi program
- Irányítási rendszer
  - Foglalkozás-egészségügyi szolgálat
  - Sugárvédelmi szolgálat
  - Munkaterületek besorolása
  - Sugárvédelmi képzések tervezése
- A sugárveszélyes munkák optimalizálása
  - Általános szabályok
  - Idővédelem
  - Dózismegszorítás
  - Árnyékolás
  - Védőfelszerelések
  - Dózistervezés
  - Radioaktív anyagok, források minimalizálása
- Sugárvédelmi munkatervezés

- Kiemelten sugárveszélyes munkavégzés
- Munkahelyi ellenőrző és monitoring rendszer
  - Munkahelyi ellenőrző rendszerek
  - Személyi dozimetriai ellenőrzés
  - Belső sugárterhelés megállapítása
- Kibocsátás-ellenőrzés
  - Általános szabályok
  - A mérőműszerekkel szemben támasztott követelmények
  - Folyékony radioaktív kibocsátás-ellenőrzés
  - Légnemű radioaktív kibocsátás-ellenőrzés
- Dekontaminálás
- A radioaktív hulladékok kezelésének szabályozása
  - Gáz halmazállapotú radioaktív hulladékok
  - Folyékony radioaktív hulladékok
  - Szilárd radioaktív hulladékok

A következőkben leírjuk azokat a javaslatokat, melyeket a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet módosításához tettünk. Az egyes pontok megfogalmazásakor műszaki követelményeket adtunk, azt még meg kell vizsgálni, hogy a jogszabályi formai követelményeknek megfelel-e, illetve miként ültethető a nukleáris biztonsági jogszabályba.

A továbbiakban témakörönként leírjuk, milyen javaslatokat dolgoztunk ki, illetve meghivatkozunk, milyen pont, NAÜ ajánlás alapján jutottunk az adott következtetésre.

### **1. Sugárvédelmi program**

A NAÜ dokumentumok több helyen foglalkoznak a sugárvédelmi programmal, ami a hazai szabályozásból teljes mértékben kimaradt. Ezt a hiányosságot mindenképpen meg kell szüntetni, ezért a sugárvédelmi program követelményeit meg kell jeleníteni. Ezért javaslatot tettünk, hogy az erre vonatkozó követelmények az NBSZ 4. kötetében atomerőmű, az NBSZ 5. kötetében kutatóreaktorok, illetve az NBSZ 6. kötetében kiegészített nukleáris üzemanyag átmeneti tároló esetében, mégpedig a sugárvédelmi fejezet egy alfejezeteként jelenjenek meg.

A sugárvédelmi program követelményei számos NAÜ dokumentumban megjelennek, mint alkalmazandó követelmények. Ugyanakkor főként az SSR2/2-t vettük figyelembe, mivel ez egy követelmény szintű dokumentum (atomerőművek biztonsága: létesítés és üzemeltetés), illetve a megalapozáshoz a kellő részletességgel összefoglalja, amire szükség lehet egy jogszabályi előírásban. [11]

A dokumentum 20. követelménye tartalmazza a sugárvédelmi program részleteit. Az alábbi javaslatokat tettük a sugárvédelmi követelmények kiegészítéséhez:

A szabályozásnak elő kell írnia, hogy az engedélyesnek sugárvédelmi programot kell létrehoznia és végrehajtania.

SSR2/2 - 20. követelmény:

Az engedélyes sugárvédelmi programot dolgoz ki és hajt végre.

SSR2/2 - 5.10. pontja:

Az üzemeltető szervezet a sugárvédelmi módszerek és eljárások felügyeletével, ellenőrzésével és auditálásokkal biztosítja a sugárvédelmi program helyes végrehajtását és céljainak teljesülését.

SSR2/2 - 5.11. pontja:

A sugárvédelmi program biztosítja, hogy minden üzemállapotban a létesítményben az ionizáló sugárzás, illetve minden tervezett radioaktív kibocsátás dózisa az engedélyezett határértékek alatt és az észszerűen elérhető legalacsonyabb szinten van.

SSR2/2 - 5.12. pontja:

Az üzemeltető szervezetén belül a sugárvédelmi program számára elegendő függetlenséget és erőforrást biztosítanak a sugárvédelmi előírások, szabványok és eljárások, valamint a biztonságos munkamódszerek érvényesítésének és az ezeken alapuló javaslatok kidolgozásának feladatára.

SSR2/2 - 5.13. pontja:

A munkavállalónak tisztában kell lennie a sugárvédelmi programból rá vonatkozó kötelezettségekkel és azok gyakorlatban történő megvalósításában a személyes felelősségével. Következésképpen különös hangsúlyt kell fektetni a teljes üzemi személyzet képzésére, hogy megismerjék a munkájukkal kapcsolatos sugárzási veszélyeket és a szükséges sugárvédelmi intézkedéseket.

SSR2/2 - 5.14. pontja:

Minden munkavállalónak, beleértve az alvállalkozókat, akik az ellenőrzött területen dolgoznak, vagy akik rendszeresen jelen vannak a felügyelt területen az ezzel kapcsolatos (foglalkozási) sugárterhelésüket ellenőrizni kell a vonatkozó követelményeknek megfelelően. A személyi dózisokról nyilvántartást kell vezetni, és hozzáférhetővé kell tenni a munkavállalók és a hatóság számára.

SSR2/2 - 5.15. pontja:

A sugárvédelmi programban ki kell térni a foglalkoztatásából kifolyólag sugárzásnak kitett munkavállaló fizikai alkalmasságának igazolására szolgáló egészségügyi ellenőrzésre és a baleseti sugárterhelés esetén nyújtandó tanácsadásra. Az egészségügyi ellenőrzés a munkába álláskori vizsgálatból és azt követően rendszeres ellenőrzésekből áll.

SSR2/2 - 5.16. pontja:

A sugárvédelmi program alapján ellenőrizni kell a dózisteljesítményeket azon tevékenységek végzésének helyszínén, ahol a rendszereket és rendszerelemeket sugárzás hagyhatja el, ilyen tevékenységek többek között az ellenőrzési, karbantartási, üzemanyagkezelési tevékenységek. A sugárvédelmi programban tárgyalni kell továbbá a létesítményben a vegyszeti, valamint a hűtőközeg és a kiegészítő rendszerek folyadékaival kapcsolatos tevékenységek során fellépő besugárzásokat. A sugárvédelmi programban olyan rendelkezéseket kell tenni, hogy a fenti sugárzási helyzetek megfeleljenek az ésszerűség- és az optimalás-elvének.

A sugárvédelmi program keretében pedig létre kell hozni a sugárvédelmi követelmények alkalmazásának, betartásának egyik alapidokumentumát, a Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzatot, melynek tartalmi követelményeit a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet 8. melléklete tartalmazza. Pont a jellege miatt kiemelt szerepet tölt be, így nem megfelelő az a megközelítés, hogy egy nagyobb átalakítás, illetve engedély kérelem során nem kell azt frissíteni. Szükséges úgy módosítani a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendeletet, hogy az engedélykérelmekhez csatolni kelljen az MSSZ-t is az üzembe helyezési engedélytől kezdődően. Ennek okán nukleáris létesítmények esetén az MSSZ-re vonatkozó



követelményeket is a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendeletben kell szabályozni. Ezért javaslatot tettünk, hogy a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet mellékletében szereplő MSSZ általános, illetve speciális tartalmi követelményei, felülvizsgálatot követően kerüljenek az NBSZ 4., 5., illetve 6. kötetének sugárvédelmi fejezetébe. Ezzel párhuzamosan pedig szükséges a sugárvédelmi rendelet hatálya alól kiemelni a nukleáris létesítményeket.

Ehhez a következő módosításokra van szükség:

Az engedélyesnek a sugárvédelmi program keretén belül létre kell hoznia a létesítmény szintű Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzatot (MSSZ). Az MSSZ-nek legalább a következőket kell tartalmaznia:

A sugárvédelmi szervezet leírását és működését

- 1) A sugárvédelmi megbízott, illetve helyettesének neve, elérhetősége, munkaköri beosztása, előírt szakmai végzettsége és sugárvédelmi képzettsége;
- 2) A sugárvédelmi szervezet felépítése és feladatai, sugárvédelmi megbízott(ak) feladatai;
- 3) Az engedélyes sugárvédelemmel kapcsolatos feladatai és a létesítményt üzemeltető szervezet vezetőinek sugárvédelemmel kapcsolatos feladatainak (kötelezettségeinek) ismertetése;
- 4) A felelősségi körök felsorolása;
- 5) Annak meghatározását, hogy milyen időközönként szükséges az MSSZ felülvizsgálata;
- 6) Az engedélyes által megbízott foglalkozás-egészségügyi szolgálat neve és címe, a sugáregészségügyi vizsgálatok rendje (gyakorisága, megszervezésének módja, eltiltások kezelése, stb.);

A munkavállalókra vonatkozó előírásokat

- 7) A munkavállalók külső és belső sugárterhelésének ellenőrzésére vonatkozó követelmények, ezek gyakorisága és módja;
- 8) Amennyiben személyi sugárterheléseket más munkavállalókon végzett személyi mérések alapján becsülnék, a becsüléshez felhasznált számítási módszerek ismertetése;
- 9) A sugárveszélyes munkahelyen dolgozó munkavállalók sugárvédelemmel kapcsolatos jogainak és kötelezettségeinek felsorolása;
- 10) A sugárveszélyes munkaterületek és munkakörök leírása, a munkavállalók sugárvédelmi besorolása („A” vagy „B” besorolás);
- 11) A sugárveszélyes munkahelyen dolgozó munkavállalók szakmai és sugárvédelmi képzettségi követelményeit, a külső és belső sugárvédelmi képzések rendjét;

A sugárveszélyes munkahely felügyeletére vonatkozó előírásokat

- 12) Az ellenőrzött, illetve felügyelt területek meghatározása, követelményrendszere (körülhatárolási intézkedések), az egyes területek sugárvédelmi felügyeletére tett intézkedések;
- 13) A felületi szennyezettség ellenőrzésének és megszüntetésének rendje;
- 14) A radioaktív hulladékok munkahelyi és üzemi gyűjtésének, kezelésének módja, nyilvántartásuk rendje;
- 15) A sugárvédelmi ellenőrző rendszerek bemutatása, a személyi védőeszközök bemutatása, viselésükre, vonatkozó előírások, a sugárvédelmi műszerek, személyi dózismérők bemutatása, viselésükre, kezelésükre, karbantartásukra, hitelesítésükre vonatkozó előírások;
- 16) Az egyes munkahelyeken szükséges sugárvédelmi szervezési intézkedéseket;

- 17) A sugárvédelmi felügyeleti feladatok szabályozása, különös tekintettel az ionizáló sugárzás ellenőrzésére és mérésére;
- 18) Mindazon sugárvédelmi ismereteket, amelyeket a biztonságos munkavégzéshez ismerni kell;

Nyilvántartások, jelentések, valamint események kezelését

- 19) A sugárvédelemmel kapcsolatos nyilvántartások (személyi dózismérések, képzések, orvosi vizsgálatok, sugárvédelmi ellenőrzések és értékelések, sugárforrások és hulladékok nyilvántartása, stb.) vezetési és a bizonylatok megőrzési rendje, a hatóságok részére történő bejelentési kötelezettség teljesítésének rendje;

- 20) A normálistól eltérő események esetén végrehajtandó teendők;

Zárt sugárforrások kezelését

- 21) 1., 2. és 3. kategóriájú zárt sugárforrások alkalmazása esetén az MSSZ tartalmazza a használatukra, tárolásukra, nyilvántartásukra vonatkozó szabályokat;
- 22) A hiányzó radioaktív vagy nukleáris anyag lehetséges helyének a felkutatására és felügyelet alá helyezésére vonatkozó intézkedési terv.

## 2. Irányítási rendszer

### 2.1. Foglalkozás-egészségügyi szolgálat

A foglalkozás egészségügy szabályozásával a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet foglalkozik, valamint a *munkaköri, szakmai, illetve személyi higiénés alkalmasság orvosi vizsgálatáról és véleményezéséről* szóló 33/1998. (VI. 24.) NM rendelet, [25] de a speciális, sugárvédelmi szempontú szabályozását nem kellő részletességgel tárgyalja. A javaslataink megalkotásakor figyelembe vettük az említett jogszabályokat és úgy adtuk meg azokat, hogy ne legyen ellentmondás a jogszabályok között.

2013/59/EURATOM Irányelv 45. cikk

Az „A” kategóriába tartozó munkavállalók orvosi felügyeletét a foglalkozás-egészségügyi szolgálatnak kell elvégeznie. Az orvosi felügyeletnek lehetővé kell tennie annak megállapítását, hogy az érintett munkavállalók egészségi állapotuknál fogva alkalmasak-e a számukra kijelölt feladatkör ellátására. E célból a foglalkozás-egészségügyi szolgálatnak hozzáféréssel kell rendelkeznie minden általa szükségesnek tartott lényeges információhoz, beleértve a munkavégzés helyének környezeti feltételeit is.

Az orvosi felügyelet keretében el kell végezni:

- a) a foglalkoztatást, illetőleg az „A” kategóriába való besorolást megelőzően végrehajtott orvosi vizsgálatot annak meghatározására, hogy a munkavállaló alkalmas-e arra, hogy „A” kategóriába tartozó munkavállalóként betöltse azt a munkakört, amelybe be kívánják osztani;
- b) időszakos egészségügyi felülvizsgálatot évente legalább egyszer annak megállapítása céljából, hogy az „A” kategóriába tartozó munkavállalók továbbra is alkalmasak-e feladataik ellátására. Ezt a felülvizsgálatot a foglalkozás-egészségügyi szolgálat az általa szükségesnek tartott gyakorisággal, a munka típusától és az adott munkavállaló egészségi állapotától függően megválasztott vizsgálatok lefolytatása útján végzi el.

A foglalkozás-egészségügyi szolgálat jelezheti, ha az orvosi felügyeletet a munkavégzés megszűnését követően is szükségesnek tartja mindaddig folytatni, amíg azt az érintett személy egészségének megóvása szükségessé teszi.

2013/59/EURATOM Irányelv 46. cikk

Az „A” kategóriába tartozó munkavállalóként történő munkavégzésre való alkalmasságra a következő kategóriákból álló orvosi besorolási rendszert kell alkalmazni:

- a) alkalmas;
- b) feltételesen alkalmas;
- c) alkalmatlan.

487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet 34.§ (2)

Sugárveszélyes munkakörben nem foglalkoztatható az a munkavállaló, akiről a foglalkozás egészségügyi szolgálat vizsgálata során megállapítást nyert, hogy egészségügyi szempontból alkalmatlan az adott munkakör betöltésére.

## 2.2. Sugárvédelmi szolgálat

A sugárvédelmi szolgálat követelményeit a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet tartalmazza, melynek kiegészítésére teszünk javaslatot, illetve az engedélyesre vonatkozó követelményeket a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendeletbe javasoljuk helyezni. A javaslatot az NS-R-5, illetve az NS-G-2.7 alapján tesszük:

NS-R-5 Rev. 1 - 9.44.

A sugárvédelmi megbízott feladatait az engedélyes szervezetén belül létrehozott létesítményi sugárvédelmi szervezet látja el. A szervezet az engedélyes szakképzett, a nukleáris létesítményt az aktuális engedélyezési dokumentumok, az üzemvitel és a létesítményhez kapcsolódó tevékenységek jelentette veszélyek sugárvédelmi vonatkozásait jól ismerő munkavállalóiból áll. A sugárvédelmi szervezet vezetője a sugárvédelmi megbízott.

A szervezeten belül a sugárvédelmi megbízott mellé helyettes is ki kell nevezni írásban. Biztosítani kell, hogy a sugárvédelmi szervezeti egység vezetősége közvetlenül jelenthessen az engedélyes felső vezetésének.

Az engedélyes biztosítja a sugárvédelmi megbízott számára mindazokat a személyi és tárgyi feltételeket, amelyek feladatai ellátásához szükségesek.

487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet 7.§

A sugárvédelmi megbízott, vagy helyettesének személyében bekövetkező változás esetén értesíteni kell a hatóságot. Az értesítéssel a munkakör betöltéséhez szükséges végzettségek igazolását is meg kell küldeni.

NS-G-2.7 - 3.73.

A sugárvédelmi szolgálat vezetőjének, vagy a sugárvédelmi megbízott felelősségei a következőket is magukba foglalják:

- a) a sugárvédelmi program teljesítéséhez módszerek és eljárások fejlesztése,
- b) az olyan feltételek és műveletek beazonosítása, melyek jelentős sugárterheléssel járnak,
- c) az adatok (pl. radiológiai adat, dózis szintek) átadása más szervezeti egységeknek
- d) a sugárvédelmi képzési program teljesülésének ellenőrzése.

## 2.3. Munkaterületek besorolása

A 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet előírja, hogy ellenőrzött, illetve felügyelt területet kell kijelölni, illetve leírja azok általános követelményeit, ugyanakkor egy nukleáris létesítményben más szempontokat is figyelembe kell venni, ezért szükséges a szabályozást

kiegészíteni. Ezek a követelmények lehetnek műszaki jellegűek, melyek valamilyen feltételt támasztanak a terület besorolásától függően, illetve viselkedési jellegűek, melyek valamilyen követelményt írnak le az ott dolgozókra, illetve az ott tartózkodókra.

Ahhoz, hogy megfelelő szabályozást alkossunk, nem elégséges a jelenlegit kiegészíteni, hanem a már meglévőt is felül kell vizsgálni, hogy mely jogszabályban van a helye, a sugárvédelmi, vagy a nukleáris biztonsági szabályzatban, valamint hogy szükség van-e a kiegészítésére.

A munkaterületek besorolásához az NS-G-1.13, az NS-G-2.7, NS-R-5 NAÜ ajánlásokat, valamint a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendeletet használtuk fel.

#### NS-G-1.13 - 3.18 (3)

A létesítmény területét a várható és a mérhető dózisteljesítményeket és radioaktív szennyezettséget, valamint a várható dóziszokat figyelembe véve kell ellenőrzött, felügyelt és szabad zónákra osztani.

#### 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet 26.§ (1) (2) és (3)

Az ellenőrzött és a felügyelt terület kijelölését, valamint munkafeltételeket rendszeresen, továbbá a sugárvédelmet érintő változások esetén felül kell vizsgálni.

#### NS-G-2.7 - 3.3.

Azt a területet, ahol valamilyen védőfelszerelés, vagy biztonsági rendelkezés szükséges az ott tartózkodáshoz, illetve munkavégzéshez, a

- a) normál besugárzás irányítása;
  - b) szennyeződés szétterjedésének megakadályozása;
  - c) besugárzás, vagy potenciális besugárzás megelőzése;
- miatt, az ellenőrzött területbe kell besorolni.

#### NS-G-2.7 - 3.14.

Azt a területet, ami nem besorolt ellenőrzött területként, de ahol a sugárzási körülmények megkövetelik a felügyeletet, felügyelt területként kell besorolni.

#### 487/2015. Korm. (XII. 30.) rendelet 26.§ (1) (2) és (3)

Az ellenőrzött és a felügyelt terület kijelölését, valamint munkafeltételeket rendszeresen, továbbá a sugárvédelmet érintő változások esetén felül kell vizsgálni.

Az ellenőrzött területen történő munkavégzéshez kötelező írásos utasítást adni.

#### 487/2015. Korm. (XII. 30.) rendelet 39.§

A felügyelt és ellenőrzött területen munkát végző munkavállaló, beleértve a külső munkavállalót is, köteles

- a) az MSSZ-t ismerni és az abban foglaltakat betartani,
- b) a védőeszközöket előírászerűen használni és tárolni,
- c) a személyi dózismérőket előírászerűen viselni és tárolni,
- d) a belső sugárterhelés meghatározását célzó vizsgálatokon a vizsgálatot végzőkkel együttműködni, valamint
- e) a sugárvédelemmel összefüggő, sugárvédelmi intézkedést kívánó eseményeket a sugárvédelmi megbízottnak azonnal jelenteni.

Ezeket a kötelezéseket az engedélyes és a hatóság ellenőrzéssel betartatja.

#### NS-G-2.7 - 3.13.

A szennyeződés szétterjedésének, kijutásának megakadályozása érdekében az ellenőrzött terület határán az eszközök mérésére is alkalmas sugárkapukat kell telepíteni,

ellenkező esetben az eszközök ellenőrzésére szolgáló eljárást kell kidolgozni és alkalmazni.

487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet 27.§ (2)

Az ellenőrzött területen a sugárterhelés korlátozásának és az esetleges veszélyhelyzeti sugárterhelés valószínűségének csökkentése érdekében, illetve radioaktív szennyeződés terjedésének megakadályozása céljából sugárvédelmi intézkedéseket és biztonsági előírásokat kell meghatározni. Ennek érdekében legalább az alábbiak betartását biztosítani kell:

- a) az ellenőrzött terület határait egyértelműen ki kell jelölni, a bejáratot a sugárveszélyre, a sugárforrás jellegére és a kockázatra utaló jelzéssel és felirattal, valamint a munkaterület, illetve munkahely megnevezésével kell ellátni,
- b) az ellenőrzött területre csak olyan személy belépését szabad lehetővé tenni, aki az ellenőrzött területre vonatkozó sugárvédelmi szabályokat ismeri,
- c) különleges intézkedéseket kell alkalmazni azon a területen, ahol fennáll a radioaktív szennyeződés terjedésének jelentős kockázata; ezeknek a különleges intézkedéseknek ki kell terjedniük a személyek és az áruk be- és kiléptetésére, valamint az ellenőrzött terület és adott esetben a szomszédos terület szennyeződésének monitorozására,
- d) a radiológiai kockázatok jellegét és nagyságát figyelembe véve meg kell szervezni az ellenőrzött terület sugárvédelmi felügyeletét, hitelesített műszerekkel történő sugárvédelmi ellenőrzését,
- e) a radiológiai kockázatokhoz és az érintett műveletekhez igazodó, az MSSZ-ben rögzített munkahelyi utasításokat kell meghatározni,
- f) a munkavállalót megfelelő személyi védőfelszereléssel kell ellátni, valamint
- g) az ellenőrzött területen csak az atomenergia alkalmazásával összefüggő tevékenység végezhető, és csak a tevékenységekhez szükséges eszköz vagy anyag tartható.

NS-G-2.7 - 3.6.

Az ellenőrzött területen belül a helyiségeket az ott mérhető dózisteljesítmény, vagy az adott helyiségben jellemző radioaktív szennyezettség szerint kell csoportosítani.

NS-G-2.7 - 3.8.

Az ellenőrzött terület helyiségeinek bejáratánál figyelmeztető jelzést kell elhelyezni, aminek a következőket kell tartalmaznia, amennyiben azt a helyiség kategóriája megköveteli:

- a) a sugárzási, vagy szennyezettségi szint mértéke,
- b) a helyiség kategóriája,
- c) a belépési eljárás, vagy a bent töltött idő korlátozásának szabályai,
- d) veszélyhelyzet eljárások.

NS-G-2.7 - 3.10.

A személyzet azon tagjai, akik belépnek az ellenőrzött területre, az eljárásoknak megfelelően jogosultságot kell megszerezniük, illetve meg kell ismerjék a sugárvédelmi ajánlásokat és képzésben kell részesülniük.

A jogosultság a teljes ellenőrzött területre, vagy annak egy részére vonatkozhat, és szólhat egy adott időszakra, vagy a területen bekövetkező radiológiai változásig.

487/2015. Korm. (XII. 30.) rendelet 28.§ (2)

A felügyelt területre vonatkozó követelmények:

- a) a radiológiai kockázatok jellegét és nagyságát figyelembe véve meg kell szervezni a felügyelt terület sugárvédelmi felügyeletét, hitelesített műszerekkel történő sugárvédelmi ellenőrzését,
- b) a felügyelt terület bejáratát a sugárveszélyre és a sugárforrás jellegére, a munkaterület, valamint a munkahely megnevezésére utaló jelzéseket és feliratokat kell elhelyezni,
- c) a sugárvédelmi megbízott döntésétől függően a sugárforrásokkal összefüggő radiológiai kockázatokhoz és az érintett műveletekhez igazodó munkahelyi utasításokat kell meghatározni,
- d) a sugárvédelmi megbízott döntésétől függően, a munkahelyen végezhető tevékenységek, a tárolható eszközök, anyagok köre korlátozható,
- e) ahol a felügyelt területen belül a napi munkaidő felét meghaladó időtartamban  $20 \mu\text{Sv/h}$ -nál nagyobb környezeti dózisegyenérték-teljesítmény, vagy besugárzásonként  $50 \mu\text{Sv}$ -nél nagyobb környezeti dózisegyenérték fordulhat elő, de az ellenőrzött területtől nyilvánítás nem indokolt, a területre való véletlen belépést meg kell akadályozni.

#### NS-G-1.13 - 4.23

A tervezés során úgy kell kialakítani fizikailag a helyiségeket, hogy az esetlegesen azokba kikerülő szennyező anyagok terjedése a lehető legkisebb mértékű és leglassabb legyen.

#### NS-R-5 Rev. 1 - 6.42

A potenciálisan szennyezett, valamint a sugárterhelés veszélyével fenyegető területeket be kell azonosítani és meg kell jelölni úgy, hogy az oda belépő és az ott tartózkodó személyek tisztában legyenek a fenyegetettség jellegével és mértékével.

#### NS-R-5 Rev. 1 - 9.47

A létesítmény azon területei esetében, ahol a jogszabályokban, hatósági határozatokban, valamint a belső szabályozó dokumentumokban rögzített korlátok valamelyikének jelentős hányadát kitevő sugárterhelésre lehet számítani, műszaki megoldások és adminisztratív intézkedések alkalmazásával ellenőrizni, szabályozni és korlátozni kell a belépést és a bent tartózkodást. Az ellenőrzésnek, szabályozásnak és korlátozásnak arányosnak kell lennie a sugárterhelés kockázatával.

A radioaktív szennyeződések terjedését ellenőrizni, szabályozni, és a gyakorlatilag lehetséges legnagyobb mértékben korlátozni kell.

### **2.4. Sugárvédelmi képzések tervezése**

A sugárvédelmi képzéseket a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet szabályai alapján kell végrehajtani. A képzés 3 szintű, alap-, bővített-, illetve átfogó fokozatú sugárvédelmi képzettséget tesz lehetővé. A rendelet meghatározza, hogy az egyes fokozatokat kinek kötelező elvégezni. Ezen felül leírja, hogy a képzéseknek milyen kötelező tematikával kell rendelkeznie, ugyanakkor nem tesz kivételt a kiemelt létesítményekben dolgozókra. Indokoltnak tartjuk, hogy olyan követelmények is szerepeljenek a szabályozásban, melyek a nukleáris létesítményekkel külön foglalkoznak, hiszen ott olyan speciális munkakörnyezetben dolgoznak a munkavállalók, melyek speciális képzést igényelhetnek. Megítélésünk szerint ezt a célt részben ellátja az adott létesítmények MSSZ képzése, ugyanakkor annak megalapozásához szükséges lehet a sugárvédelmi képzések kiegészítése.

A képzések kiegészítéséhez az NS-R-5, az NS-G-2.7, a 2013/59/EURATOM Irányelvet, valamint a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendeletet használtuk fel.

## 2013/59/EURATOM 14. cikk

Az engedélyes létrehozza a megfelelő sugárvédelmi oktatás, képzés és tájékoztatás nyújtását biztosító feltételeket és belső szabályozásait, amelynek minden olyan személyre ki kell terjednie, akinek feladatai speciális sugárvédelmi kompetenciákat igényelnek. A képzés és tájékoztatás nyújtását megfelelő időközönként meg kell ismételni, és dokumentálni kell.

## NS-R-5 Rev. 1 - 9.12.

Biztosítani kell, hogy a munkavállalók részletesen megismerkedjenek az általuk végzett tevékenységek veszélyeivel. Képzésük során kiemelt figyelmet kell fordítani az olyan, ionizáló sugárzásából származó veszélyekre, melyek vonatkozásában kézi beavatkozást lehetősége merülhet fel.

## NS-G-2.7 - 3.55.

A személyzetet, beleértve a beszállítókat is, specifikus képzés keretében kell kioktatni a védőfelszerelések és -berendezések használatáról. A személyzet azon tagjai, akik a védőruházatot és a légzésvédőt kezelik, dekontaminálják, a feladat elvégzésének megfelelően képezni kell.

## NS-G-2.7 - 5.4.

A dolgozók képzésének ki kell terjednie valamennyi releváns sugárzási helyzetre és a lehetséges kockázatokra. Azok, akik magas sugárzási szintű helyeken végeznek munkát, ki kell képezni a specifikus munka tevékenységek szerint oly módon, hogy lehetővé teszi számukra, hogy feladataikat a lehető legkevesebb idő alatt, az optimálási szempontokat figyelembe véve tudják végezni.

## NS-G-2.7 - 5.5. és 2013/59/EURATOM 15. cikk

Nukleáris létesítmények munkavállalói, illetve beszállítói esetében a sugárvédelmi képzésnek a vonatkozó rendeleten túl a következőkre is ki kell terjednie:

- a) az ionizáló sugárzások típusai és hatásuk;
- b) sugárvédelmi mennyiségek és mértékegységek;
- c) alapvető védelmi és biztonsági eljárások, beleértve az idő- és távolságvédelmet, valamint az árnyékolást;
- d) sugárvédelem elvei és a radioaktív hulladék kezelése (a védelem és a biztonság optimalizálása, dózis korlátok, hulladék minimalizálás);
- e) védőeszközök használata, úgymint árnyékolás és védőfelszerelések;
- f) ellenőrző és szennyezettség-mérő műszerek, valamint egyéni külső és belső ellenőrző műszerek használata, beleértve a dózis értékelést is;
- g) potenciális kockázatok üzemelés alatti atomerőművekkel kapcsolatban;
- h) a munkájukból adódó, sugárzással kapcsolatos egészségügyi kockázatok;
- i) szabályok és eljárások a létesítményben, különösen speciális feladatok kapcsán;
- j) azon sugárvédelmi eljárások és a megeendő óvintézkedések, amelyek az általános üzemi és munkakörülményekhez kapcsolódnak egyfelől általában az adott tevékenységet illetően, másfelől pedig azon munkaadásoknak vagy munkafeladatoknak az egyes típusait illetően, ahová, illetve amelyekre az érintett munkavállalót kijelölhetik;
- k) figyelmeztető jelzések, riasztási jelek és információk a megfelelő intézkedés meghozatalához;
- l) szennyezés-ellenőrzés, dekontaminálás és a sugárforrások csökkentése;

- m) a sugárzás megnövekedésének kockázatát növelő előre nem látott esemény kapcsán a megjelölt személyek tájékoztatásának felelőssége;
- n) a veszélyhelyzet-elhárítási tervek és eljárások releváns részei;
- o) nukleáris- vagy radiológiai veszélyhelyzeti esemény, valamint a radioaktív anyagok szállítása során bekövetkező baleset esetén meghozandó intézkedések;
- p) telephelyen belüli és azon kívüli radioaktív anyagok biztonságos szállítására vonatkozó szabályai;
- q) a fűtőelem kritikusságának biztonsága;
- r) az ellenőrzött terület viselkedési szabályai;
- s) a műszaki, az orvosi és az adminisztratív követelmények teljesítésének fontossága

487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet képzési követelményeinek kiegészítése

Nukleáris létesítmények esetében a sugárvédelmi képzések speciális tematikáját a nukleáris biztonsági hatóság hagyja jóvá.

2013/59/EURATOM 17. cikk

Biztosítani kell, hogy a veszélyhelyzet-elhárítási tervben vagy veszélyhelyzet-kezelési rendszerben meghatározott veszélyhelyzeti munkavállalók megfelelő és rendszeresen aktualizált tájékoztatást kapjanak arról, hogy beavatkozásuk milyen egészségügyi kockázatokat rejt, illetve arról, hogy ilyen esetben milyen óvintézkedéseket kell hozni. Ennek a tájékoztatásnak a lehetséges veszélyhelyzetek teljes spektrumára és a beavatkozás típusára is ki kell terjednie. Veszélyhelyzet bekövetkeztekor a tájékoztatást az adott eset speciális körülményeinek figyelembevételével azonnal megfelelő módon ki kell egészíteni.

Az engedélyesnek, vagy a veszélyhelyzeti munkavállalók védelméért felelős szervezetnek biztosítani kell, hogy a veszélyhelyzeti munkavállalóknak megfelelő képzést nyújtson. Ennek a képzésnek adott esetben gyakorlati feladatokat is tartalmaznia kell.

NS-G-2.7 - 5.10.

A képzéseket a szükséges gyakorisággal meg kell ismételni, valamint eszközök, eljárások, politikák szignifikáns változásai, módosításai után a megfelelő szintű kompetencia fenntartásának biztosítása, illetve a sugárvédelem és a radioaktív hulladék kezelés változásainak megértése érdekében.

A képzési programot meghatározott időközönként felül kell vizsgálni.

NS-G-2.7 - 5.11.

Női dolgozók, akik az ellenőrzött területen végeznek munkát, biztosítani kell a megfelelő tájékoztatást a magzatot vagy az embriót érintő radiológiai kockázatokról, valamint a terhesség bejelentésének fontosságáról.

### **3. A sugárveszélyes munkák optimalása**

A sugárvédelem egyik legfontosabb kérdése az optimalás. Ennek alapjait lefekteti a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet, valamint a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet is utal rá, hogy optimalni kell, ugyanakkor szükségesnek érezzük kiegészíteni a szabályozást olyan konkrét kritériumok megfogalmazásával, ami közelebb visz ahhoz, hogy nukleáris létesítmények esetében mit értünk optimalás alatt, mik azok a tevékenységek, műszaki megoldások, amikkel az optimalás végrehajtható. Eszerint 7 csoportba soroltuk a sugárvédelmi optimalás követelményeit.

A javaslatainkat a GSR Part 3, az NS-G-1.13, az NS-G-2.7, az NS-R-5 Rev 1. és a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet alapján tesszük.



### 3.1. Általános szabályok

#### NS-G-2.7 - 3.1

A sugárvédelem optimalásánál figyelembe kell venni a létesítmény típusát, a tervezési szempontokat, valamint a létesítmény életciklusa során történő olyan üzemeltetési változásokat, eseményeket, átalakításokat, melyek befolyással lehetnek a sugárvédelem kialakítására.

#### NS-G-1.13 - 4.24 (1) és 4.24 (5)

A munkavállalók sugárterhelésének optimalása érdekében a következőket kell alkalmazni:

- a) megfelelő méretű folyosók, átjárók, munkatermek biztosítása a karbantartási és ellenőrzési tevékenységekhez, különös tekintettel a kiegészítő egyéni védőeszközökben való munkavégzésre;
- b) megfelelő méretű folyosók, átjárók biztosítása a nagyméretű, javításra vagy cserére elszállítandó eszközökhöz és berendezésekhez;
- c) biztosítani kell tartózkodókat, pihenőket, megbeszélésre, várakozásra lehetőséget adó helyiségeket a kisebb dózisteljesítményű területeken.

#### GSR Part 3 - 1.22

Minden sugárterhelést a gazdasági, társadalmi és környezeti körülményeket figyelembe véve kell az ezek szerint elérhető legalacsonyabb szinten tartani.

#### NS-G-1.13 - 2.4

A munkavállalók személyi dózisainál tekintettel kell lenni arra, hogy ne csak az átlagos dózisok legyenek az észszerűen elérhető legalacsonyabbak, hanem a dózisterhelés egyenletesen legyen elosztva az érintett munkavállalók között.

#### NS-G-1.13 - 4.26 (4)

A radioaktív anyagok, elsősorban iszapok kiülepedését meg kell akadályozni már a tervezés során megfelelő kialakítással létrehozott csővezeték-rendszerrel, ezáltal csökkentve a lehetséges forró pontok számát.

#### NS-G-1.13 - 4.29 és 4.46

A csővezetékek túlfolyását és leürítéseit is külön, zárt, szűréssel ellátott csatornarendszerbe kell kivezetni.

### 3.2. Idővédelem

#### NS-G-1.13 - 3.23

A sugárveszélyes munkák esetén alkalmazandó idővédelem érdekében a következő elveket kell megvalósítani:

- a) célszerszámokat és nagy megbízhatóságú eszközöket kell alkalmazni;
- b) könnyen karbantartható, valamint szét- és összeszerelhető berendezéseket kell alkalmazni;
- c) az a) és a b) pontok megvalósíthatósága érdekében jó hozzáférhetőséget és megfelelő megvilágítást, továbbá lehetőség szerint hőmérsékletet és páratartalmat kell biztosítani a munkaterületeken;
- d) ahol más biztonsági szempontok miatt nem indokolt megtartani, a tervezett megelőző karbantartásokat állapot szerinti üzemeltetéssel kell felváltani, vagy azok mennyiségét csökkenteni kell.

NS-G-1.13 - 4.24 (7)

Ahol a sugárzási viszonyok miatt nem megengedett, vagy túlságosan nagy terheléssel járna a munkavégzés, ott előre telepített eszközöket kell elhelyezni (létrák, daruk, platformok) a munkavégzés megkönnyítésére és felgyorsítására.

NS-G-1.13 - 4.24 (8)

A dozimetriai engedélyes munkákat a létesítmény virtuális modelljének segítségével kell megtervezni.

Az építés során videó és/vagy fényképfelvételeket kell készíteni a megvalósulásról. Az ezek alapján rendelkezésre álló adatokat a sugárveszélyes munkák előzetes tervezéséhez fel kell használni.

### 3.3. Dózismegszorítás

NS-G 2.7 - 2.20.

A sugárvédelem optimalálásához referencia szinteket, valamint dózismegszorítást kell alkalmazni a munkavállalók és a lakosság sugárterhelésére vonatkozóan egyaránt.

GSR Part 3 – 1.22 és 1.23

A lakossági sugárterhelésre vonatkozó dózismegszorítást az engedélyes javaslata alapján az OAH engedélyezi, valamint annak betartását ellenőrzi. A dózismegszorítást a lakosságot érintő valamennyi engedélyezett tevékenységből és fennálló sugárzási helyzetből eredő dózisek összegére vonatkozó dóziskorlát figyelembe vételével kell megállapítani.

487/2015. Korm. (XII. 30.) rendelet 8. § (3)

A dózismegszorításokat egy megfelelően meghatározott, adott időtartam során kapott, személyre vetített effektív vagy egyenértékdózisekként kell megállapítani.

GSR Part 3 – 1.23

A munkavállalók sugárterhelésére vonatkozó dózismegszorítás értékét a hatóság hagyja jóvá az engedélyes javaslata alapján, ugyanakkor annak betartása a dóziskorláton belüli munkavégzésre figyelmeztethet.

487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet kiegészítése

A dózismegszorítás értékét üzemeltetési engedély kiadásakor, de legalább az IBF keretén belül felül kell vizsgálni.

GSR Part 3 – 1.23

A dózismegszorítás megválasztását a következő szempontok szerint kell megtenni:

- a) a sugárzás jellege és természete, valamint annak megelőzésére szolgáló eszközei,
- b) regionális tényezők,
- c) várható haszon figyelembe vétele.

A dózismegszorítás értékét üzemeltetési engedély kiadásakor, de legalább az IBF keretén belül felül kell vizsgálni.

GSR Part 3 – 1.22

Az észszerűség figyelembe vételével, a vonatkozó dóziskorlátok és -megszorítások betartása érdekében az engedélyesnek vonatkoztatási szinteket kell megállapítania az engedélyezett határértékek alatt. Ezen vonatkoztatási szinteket az MSSZ-ben kell rögzíteni. A vonatkoztatási szintek esetleges túllépését az engedélyesnek ki kell vizsgálnia, és ennek nyomán javító intézkedéseket kell előírnia és végrehajtania.

487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet kiegészítése

A sugárvédelmi ellenőrzési rendszerben olyan figyelmeztető határokat kell definiálni, amelyek:

- a) segítenek megelőzni a hatósági korlátok túllépését, és
- b) kellő időben jelzik a folyamatoknak, a rendszerelemek állapotának romlását vagy a sugárveszély váratlan események miatti növekedését.

NS-G 2.7 - 2.20.

Kivizsgálási szinteket kell alkalmazni külső és belső egyéni sugárterhelésre az egyéni dózisos nagysága alapján, valamint munkahelyi monitorozó rendszerekre a dózisteljesítmény, a szennyezettség, valamint üzemi tapasztalatok alapján megjelölt mennyiségekre.

### 3.4. Árnyékolás

487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet kiegészítése

A dózisos csökkentésére az észszerűen megvalósítható legmagasabb szintű sugárvédelmi árnyékolás alkalmazása szükséges.

NS-G 2.7 – 3.57.

Az engedélyesnek biztosítani kell különböző típusú és anyagú árnyékoló eszközöket, melyek a különböző speciális munkák ideiglenes árnyékolásához szükségesek.

NS-G-1.13 - 4.53, 4.54 és 4.56

A sugárvédelmi árnyékolásokat az előzetesen megállapított sugárzástípusoknak és számított dózisteljesítményeknek megfelelően kell kialakítani. Ennek során figyelemmel kell lenni a létesítmény életciklusa során felgyülemelő szennyeződésekre is.

NS-G-1.13 - 4.24 (9)

Ahol lehetőség van rá, a sugárvédelmi árnyékolást könnyen eltávolítható formában kell kialakítani, hogy az ne gátolja vagy lassítsa a karbantartási folyamatokat.

NS-G-1.13 - 4.24 (12)

A karbantartási munkák idejére sem árnyékolható berendezések, helyek esetében különösen törekedni kell a munkálatok gyors elvégezhetőségére, távvezérelt eszközök alkalmazására és a folyamatok előzetes megtervezésére.

NS-G-1.13 - 4.57

A sugárvédelmi árnyékolások tervezésénél figyelembe kell venni az őket érő degradációt, így a sugárzás (elsősorban: neutronsugárzás) és a környezeti tényezők (elsősorban: korrózió, hőmérséklet) okozta károkat is. A földrengések hatásait is figyelembe kell venni és minimalizálni kell azt a megvalósítás során.

NS-G-1.13 - 4.65

A sugárvédelmi árnyékolásokon a lehető legkevesebb áttörés legyen (pl. vezetékek számára). A szükséges áttöréseken térkitöltő anyag, cikk-cakkos kialakítás és egyéb módszerek segítségével meg kell akadályozni a sugárzás közvetlen kijutását az árnyékolás mögül.

NS-G-1.13 – 5.15

A létesítmények tervezése során előkészületeket kell tenni az előre látható baleseti szituációkban szükségessé váló ideiglenes árnyékolások telepítésére, és az ehhez

szükséges műszaki anyagokat, berendezéseket még az üzembe helyezés előtt fel kell halmozni.

NS-G-2.7 - 3.58.

Az engedélyesnek biztosítani kell a felaktiválódott tárgyak (pl. in-core detektorok) telephelyen belüli szállításához szükséges csomagolásokat, ami megfelelő árnyékolást biztosít és csak arra a célra alkalmazható.

### 3.5. Egyéni védőeszközök

NS-R-5 Rev. 1 - 9.48.

A radioaktív anyaggal való szennyeződés és a sugárterhelés lehetőségét minimalizáló védőeszközöket kell biztosítani a kockázatnak kitett személyek számára. Az engedélyesnek ellenőriznie és szabályoznia kell a védőeszközök használatát, gondoskodnia kell a megfelelő állapotukról, valamint biztosítania kell, hogy a felhasználók megismerjék a rendeltetészerű használatukat.

NS-G-2.7 - 3.48.

Az ellenőrzött területen belül védőruházatot kell viselni a bőr és a személyes ruházat szennyeződésének elkerülése, valamint a szennyeződés továbbterjedésének megakadályozása érdekében.

Az ellenőrzött területen a kéz szennyeződésének elkerülése érdekében védőkesztyűt kell alkalmazni. A szennyezett berendezéssel kapcsolatos munka jellege alapján kell meghatározni, hogy milyen típusú és anyagú kesztyűt kell alkalmazni.

Eldobható, vagy mosható cipővédőt kell alkalmazni azokon a területeken, ahol a padló vagy más járófelület szennyezett lehet.

NS-G-2.7 - 3.50.

Azokon a területeken, ahol a levegő szennyezettsége, vagy nem fixált felületi szennyeződés azt indokolja, légzésvédő maszkot kell alkalmazni.

NS-G-2.7 - 3.53.

A használt védőruházatot és légzésvédő maszkot szennyezettnek kell tekinteni és akként kell a továbbiakban kezelni.

### 3.6. Dózistervezés

NS-G-1.13 - 3.14

A foglalkozási sugárterhelés optimalálása érdekében a sugárvédelmi szempontból kiemelkedő jelentőségű munkafolyamatok elvégzéséből eredő foglalkozási sugárterhelésre dózistervezést kell készíteni. A dózisok előzetes becslésére vonatkozó számítási módszert a nukleáris biztonsági hatóság hagyja jóvá.

118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet eseti jelentéseinek kiegészítésére

Azokat a munkákat, melyek a dóziskorlátok valamelyikének 30%-os túllépésével járhatnak, legalább 10 nappal előre be kell jelenteni az OAH-hoz.

NS-G-1.13 – 2.8

Céldózist kell meghatározni a főbb karbantartási munkálatokra (pl. fűtőelemek cseréje, gőzfejlesztők karbantartása, stb.).

Az üzemelés közben gyűjtött tapasztalatokat elemezni kell, ezekből dózisértékelést kell létrehozni. A dózisértékelést úgy kell összeállítani, hogy segítse a jövőben elvégzendő sugárveszélyes munkák tervezésénél a személyi és kollektív dózisos csökkentését.

GSR Part 3 - 3.72

Egy új munkafolyamat bevezetése előtt, ha az lényegesen eltér a korábbiaktól, vagy potenciálisan nagy sugárterheléssel járhat, a munkafolyamat leírását el kell készíteni.

NS-G-2.7 - 3.22

A monitoring rendszer műszereihez egy szolgálatot kell létrehozni, amely felelős a műszerek kalibrálásáért, illetve megfelelő minőségbiztosítási rendszert üzemeltet. A szolgálatnak akkreditációval kell rendelkeznie.

A műszerek mérési tartományát úgy kell megválasztani, hogy bármely alkalmazandó vonatkoztatási szint alatt is, illetve egy esetleges veszélyhelyzet alatt előreláthatóan létrejött sugárzási szintet is tudják mérni.

### **3.7. Radioaktív anyagok, források minimalizálása**

NS-G-2.7 - 3.77.

Úgy kell megválasztani a csővezetékek és komponenseik anyagát, illetve kémiai paramétereit, hogy az azokban történő radioaktív felhalmozódás minimális legyen.

NS-G-2.7 - 3.76.

A sugárvédelem optimalása érdekében törekedni kell a szükségtelen radioaktív anyagok eltávolítására a munkaterületekről.

NS-G-2.7 - 3.79.

A primerkörben azokon a helyeken, ahol az kivitelezhető, kerülni, de legalább is minimalizálni kell a kobalt tartalmú anyagok használatát a felaktiválódás elkerülése érdekében.

NS-G-2.7 - 3.80.

A reaktor leállításához az eljárásokat úgy kell megtervezni, hogy a radioaktív anyagok és a korróziós termékek felhalmozódása lehetőleg minimalizálva legyenek.

### **4. Sugárvédelmi munkatervezés**

A sugárvédelmi munkákat megelőzően fontos, hogy a tervezést úgy hajtsák végre, hogy minden feltétel adott legyen a pontos és tervezett munkavégzéshez. Erre vonatkozóan szükségesnek láttuk kiegészíteni a szabályozást.

A javaslatainkhoz az NS-G-2.7-et és a 2013/59/EURATOM irányelvet használtuk fel.

NS-G-2.7 - 3.42.

A munkatervezés során biztosítani kell, hogy a munka elvégzéséhez szükséges személyzet, eszközök, berendezések és anyagok elérhetőek legyenek, amikor azokra szükség van. A dozimetriai engedély kiadásához kötött esetekben indokolt lehet a feladat begyakorlása élethű körülmények között.

NS-G-2.7 - 3.44.

A dozimetriai engedély másolatának a munkavezetőnél meg kell lennie. A dozimetriai engedély legalább a következő speciális intézkedéseket írja elő, illetve információkat tartalmazza:

- a) egy előzetes radiológiai felmérés alapján az átlagos dózisteljesítmény értékét, valamint azokat a helyeket, ahol nagyobb aktivitásra kell számítani,
- b) a felületi szennyezettség becslését, illetve annak változását a munka végzése során,
- c) kiegészítő doziméterek használatát,
- d) védőfelszerelés használatának részletszabályai a munka különböző fázisaiban,
- e) a munkavégzés idejére, illetve a dózisosokra vonatkozó korlátozások,
- f) utasítást, hogy milyen esetekben kell a sugárvédelmi csoporttal felvenni a kapcsolatot.

NS-G-2.7 - 3.45.

Az üzemeltetéstől, illetve a sugárvédelmi szervezettől kinevezett személynek kell aláírnia a dozimetriai engedélyt, ezzel igazolva, hogy a szabályok betartásával a munka biztonsággal végrehajtható.

NS-G-2.7 - 3.41.

Amennyiben több munkacsoport végez együttesen munkát, úgy egyértelműen és előre definiálni kell a felelősségi köröket. A felelős munkavezetőnek kell biztosítania, hogy minden résztvevő részesüljön a munkához szükséges képzésekben, ideértve a sugárvédelmi képzéseket, amelyek szükségesek a munka elvégzéséhez, illetve amelyeket a feltételek megkövetelnek.

2013/59/EURATOM 32. cikk

Az engedélyes biztosítja, hogy a sugárterhelésnek kitett munkavállalók munkavégzés közbeni védelme legalább az alábbiakra épüljön:

- a) a sugárterhelésnek kitett munkavállalókat érintő radiológiai kockázat jellegének és nagyságának meghatározása előzetes értékelés keretében;
- b) a sugárvédelem optimalálása valamennyi munkavégzési feltételre vonatkozóan, beleértve az orvosi sugárterheléssel járó tevékenységek következtében felmerülő foglalkozási sugárterheléseket is;
- c) a sugárterhelésnek kitett munkavállalók különböző kategóriákba sorolása;
- d) a különböző területekkel és munkavégzési feltételekkel összefüggő ellenőrző intézkedések és monitoring végrehajtása, szükség esetén személyi monitoring végzése;
- e) orvosi felügyelet;
- f) oktatás és képzés.

### **5. Kiemelten sugárveszélyes munkavégzés**

A jelenlegi szabályozás nem kezeli kiemelten azokat a munkákat, amikor a munka a munkavállalók jelentős sugárterhelését eredményezheti. Ezekben az esetekben az indokoltság a legfontosabb kérdés, valamint fontos, hogy a munkák megfelelően tervezettek legyenek. Ennek érdekében az RS-G-1.1 alapján javaslatot tettünk a szabályozás kiegészítésére. Az ilyen munkákat nem lehet egy adott dózisértékhez kötni, mert a jelentős sugárterhelés mértéke függ a munkavállalókra vonatkozó dózismegszorítás értékétől, a munka jellegétől, a létesítmény sajátosságaitól.

Mivel jelenleg nem ismeri a szabályozás a kiemelten sugárveszélyes munkavégzés fogalmát, ezért először azt kell definiálni.

Kiemelten sugárveszélyes munkavégzés (KISUM):

Kiemelten sugárveszélyes munkavégzésnek nevezzük azt a munkavégzést, ahol a munkavállalók jelentős sugárterhelését eredményezheti a munkavégzés alatt álló

berendezések, eszközök sugárzási szintje, illetve azok felületeinek radioaktív szennyezettsége.

A fogalom bevezetése után a javaslatunk a következők:

RS-G-1.1 - 5.36.

Az atomerőműveknél meg kell határozni azokat a helyiségeket, eszközöket és berendezéseket, ahol a munkavégzés esetileg vagy minden esetben kiemelten sugárveszélyesnek minősül. A besorolást rendszeresen felülvizsgálni és aktualizálni kell.

A kiemelten sugárveszélyes munkavégzés feltételeit és szabályait a Munkahelyi Sugárvédelmi Szabályzatban kell bemutatni.

Azokat a kiemelten sugárveszélyes munkákat, amelyek végrehajtása azonos műszaki és személyi feltételekkel, jellemzően azonos sugárzási körülmények mellett ismétlődik, állandó KISUM-ként is lehet kezelni. Ebben az esetben állandó KISUM munkaprogrammal is végrehajtható a munka, amennyiben az biztonsági szempontok szerint igazolható.

## **6. Munkahelyi ellenőrző és monitoring rendszer**

A munkavállalók sugárvédelme szempontjából az egyik legfontosabb védekezési, illetve optimalizációs feladat a munkahelyi ellenőrző és monitoring rendszerek megfelelő működtetése. Ehhez olyan szabályozást kell kialakítani, ami ezt lehetővé teszi, illetve ami ezt előírja.

Három fő témakörben határoztuk meg a munkahelyi ellenőrző és monitoring rendszerek szabályozását, ezek: a munkahelyi ellenőrző rendszerek, a személyi dozimetriai ellenőrzés, valamint a belső sugárterhelés megállapítása. Mindhárom fontos a sugárvédelem optimalizálása szempontjából, így fontos megvizsgálni, milyen javítási lehetőségek adódnak.

A javaslatainkhoz az NS-G-1.13-at, az NS-R-4-et, NS-G-2.7-et, az NS-R-5-öt, a 2013/59/EURATOM irányelvet és a GSR Part 3-at használtuk fel.

### **6.1. Munkahelyi ellenőrző rendszerek**

NS-G-1.13 - 4.40

Ahol lehetséges, távolról leolvasható kijelzéseket, távvezérelt eszközöket, berendezéseket, gépeket kell alkalmazni a sugárveszélyes helyeken.

NS-G-1.13 – 3.19

A munkahelyi monitoring rendszerhez tartozó műszereknek 3 főbb ellenőrzési típussal kell rendelkezniük:

- a) folyamatos ellenőrzés: a munkakörnyezet megfelelőségét vizsgáló műszerek
- b) egy adott feladathoz köthető ellenőrzés,
- c) specifikus ellenőrzés: általában egy új létesítmény létesítési fázisában.

NS-R-4 – 6.145

Olyan eszközöket kell telepíteni, amelyekkel normál üzemben, a várható üzemi események és tervezési üzemzavarok során, valamint balesetek esetén is biztosítani lehet a sugárvédelmi célú monitoring tevékenység ellátását. A telepített eszközök köre legalább a következőkre terjed ki:

- a) fixen telepített dózisteljesítmény mérők az üzemeltető személyzet által rendszeresen kiszolgált, illetve más, a sugárzási szint változása lehetőségének kitett terek – ide értve a környezetet is – műszeres ellenőrzésére,

- b) fixen telepített dózisteljesítmény mérők a megfelelő helyeken a várható üzemi események és tervezési üzemzavarok során, valamint balesetek esetén jelentkező sugárzási viszonyok jelzésére,
- c) mérőeszközök a légtér radioaktív szennyezettségének mérésére az üzemeltető személyzet által rendszeresen kiszolgált terekben, illetve más, a szennyezettségi viszonyok oly mértékű változása lehetőségének kitett terekben - ide értve a környezetet is, mely változások védőintézkedések bevezetését vonják maguk után,
- d) a technológiai rendszerekből, a létesítmény tereiből, valamint a környezetből vett légnemű és folyadékminták radioizotóp koncentrációinak a tervezési alapba tartozó, valamint az azon túli üzemállapotokban történő meghatározására alkalmas fixen telepített mérő-, valamint laboratóriumi eszközök,
- e) fixen telepített mérőeszközök a környezeti kibocsátások mérésére,
- f) felületi radioaktív szennyezettség mérésére alkalmas mérőeszközök,
- g) az üzemeltető személyzet külső és belső sugárterhelésének, valamint felületi szennyezettségének meghatározására alkalmas mérőeszközök, továbbá,
- h) a létesítmény kijáratainál telepített mérőeszközök a radioaktív anyagok és a radioizotópokkal a vonatkozó határértékeket meghaladó mértékben szennyezett tárgyak és személyek létesítményből történő ellenőrizetlen és engedély nélkül történő ki- és bejutásának megakadályozására.

#### NS-G-2.7 - 3.23.

Minden sugárzás- és szennyezettségmérő műszert, legyen az telepített, vagy kézi, illetve a személyi dozimetriai rendszer része, kalibrálni, tesztelni és karbantartani kell egy minőségbiztosítási program szerint, mely tartalmazza legalább a következőket:

- a) az eszközök és műszerek főbb paraméterei, tulajdonságai;
- b) a kalibrálás (és hitelesítés) gyakorisága;
- c) a karbantartás gyakorisága;
- d) a használat nyomon követése.

#### NS-G-2.7 - 3.29.

Az eszközöknek mérniük kell sugárzást és aktivitást, valamint mintázniuk és analizálniuk kell, legalább a következő összetételben:

- a) számláló műszerek és árnyékolások az aktivitás méréséhez, illetve radioaktív anyagok analíziséhez,
- b) műszerek a sugárzás felméréséhez és monitorozásához, beleértve a környezet monitorozását is,
- c) telepített műszerek a külső sugárzás méréséhez, a levegő szennyezettségének méréséhez, illetve az aktivitás meghatározásához,
- d) személyi monitorozó műszerek, beleértve a személyi dozimétereket (lehet dózisteljesítmény-, vagy dózis-riasztással), szennyezettségmérőket (sugárkapuk, kézi műszerek), valamint hordozható mérőműszereket,
- e) levegő mintavevő,
- f) sugárforrások, műszerek és más eszközök, amik fontosak a sugárzás mérők, levegő mintavevők, illetve a sugárzás analitikai műszerek kalibrálásához.

## 6.2. Személyi dozimetriai ellenőrzés

#### NS-R-5 Rev. 1 - 9.46.

Az engedélyesnek biztosítania kell az ellenőrzött területén tartózkodó személyek sugárvédelmi ellenőrzését egyéni hatósági és elektronikus doziméterek alkalmazásával,



valamint szükség szerint béta-, illetve neutron doziméterek használatával, illetve a belső sugárterhelés akkreditált eljárásokkal történő meghatározásával.

NS-G-1.13 - 7.10

A létesítménynek rendelkeznie kell személyi dozimetriai mérőrendszerrel, amely alkalmas a külső és belső egyéni dózisok meghatározására.

487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet 22.§ (7)

A munkáltatóknak figyelembe kell venni az Országos Személyi Dozimetriai Nyilvántartásból származó, a munkavállalókat esetlegesen ért vagy érő, egy másik munkáltatónak vagy az engedélyesnek a felelősségi körébe tartozó sugárterheléssel kapcsolatos információkat.

NS-R-5 Rev. 1 - 9.46.

Biztosítani kell a megállapított dózisértékek dokumentálását, értékelését, a vonatkozó jogszabályokban, hatósági határozatokban, belső szabályozó dokumentumokban rögzített határértékekkel, valamint az előzetes dózisbecslésekkel való összevetését.

487/2015. Korm. rendelet 23.§ (2)

Az engedélyes a beszállítóknak és a hatóságnak a sugárveszélyes munkahelyen végzett munkájuk során ugyanolyan védelmet kell biztosítson, mint az engedélyes saját munkavállalóinak.

2013/59/EURATOM 44. cikk

Az előírt személyi dózismérések eredményeit:

- a) a hatóság, az engedélyes és a külső munkavállalók munkáltatója rendelkezésére kell bocsátani;
- b) át kell adni a foglalkozás-egészségügyi szolgálatnak annak érdekében, hogy az értékelhesse, hogy az eredmények milyen következményekkel járnak az emberi egészségre nézve;

487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet 30.§ (6)

Azokon az ellenőrzött területeken, ahol fennáll annak a lehetősége, hogy a munkavállalók külső sugárterhelése az évi 6 mSv effektív dózist meghaladja, az Országos Személyi Dozimetriai Nyilvántartás rendszerében alkalmazott hatósági személyi dózismérő mellett, az engedélyes által rendelkezésre bocsátott, folyamatos működésű és kijelzésű, a helyszínen leolvasható személyi dózismérőt vagy hang-, illetve fényjelzést adó egyéni dózisszintjelzőt is használni kell.

NS-G-1.13 - II.-15

Ha a reaktor több inermetikus fűtőelemmel üzemelt, akkor a karbantartási folyamatok közben kiemelten kell ellenőrizni a személyzet belső sugárterhelését, mivel jelentős az alfa-sugárzó nuklidokkal történt inkorporáció veszélye.

NS-G-2.7 - 3.33.

Bármely dolgozó esetében, aki rendszeresen az ellenőrzött területre lép be, valamint az alkalmanként belépők közül azoknál, akiknél a sugárterhelésük, vagy a helyiség sajátosságai ezt indokoltá teszik, egyéni dózismérést kell alkalmazni.

GSR Part 3 - 3.99 és 3.100

A személyi dozimétereket a munkavállalóknak kötelező viselnie a sugárveszélyes területeken.

NS-G-2.7 - 3.33

Azokon a helyeken, ahol az egyéni dozimetralás nem elégséges, vagy nem megoldható, ott a munkahelyi monitoring rendszer mérései alapján kell megbecsülni az egyéni sugárterhelés nagyságát.

GSR Part 3 - 3.128

A létesítmények területén látogatást tevő személyek mellé az engedélyesnek biztosítania kell egy megfelelően képzett és a helyi sugárvédelmi szabályokban jártas munkavállalójának kíséretét. A látogatókat a követendő magatartásról tájékoztatni kell, és őket megfelelő védőfelszereléssel kell ellátni.

NS-G-2.7 - 3.35

Látogatók, illetve egyéb személyek beléphetnek az ellenőrzött területre személyi doziméter nélkül is, de abban az esetben vagy az adott helyiségekre jellemző dózisteljesítményből becsülve, vagy a személyi doziméterrel rendelkező kísérő sugárterhelése alapján kell megállapítani az egyéni dózisaikat.

### **6.3. Belső sugárterhelés megállapítása**

NS-G-2.7 - 3.37

Az engedélyes gondoskodik a belső sugárterhelésnek kitett személyek esetén a megfelelő dozimetriai mérésekről. A méréseknek rendszeres időközönként, illetve speciális munkafeltételek esetében alkalmanként kell megtörténniük.

A belső sugárterhelés becsülését indirekt mérésekkel kell elvégezni (pl. exkrétumok-, salakanyagok vizsgálata, egésztest-, vagy résztest számlálással).

Amennyiben olyan radioizotóptól származik a bevitel, amit nem lehet azonnal a bevitel után mérni, más számítási módszerekkel is meg lehet határozni a belső sugárterhelésből származó dózist. Ilyen esetekben előre meghatározott módszerekkel becsülni lehet a munkahelyi monitorozó rendszer, a levegő mintavevő, vagy más felmérésekből származó értékeiből.

NS-G-2.7 - 3.38

A belső sugárterhelés értékeit elérhetővé kell tenni a hatóság számára.

## **7. Kibocsátás-ellenőrzés**

A kibocsátás-ellenőrzés talán a sugárvédelem egyik legfontosabb kérdése. *Az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről* szóló 15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet foglalkozik a kibocsátás-ellenőrzéssel. [29] A rendelet nem tartalmaz megítélésünk szerint kellő részletességet, illetve műszaki tartalmat, így azt szükséges kiegészíteni.

Javaslatainkhoz felhasználtuk a WS-G-2.3-at, az NS-G-1.13-at, a GSR Part3-at és az SSR2/1-et.

### **7.1. Általános szabályok**

Az engedélyesnek üzembe kell helyeznie a környezet radioaktív szennyeződése és a lakosság tagjai sugárterhelésének értékeléséhez szükséges paraméterek mérésére alkalmas berendezéseket és be kell vezetnie a vonatkozó eljárásokat.

## WS-G-2.3 - 4.1.

A bejelentő, illetve az engedélyes, a felelősségi körébe tartozó összes forrás üzemeltetése során azok radioaktív kibocsátását a hatóság által meghatározott határértékek alatt, az észszerűen megvalósítható legalacsonyabb szinten tartja. Haladéktalanul jelentést tesz a hatóságnak, ha bármely kibocsátása túllépi a jelentési szintet vagy az engedélyezett kibocsátási határértéket.

## WS-G-2.3 - 4.2.

A bejelentő, illetve az engedélyes rendszeres időközönként felülvizsgálja a kibocsátásait és a kapcsolódó ellenőrzési intézkedéseit. Továbbá felülvizsgál és a kibocsátás-engedélyezés során figyelembe vesz a kibocsátási útvonalakban vagy a kritikus csoportok összetételében történő bármilyen változást, mely a számított dózist befolyásolja.

## WS-G-2.3 - 4.4.

Az engedélyes, a kibocsátások és a környezeti sugárzás monitorozására programot hoz létre és működtet. Ezen programok célja azt biztosítani, hogy a hatóság által előírt követelmények teljesülnek, beleértve azon feltételek meglétét, melyek a kibocsátási határértékek származtatása során álltak fenn. A környezeti monitoring programnak a megfelelő szintű megbízhatósággal képesnek kell lennie a kritikus csoport sugárterhelésének meghatározására.

## WS-G-2.3 - 4.6.

A kibocsátási vagy környezeti monitoring program az alábbiakat legalább figyelembe veszi:

- a) a kibocsátások és a környezeti monitoring rendszerekre vonatkozó követelmények teljesülését reprezentatív mintavétel alapján kell kidolgozni,
- b) a környezeti minták típusa és a hozzákapcsolódó mintavételi gyakoriság,
- c) a mérőberendezések kalibrálása és tesztelése,
- d) a mérési program feleljen meg a nemzetközi szabványoknak,
- e) analitikai laboratóriumoknak akkreditáltaknak kell lenni,
- f) a nyilvántartási rendszer legyen megfelelő,
- g) a jelentési eljárás a hatóság által előírtaknak legyen megfelelő.

## 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet 46. § (1) és (2)

Az engedélyes köteles:

- a) a létesítmény, illetve a munkahely tervezett helyszínének sugárvédelmi szempontból történő vizsgálata során figyelembe venni a vonatkozó demográfiai, meteorológiai, geológiai, hidrológiai és ökológiai viszonyokat,
- b) ahol szükséges a radioaktív környezeti kibocsátására vonatkozó terveket készíteni, melynek határértékeit és környezeti kibocsátások feltételeit az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről szóló miniszteri rendelet állapítja meg, valamint
- c) korlátozni a lakosság tagjainak a létesítménybe vagy a munkahelyre történő bejutását.

## NS-G-1.13 - 2.3

Még az első, nem anyagvizsgálati célt szolgáló sugárforrások létesítménybe érkezése előtt definiálni kell a létesítmény által keltett sugárterhelés kritikus lakossági csoportját.

## GSR Part 3 - 3.132

Az engedélyesnek még a létesítmény üzembe helyezését megelőzően fel kell mérnie a következőket a kibocsátásokkal kapcsolatban:

- a) a kibocsátások lehetséges aktivitástartalmát;
- b) a lehetséges kibocsátási útvonalakat és az ezeken át várható, legvalószínűbb kibocsátások elemzését;
- c) a b) pontban vizsgált kibocsátásokból a származó környezeti hatásokat és kritikus lakossági csoportot érő dózisokat.

## GSR Part 3 - 3.42

A monitoring rendszert úgy kell megtervezni, hogy közel valós időben legyen képes észlelni a kibocsátások jelentős növekedését, és erről ugyancsak közel valós időben visszajelzést kell biztosítani a személyzet és az automatikus biztonsági rendszerek számára.

## NS-G-1.13 - 4.26 (3)

Mintavételi lehetőséget, csapolást kell biztosítani minden radioaktív közeghez.

## NS-G-1.13 - 4.26 (3)

A radioaktív anyagok kibocsátását felügyelő mérőrendszernek meg kell tudni adnia egy adott (tervezett vagy terven kívüli) kibocsátás mértékét is. A rendszernek nuklidspecifikus mérést is végeznie kell, mind légnemű, mind folyékony kibocsátások esetén.

## NS-G-1.13 – 5.6

A létesítményből nem baleseti radioaktív kibocsátás csak kezelés és mérés után történhet.

## NS-G-1.13 – 9.1

Amennyiben a létesítmény rendelkezik a következő helyiségekkel, ott fokozott felügyeletet kell biztosítani a jelenlévő radioaktív anyagok miatt:

- a) műszerek és más felszerelések kalibrálását és vizsgálatait végző metrológiai laboratórium, a hozzá tartozó etalon sugárforrásokkal és besugárzó készülékekkel,
- b) radiokémiai minták vételére és mérésére szolgáló laboratórium,
- c) az a) és b) laborokhoz tartozó izotóptároló vagy tárolók,
- d) dozimetriai labor (a személyi mérőeszközök kiértékelésére).

## NS-G-1.13 – 7.2

A monitoring rendszernek a nukleáris létesítmény normál üzemé, majd leszerelése során is rendelkezésre kell állnia. A rendszer konfigurációját a létesítmény életciklusának megfelelően kell megválasztani.

## NS-G-1.13 – 7.5

A biztonság szempontjából kritikus helyeken lévő, illetve a nukleáris biztonság szempontjából fontos mérőeszközök, monitoring rendszerek legyenek redundánsak.

## NS-G-1.13 – 7.5

Az alkalmazott mérőműszerek feleljenek meg a tervezéskor aktuális, vonatkozó IEC és ISO szabványoknak, és megfelelő időközönként történjen meg a rendszer fejlesztése a szabványok változását követve.

## SSR2/1 - Req. 25

A sugárvédelmi monitoring rendszernek úgy kell felépülnie, hogy egy-egy elem kiesése ne befolyásolja a rendszer többi tagjának működőképességét.

## SSR2/1 - Req. 30

A létesítmény üzembe helyezése előtt a sugárvédelmi monitoring rendszert a valóságoshoz a lehető legjobban közelítő módon, tesztprogrammal kell vizsgálni. Ennek során szimulálni kell a baleseti helyzetek rendszerre vonatkozó következményeit, a meghibásodásokat, továbbá a környezeti hatásokat is (pl. hőmérséklet, túlnyomás, nedvesség, vibráció, sugárzás).

## SSR2/1 - Req. 33

Egy telephelyen lévő több atomreaktor esetében minden reaktorhoz független sugárvédelmi monitoring rendszer tartozzon.

## NS-G-1.13 – 7.6

A monitoring rendszer mérőműszerei a létesítményben várható körülményeknek megfelelő kialakításúak legyenek legalább a következő területeken:

- a) mérési tartomány,
- b) érzékenység,
- c) ha szükséges, nuklidspecifikus mérési képesség,
- d) riasztási szintek és jelzések
- e) villamos tápellátás,
- f) környezetállóság a következőket figyelembe véve, a legfontosabb műszereknél baleseti helyzeteket is figyelembe véve:
  - fa) hőmérséklet,
  - fb) légnyomás, túlnyomás,
  - fc) páratartalom, folyadékállóság,
  - fd) vibráció,
  - fe) háttérsugárzás, baleseti sugárzás.

## NS-G-1.13 – 7.6

A megfigyelő rendszer mérőműszereinek hibás működés, illetve a méréshatár elérése esetén jelzést kell adnia.

## NS-G-1.13 – 7.9

A monitoring rendszer által mért fontosabb adatokat ki kell jelezni a helyszínen, a vezénylőben, a tartalék vezénylőben, és a környezetellenőrző szolgálatnál.

## SSR2/1 - 5.56

A sugárvédelmi monitoring rendszer kezelőfelülete legyen könnyen átlátható és egyértelmű, és csak a lényeges információkat mutassa. A kezelőfelület segítségével azonban legyenek elérhetőek a részletes adatok is.

## NS-G-1.13 – 9.1

A környezeti és sugárvédelmi monitoring rendszer, valamint a személyi dozimetriai rendszer számára fenn kell tartani egy adatközpontot, ahol az eredmények tárolásra és archiválásra kerülnek, és később is hozzáférhetőek.

## NS-G-1.13 – 7.9

A monitoring rendszer által mért, a munkavállalókra közvetlenül vonatkozó adatokat számukra elérhetően kell kijelezni. A munkavállalóknak minden, tervezési alapon belüli baleseti helyzetben hallaniuk és/vagy látniuk kell a riasztási jelzéseket, és erre törekedni kell a tervezési alapon kívüli balesetek esetén is.

## NS-G-1.13 – 8.2

A monitoring rendszernek a primer és szekunder hűtőkört is felügyelnie kell.

A monitoring rendszernek kis szivárgások és nagyobb kibocsátások megfelelő pontosságú mérésére is alkalmasnak kell lennie.

## NS-G-1.13 – 8.9

Az inhermetikus fűtőelemekből kiszabaduló nuklidok észlelésére, valamint pontos mérésére alkalmas rendszert kell kialakítani, mely lehet a monitoring rendszer része, de egy független rendszer is.

## SSR2/1 – Req. 9

A sugárvédelmi monitoring rendszernek a létesítmény egyedi tulajdonságait is figyelembe véve elsősorban már nemzetközi referenciával és üzemeltetési tapasztalattal rendelkező eszközökből kell felépülnie.

A sugárvédelmi monitoring rendszerhez meg kell határozni minimum rendszerkonfigurációt, amellyel még képes ellátni teljes körű feladatait. A rendszer minimum alá csökkenése esetére ki kell dolgozni helyettesítő megoldásokat, valamint a pótláshoz szükséges eljárásokat.

## NS-G-1.13 – 7.13

A monitoring rendszert legalább a következő helyeken ki kell építeni: konténment, reaktor körüli tér, reaktorcsarnok, fűtőelem-tároló és kezelő helyiségek, pihentető medence, hulladékkezelő rendszer elemei, dekontamináló helyiségek és rendszerek, a hulladékok és fűtőelemek szállítási útvonalai.

**7.2. A mérőműszerekkel szemben támasztott követelmények**

## NS-G-1.13 – 7.6

A monitoring rendszer mérőműszerei a létesítményben várható körülményeknek megfelelő kialakításúak legyenek legalább a következő területeken:

- a) mérési tartomány,
- b) érzékenység,
- c) ha szükséges, nuklidspecifikus mérési képesség,
- d) riasztási szintek és jelzések
- e) villamos tápellátás,
- f) környezetállóság a következőket figyelembe véve, a legfontosabb műszereknél baleseti helyzeteket is figyelembe véve:
  - fa) hőmérséklet,
  - fb) légnyomás, túlnyomás,
  - fc) páratartalom, folyadékállóság,
  - fd) vibráció,
  - fe) háttérsugárzás, baleseti sugárzás.

## NS-G-1.13 – 7.6

A megfigyelő rendszer mérőműszereinek hibás működés, illetve a méréshatár elérése esetén jelzést kell adnia.

## NS-G-1.13 – 7.9

A monitoring rendszer által mért fontosabb adatokat ki kell jelezni a helyszínen, a vezénylőben, a tartalék vezénylőben, és a környezetellenőrző szolgálatnál.

### 7.3. Folyékony radioaktív kibocsátás-ellenőrzés

NS-G-1.13 – 5.6

A folyékony radioaktív anyagok kibocsátását monitorozó rendszernek ki kell terjednie a padlóvizek, a dekontamináló folyadékok, az ioncserélő szűrők tisztító vizei, a mosodai és öltözői vizek, a laborok vizei, valamint az esetlegesen kibocsátott hűtővizek mérésére is.

### 7.4. Légnemű radioaktív kibocsátás-ellenőrzés

NS-G-1.13 – 5.10

A légnemű radioaktív anyagok kibocsátását felügyelő mérőrendszernek képesnek kell lennie aeroszolok, jódizotópok és radioaktív nemesgázok elkülönített mérésére is.

NS-G-1.13 – 10.7

A légnemű kibocsátások megelőzésére, az adott körülményeket figyelembe véve, a szellőztető rendszereknek képesnek kell lennie részbeni vagy teljes recirkulációs üzemre, valamint bizonyos szakaszok lezárására, megakadályozandó a szennyezés tovaterjedését. A szellőző rendszerekbe kiegészítő szűrőket kell telepíteni, melyek normál üzemben is működtethetők vagy veszélyhelyzet esetén lehet a rendszerbe kapcsolni.

## 8. Dekontaminálás

A szabályozásunkban a dekontaminálás a 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendeletben, illetve a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendeletben jelenik meg. Az előbbi leírja, hogy nyitott készítményt alkalmazó laboratóriumnak rendelkeznie kell dekontamináló készlettel, illetve leírja, hogy a dekontaminálás kinek a felelőssége, míg utóbbiban a tervezési követelmények között jelenik meg 3 pont, mely általános követelményeket tartalmaz, hogy a szükséges helyeken biztosítani kell a dekontaminálhatóságot, valamint az ellenőrzött zóna határán történő átlépéskor is, amennyiben szükséges.

Ennél fogva szükséges a szabályozás kiegészítése a nukleáris biztonság, a személyzet és a lakosság védelme, illetve a dózisek minimalizálása érdekében.

A NAÜ ajánlásait megvizsgáltuk. A biztonsági sorozatban nem találtunk olyan dokumentumot, amely kellő részletességgel foglalkozna a dekontaminálással, ezért más ajánlást kerestünk. 1979-ben Molban (Belgium) tartottak egy szakmai munkautalást, aminek keretében tanulmányt készítettek az atomerőművekben történő dekontaminálásról. A javaslatokhoz felhasználtuk a tanulmányt, az NS-R-5-öt, az NS-R-4-et és az NS-G-1.13-at. [30]

NS-R-5 Rev 1. - 6.36 (d)

Biztosítani kell a dekontaminálás távműködtetésű eszközökkel történő végrehajtását a szükséges helyeken.

NS-R-4 - 6.59

Biztosítani kell az ellenőrzött zónáknak, az ezekbe be- és az ezekből kilépő személyeknek, valamint az innen származó tárgyak ki- és bevitelének ellenőrzését és – amennyiben szükséges – a dekontaminálását.

A dekontaminálás hely- és erőforrásigénye nem csökkentheti a nukleáris biztonság szintjét.

A dekontaminálás során a kiinduló és az elérendő állapotot meg kell határozni előre, valamint az elért állapotot rögzíteni kell.

[30, 4.2., 6.1.1.]

Új dekontaminálási technológiát, vagy vegyszeres dekontaminálási technológia esetén új vegyszer komponens csak biztonsági elemzéssel igazolva lehet bevezetni. A biztonsági elemzésnek tartalmaznia kell:

- a) a dekontaminálási technológia alkalmazása során várható dózis (dekontamináló személyzet és lakosság) indokoltságát;
- b) a keletkező hulladék kezelésének módját;
- c) annak igazolását, hogy a dekontaminálás végrehajtható a létesítmény biztonsági funkcióinak sérülése nélkül;
- d) az aktivitás eltávolíthatóságának igazolása, melynek ki kell térni a szennyeződés fizikai, kémiai jellegére;
- e) új vegyszeres dekontaminálási technológia, vagy új vegyszer komponens bevezetése esetén
  - ea) a használatának indokoltságát, azt igazolva, hogy más technológiával nem lehet egyenértékű eredményre jutni;
  - eb) a szerkezeti anyagokra vonatkozó korróziós vizsgálat eredményeit és azok értékelését, melyet minősített tesztekkel kell igazolni.

A dekontaminálási folyamatot legalább az alábbiak szerint optimalizálni kell:

- a) másodlagos hulladékok keletkezésének mennyisége;
- b) személyi sugárterhelés nagysága;
- c) dekontaminálás hatékonysága.

Nukleáris létesítmények helyiségeinek és berendezéseinek dekontaminálásánál figyelembe kell venni minimálisan a helyiségek és berendezések közötti szennyeződés-terjedés tervezett irányát és az adott helyiségben alkalmazható vegyszerekre és technológiákra vonatkozó korlátozást.

[30, 4.3.]

A dekontaminálás lefolytatásához biztosítani kell a megfelelően képzett személyzetet, valamint az irányításukhoz egy, a dekontaminálásban jártas szakembert kell alkalmazni.

[30, 4.2.]

A dekontaminálási technikák fejlődését, tapasztalatait, kutatási eredményeit folyamatosan figyelemmel kell kísérni és vizsgálni kell azok alkalmazhatóságát.

[30, 6.2.1.]

Azoknak a berendezéseknek, illetve eszközöknek, melyek biztonságosan elszállíthatók, ki kell alakítani a dekontamináláshoz egy helyiséget, ahol a folyamat végrehajtható anélkül, hogy a nukleáris biztonságot befolyásolná.

NS-G-1.13 - 4.44.

Azoknál a helyiségeknél, ahol előfordulhat lyukadásból, vagy kifolyásból szennyezett vizek kijutása, dekontaminálható felületeket kell létrehozni, valamint a szennyeződés terjedését meg kell akadályozni. Ott megfelelő határoló felületeket, illetve a terjedés irányításához szükséges tervezést kell alkalmazni a szennyeződött felületek korlátozásához, a gyors elvezetéshez, valamint a kifolyt folyadék összegyűjtéséhez.

NS-G-1.13 - 4.45.

Azokban a helyiségekben, ahol olyan berendezés található, ami radioaktív folyadékot tartalmaz, zsompot kell kialakítani. A zompokat és csatornákat úgy kell megtervezni, hogy a tervezési üzemzavari lyukadásból származó folyadékot is képes legyen elvezetni. A rendszert tervezni kell a zomp elzáródására, illetve a nem megfelelő elszívásra is.



NS-G-1.13 - 4.47.

Megfelelő tartálykapacitással kell rendelkezni a radioaktív vizek tárolásához, hogy ideiglenesen se kelljen más célt szolgáló tartályokba vezetni azokat, illetve, hogy biztosítva legyen a környezetbe való kijutást minimalizálása.

NS-G-1.13 - 4.48.

Fel kell készülni arra, hogy a pihentető medence szintváltozásaikor nagy, felületileg szennyezett medencerészek kerülnek szárazra. Ezeket a felületeket megfelelően árnyékolni vagy dekontaminálni kell, amilyen hamar csak lehetséges.

NS-G-1.13 - 4.50.

Fel kell készülni hulladékszállító konténerek és egyéb csomagolások, testfelületek és a ruházat, valamint tárgyak dekontaminálására is.

### **9. A radioaktív hulladékok kezelésének szabályozása**

Hazánkban a radioaktív hulladékok kezelésének szabályozásában hiányosságokat véltünk felfedezni. A kezelésre vonatkozó szabályok a 155/2014. (VI. 30.) Korm. rendeletben jelennek meg, melyek radioaktív hulladék tárolókra érvényesek. Egyéb követelmények jelennek meg a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendeletben nukleáris létesítményre vonatkozóan, melyek általánosan foglalkoznak a hulladékkezelés kérdésével. Ezért szükséges, hogy fejlesszük a jogszabályokat.

Javaslatainkhoz felhasználtuk az NS-R-5-öt, az NS-G-2.7-et és az NS-G-1.13-at.

NS-R-5 Rev. 1 - 9.54.

A radioaktív hulladékok kezelésével kapcsolatos tevékenységeket a radioaktív hulladékok kezelésére vonatkozó nemzeti programmal összhangban, a nukleáris biztonság és a sugárvédelem szempontjainak érvényesítésével, a hulladékkal kapcsolatos jövőbeni, létesítményen kívüli kezelésre vonatkozó tervek figyelembe vételével, és a nukleáris létesítményből a környezetbe kibocsátott radioaktív anyagok mennyiségét a hatósági határértékek alatt tartva kell végrehajtani.

NS-G-2.7 - 4.2 g)

A radioaktív hulladékok feldolgozása és kondicionálása során figyelembe kell venni a biztonságos tárolás és elhelyezés szempontjait.

NS-G-1.13 - 4.47.

Megfelelő tartálykapacitással kell rendelkezni a radioaktív vizek tárolásához, hogy ideiglenesen se kelljen más célt szolgáló tartályokba vezetni azokat, illetve, hogy biztosítva legyen a környezetbe való kijutást minimalizálása.

NS-G-2.7 - 4.20.

A kezelésre, vagy kondicionálásra váró radioaktív hulladékok nagy mennyiségű felhalmozódását indokolt mértékig kerülni kell.

NS-G-2.7 - 4.21.

A radioaktív hulladékok tárolásához használt konténertárolótípusoknak biztosítania kell a szükséges tárolási ideig a radioaktív hulladékok benntartását.

#### **9.1. Légnemű radioaktív hulladékok**

NS-G-2.7 - 4.21.

A rövid felezési idejű nemes gázokat meg kell tartani arra alkalmas tartályban, vagy késleltető rendszerbe, hogy a kibocsátás előtt elfogadható aktivitású, vagy aktivitás-koncentrációjú radionuklidot tartalmazzon.

NS-G-2.7 - 4.30.

Az aeroszokok eltávolításához megfelelő eljárást kell kidolgozni. Azokat a paramétereket, melyek kritikusak a rendszer hatékony működéséhez, rendszeresen ellenőrizni kell.

NS-G-2.7 - 4.31.

Az illékony anyagokat el kell távolítani a gáz halmazállapotú radioaktív hulladékból. Azokat a paraméterek, melyek jelzik a szűrőanyag hatékonyságát, illetve a csere szükségességét, ellenőrizni kell.

NS-G-2.7 - 4.32.

Ha szükséges, a személyzet viseljen megfelelő védőruházatot és légző készüléket a szűrők vagy a szűrő anyagok teszteléséhez, karbantartásához, vagy cseréjéhez.

NS-G-2.7 - 4.33.

Amennyiben éghető anyag van jelen, vagy robbanó keverékek keletkezhetnek, megfelelő megelőzési és ellenőrzési intézkedéseket kell hozni a potenciális veszélyek bekövetkezésének csökkentésére.

## **9.2. Folyékony radioaktív hulladékok**

NS-G-2.7 - 4.34.

A folyékony radioaktív hulladékok feldolgozó rendszerek működéséhez figyelembe kell venni a folyadék összetételét és tulajdonságát (a jelenlévő radionuklidok, az aktivitás, a részecskék koncentrációja, a kémiai összetételét, a toxicitását és a lehetséges maró anyagok jelenlétét).

NS-G-2.7 - 4.35.

A belépő anyagáramokat jellemezni kell, hogy a különböző típusú hulladékokat megfelelően el lehessen különíteni, és ha a különböző lehetőségek állnak rendelkezésre, a feldolgozás leghatékonyabb módszerét kell elfogadni az indokoltság elvének betartásával.

NS-G-2.7 - 4.37.

A hulladék kondicionáláshoz egy alkalmas mátrix anyagot és egy megfelelő tartályt kell használni. A tartályt megfelelően kell megtölteni, lezárni és címkézni, hogy a hulladékcsomag alkalmas legyen a kezeléshez, szállításhoz, tároláshoz és elhelyezéshez.

## **9.3. Szilárd radioaktív hulladékok**

NS-G-2.7 - 4.38.

Szilárd radioaktív hulladéknál, az inhomogenitás miatt különös figyelmet kell fordítani a feldolgozás előtti reprezentatív mintavételhez, a tervezett folyamat kompatibilitásának igazolásához. Ennek érdekében megfelelő intézkedéseket kell hozni.

NS-G-2.7 - 4.40.

Amennyiben az engedélyes mobil kondicionáló berendezést üzemeltet, fokozott elővigyázatossággal kell eljárni az esetleges szennyeződés terjedés meggátolására.

## **ÖSSZEGZÉS**

Előző cikkünkben megvizsgáltuk a nukleáris létesítményekre vonatkozó jogszabályok felépítését, valamint bemutattuk a hatósági rendszer újdonságait.

Jelen cikkünkkel bemutattuk a sugárvédelemmel kapcsolatos NAÜ ajánlások felépítését, valamint a kiválasztott dokumentumok feldolgozásának eredményeit. A javaslataink közül nem alkalmazható, illetve nem indokolt alkalmazni minden követelményt mindegyik nukleáris létesítményre. A teljes javaslat az atomerőművekre ajánlott, más létesítményekre felül kell vizsgálni, hogy melyek azok, amik ajánlatosak.

A munkánk során nagy mennyiségű módosításra tettünk javaslatot, melyek egy részét közvetlen a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendeletben javasoltuk megjeleníteni, míg a többit útmutatóban kiadni.

A 9 feldolgozott NAÜ dokumentumból a javaslatokat 9 fő témakörbe soroltuk. A munkánkat úgy készítettük el, hogy esetlegesen a 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet külön mellékleteként, sugárvédelmi kötetként is fel lehessen használni.

A jelenlegi NBSZ struktúrába úgy tudnánk beépíteni, hogy a tervezési, valamint az üzemeltetési követelményeket elválasztva, a megfelelő kötetben, illetve számos olyan javaslat van, melyeket mindkét helyen szerepeltetve adhatnánk meg.

A hazai sugárvédelmi szabályozás nukleáris létesítményekre vonatkozó korszerűsítésére, kiegészítésére javaslatot tettünk a NAÜ dokumentumai segítségével. A munka folytatásának lehetőségét a nemzetközi jó gyakorlatok összegyűjtésében, hasznosításában látjuk.

**FELHASZNÁLT IRODALOM**

- [1] *Az 1996. évi CXVI. törvény az atomenergiáról*
- [2] *16/2000. (VI. 8.) EüM rendelet az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvény egyes rendelkezéseinek végrehajtásáról*
- [3] *487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről*
- [4] *A Tanács 2013/59/EURATOM irányelve az ionizáló sugárzás okozta 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*
- [5] Horváth K., Kátai-Urbán L., Sebestyén Zs.: A nukleáris biztonság és védettség hazai kutatási-fejlesztési eredményei. *Hadmérnök*, XI. 4. (2016), 69-90
- [6] *118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről*
- [7] *155/2014. (VI. 30.) Korm. rendelet a radioaktív hulladékok átmeneti tárolását vagy végleges elhelyezését biztosító tároló létesítmények biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről*
- [8] Kecskés G., Lamm V., Silye J., Sulyok G., *Nukleáris jog a 21. század első évtizedeiben*. Budapest: Wolters Kluwer, 2013, ISBN: 978-963-295-339-7
- [9] European Commission, Food and Agriculture Organization of the United Nations, International Atomic Energy Agency, International Labour Organization, OECD Nuclear Energy Agency, Pan American Health Organization, United Nations Environment Programme, World Health Organization, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna (2014).
- [10] International Atomic Energy Agency, Safety of Nuclear Power Plants: Design, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/1 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016).
- [11] International Atomic Energy Agency, Safety of Nuclear Power Plants: Commissioning and Operation, IAEA Safety Standards Series No. SSR-2/2 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2016).
- [12] International Atomic Energy Agency, Safety of Research Reactors, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-4, IAEA, Vienna (2005).
- [13] International Atomic Energy Agency, Safety of Nuclear Fuel Cycle Facilities, IAEA Safety Standards Series No. NS-R-5 (Rev. 1), IAEA, Vienna (2014).
- [14] International Atomic Energy Agency, Regulatory Control of Radioactive Discharges to the Environment, IAEA Safety Standards Series No. WS-G-2.3, IAEA, Vienna (2000).
- [15] International Atomic Energy Agency, International Labour Office, Occupational Radiation Protection, IAEA Safety Standards Series No. RS-G-1.1, IAEA, Vienna (1999).
- [16] International Atomic Energy Agency, Radiation Protection Aspects of Design for Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-1.13, IAEA, Vienna (2005).
- [17] International Atomic Energy Agency, Radiation Protection and Radioactive Waste Management in the Operation of Nuclear Power Plants, IAEA Safety Standards Series No. NS-G-2.7, IAEA, Vienna (2002).
- [18] International Commission On Radiological Protection, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103, Elsevier (2007).

- [19] Magyarország: *Nemzeti jelentés, Hetedik jelentés, Készült a Nukleáris Biztonsági Egyezmény keretében*. Budapest: Magyarország, 2016  
[http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/B056886F00DE3A60C12580D10033006F/\\$FILE/Hetedik\\_Nemzeti\\_Jelent%C3%A9s\\_CNS.pdf](http://www.oah.hu/web/v3/OAHPortal.nsf/B056886F00DE3A60C12580D10033006F/$FILE/Hetedik_Nemzeti_Jelent%C3%A9s_CNS.pdf) (A letöltés ideje: 2016. november 19.)
- [20] Az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. honlapja:  
<http://www.atomeromu.hu/hu/Lapok/default.aspx/> (A letöltés ideje: 2017. február 19.)
- [21] A Radioaktív Hulladékokat Kezelő Közhasznú Nonprofit Korlátolt Felelősségű Társaság honlapja: [www.rhk.hu/letesitmenyeink/](http://www.rhk.hu/letesitmenyeink/) (A letöltés ideje: 2017. február 19.)
- [22] A Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóközpontjának honlapja:  
<http://www.energia.mta.hu/hu> (A letöltés ideje: 2017. február 19.)
- [23] A Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézetének honlapja: <http://www.reak.bme.hu/kutatas/oktatoreaktor.html> (A letöltés ideje: 2017. február 19.)
- [24] Rónaky J., Solymosi J.: Elemzés a hazai sugárvédelmi, biztosítéki, nukleáris biztonsági, és nukleáris veszélyhelyzeti felkészülési jogkörök egyesítéséről. *Hadmérnök*, II. 1. (2007) 86-123.
- [25] Solymosi J., Solymosi M.: Gondolatok „Az atomreaktorok biztonsága” című könyvről. *Hadmérnök*, IX. 1. (2014) 124-129.
- [26] Adorján F., Lux I.: A reaktorbiztonság jogi keretei In Elter J., Gadó J., Holló E., Lux I. (Szerkesztők) *Atomreaktorok biztonsága I., II. kötet*. Budapest: Somos Környezetvédelmi Kft., ELTE Eötvös Kiadó, 2013. ISBN 978-312-180-1, és ISBN 978-312-182-5
- [27] Deme S., Fehér I. (Szerkesztők): *Sugárvédelem*. Budapest: ELTE Eötvös Kiadó Kft., 2010. ISBN 978-963-284-080-2
- [28] 33/1998. (VI. 24.) NM rendelet a munkaköri, szakmai, illetve személyi higiénés alkalmasság orvosi vizsgálatáról és véleményezéséről
- [29] 15/2001. (VI. 6.) KöM rendelet az atomenergia alkalmazása során a levegőbe és vízbe történő radioaktív kibocsátásokról és azok ellenőrzéséről
- [30] International Atomic Energy Agency, Decontamination of operational nuclear power plants, Report of a technical committee meeting on the procedures for decontamination of operating nuclear power plants and handling of decontamination wastes organized by the International Atomic Energy Agency and held in Mol, Belgium 23-27 april 1979, IAEA, Vienna (1981).

**Besugárzástervező rendszerek minőségbiztosítása a sugárterápiában, 10 év tapasztalata**

Pesznyák Csilla

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3.  
Országos Onkológiai Intézet, 1122 Budapest, Ráth Gy. u. 7-9.  
pesznyak@reak.bme.hu

A kézirat beérkezett: 2017.05.15.

Közlésre elfogadva: 2017.06.08.

*Quality control of treatment planning systems in radiation therapy - 10 years of experience*  
*The radiation accidents highlighted the fact that the improper use of radiation therapy can be harmful. The detection of various types of errors in the dose delivery process can improve the quality of patient care. The quality controls of TPSs were set up on the basis of the IAEA TECDOC 1583 protocol. For the measurements CIRS Thorax IMRT phantom, ionisation chambers and electrometer were used. From 2008 until today the 16 linear accelerators, 34 photon energies, 18 treatment planning systems were checked. The differences between the calculated and measured dosimetric values were evaluated and compared with IAEA dosimetric criteria. In most cases we received acceptable results; the errors discovered during the measurements were corrected.*

*Keywords: treatment planning system (TPS), quality control (QC), radiation therapy*

***A sugárterápiában történő sugárbalesetek száma rávilágított arra a tényre, hogy a betegek sugárterápiás kezelése csak megfelelő biztonsági intézkedések mellett végezhető. A besugárzástervező rendszerek független vizsgálata az IAEA TECDOC 1583-as protokollja alapján történt. A mérésekhez a CIRS Thorax IMRT fantomot, ionizációs kamrát és elektrométert használtunk. 2008-tól máig 16 gyorsító, 34 energia, 18 tervezőrendszer több számolási algoritmusát ellenőriztük. Kiszámoltuk az ionizációs kamrával mért és a tervezőrendszerekkel számított pontdózisok közötti százalékos eltéréseket, amiket összehasonlítottunk a NAÜ protokollban található megfelelési kritériumokkal. Az esetek nagy részében a mérési eredmények megfeleltek az ajánlásoknak, de találtunk lényeges hibákat is, amik kijavításra kerültek.***

***Kulcsszavak: besugárzástervező rendszer, minőségellenőrzés, sugárterápia***

**BEVEZETÉS**

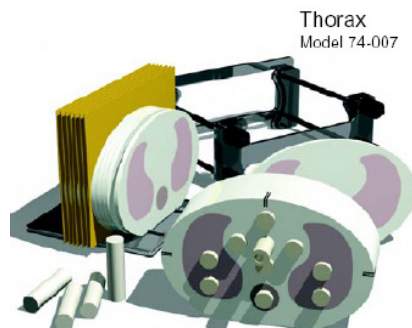
A sugárterápia rohamos technikai fejlődése szükségessé tette a magas szintű minőségellenőrzés biztosítását, ami nélkülözhetetlen a sugárterápiás kezelések pontos kivitelezéséhez. Új tervezőrendszer használatba vételekor teljes körű ellenőrzésre van szükség, ami különböző méréssorozatokot jelent. Számos protokoll és közlemény található ebben a témakörben. A nemzetközi ajánlások, a szakirodalom felhívja a figyelmet a teleterápiás tervek független dozimetriai ellenőrzésének fontosságára. Azért kiemelten fontos a tervezőrendszerek ellenőrzése, mert ha konfigurálás közben az orvosfizikus bármit elront, akkor az összes daganatos beteg sugárkezelése rossz lesz, ami egy sugárterápiás központ esetében több ezer beteget is jelenthet.

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség (NAÜ) állította össze az IAEA-TECDOC-1583-as protokollt [1], ami a tervezőrendszerek konfigurálásának ellenőrzésére szolgál konformális teleterápiás kezelések esetén. Magyarország az elsők között vett részt e protokoll tesztelésében. Először workshop-ot szerveztünk az Uzsoki utcai Kórházban 2008 tavaszán, ahol Eduard Gershkevitch a NAÜ szakértője ismertette az új protokollt. Joanna Izewska segítségével, aki a NAÜ dozimetriai laboratóriumának vezetője, kölcsönkaptuk a mérésekhez

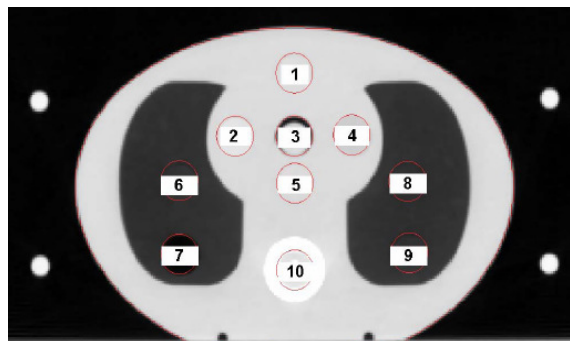
szükséges speciális antropomorf fantomot három hónapra, ez idő alatt nyolc önkéntesen jelentkező központban végeztem el a méréseket a helyi orvosi fizikus kollégákkal együtt, a NAÜ útmutatója alapján.

## MÓDSZEREK ÉS MÉRÉSTECHNIKA

Az IAEA-TECDOC-1583 protokoll nyolc különböző esetet vizsgál. Ezeket a technikákat nap, mint nap alkalmazzuk a besugárzástervezésben. A mérésekhez a CIRS Thorax IMRT fantomot használtuk, amiben az emberi anatómiának megfelelő szöveti inhomogenitások találhatóak (1. ábra).



1. ábra: CIRS Thorax IMRT fantom



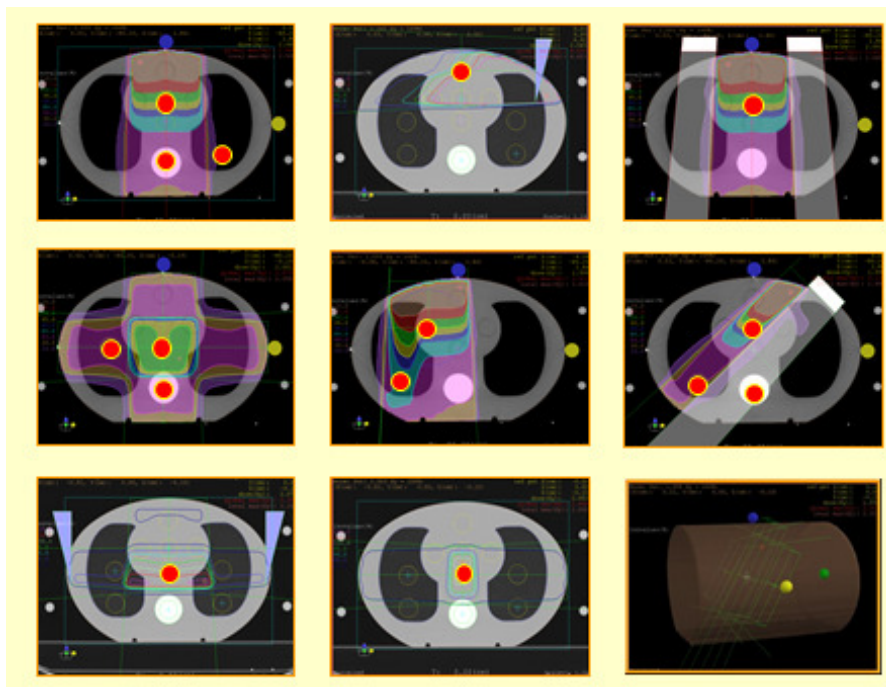
2. ábra: A fantom mérési pontjainak jelölése

A szilárdvíz alapú fantom relatív elektronsűrűsége 1,003, ebben található tüdő (relatív elektron sűrűsége 0,207) valamint csont (relatív elektronsűrűsége 1,506). A fantomban 10 lehetséges mérési pont van (2. ábra), ide kell elhelyezni a speciálisan kialakított betétekbe az ionizációs kamrát. A többi lyukba a megfelelő sűrűségű tömör betétet kell betenni.

A fantomról terápiás CT-képsorozatot készítünk, amit a kórházi hálózaton keresztül DICOM formátumban beolvasunk a tervezőrendszerbe. Ezt követően elkészítjük a mintaterveket, amik a 3. ábrán láthatók. Mindegyik tervet tudatosan alakították ki, célja a különböző dozimetriai paraméterek ellenőrzése.

Az 1. eset a tervezőrendszer konfigurálását ellenőrzi, mivel a  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ -es mező mindig a bemérések referencia mezeje. A 2. eset ellenőrzi az ékelt mezők dózisszámolását és az ékfaktorok pontosságát. A 3. eset nagyon hasonló az elsőhöz, azzal a különbséggel, hogy a mező méretét sokleves kollimátorral (MLC) formáljuk  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ -re, ezzel ellenőrizve, hogy a tervezőrendszer milyen pontosan számol az árnyékolás alatt. A 4. esetben négy mezős box technikát alkalmazunk, ellenőrizzük az egyes mezők dózisértékét és az adott pont összdózisértékét, amit a négy mező dózisértékének összegzésével kapunk. Az 5. és 6. esetben egyaránt ellenőrizzük a tervezőrendszerek dózisszámoló algoritmusát az inhomogenitások tekintetében, illetve az MLC hatását a dózisszámolásra. A 7. eset az aszimmetrikus mezők ellenőrzésére szolgál, ezzel a méréssel egyben ellenőrizzük az ékek ékfaktorát is. A 8. esetet non-koplanáris besugárzásnak nevezzük, főleg agydaganatok esetében alkalmazzuk ezt a mezőbeállítást, ez az egyetlen eset, amikor az asztalt is el kell forgatni mérés közben.

A mérésekhez farmer vagy szemi-flexibilis ionizációs kamrát használtunk, az egyes mérési pontok dózisértékét az IAEA TRS 398-as protokollja [2] alapján számoltuk ki.



3. ábra: Az egyes besugárzási tervek mezőelrendezésének és mérési pontjainak bemutatása

Az ionizációs kamrával mért és a tervezőrendszerrel számolt dózisok közötti különbséget az IAEA TRS 430 protokollja [3] alapján az 1. képlettel határoztuk meg :

$$\text{Hiba (\%)} = 100 * (D_{\text{számolt}} - D_{\text{mért}}) / D_{\text{ref}}, \quad (1.)$$

ahol

$D_{\text{számolt}}$  a tervezőrendszerrel kapott érték,

$D_{\text{mért}}$  az ionizációs kamrával mért dózisértékek átlaga,

$D_{\text{ref}}$  az adott terv referencia pontjának dózisértéke, protokollunkban minden terv esetén 2 Gy, ami megfelel a napi frakciódózisnak.

A modern lineáris gyorsítók több fotonenergián is működhetnek, ez egy gyorsító esetén akár öt energiát is jelenthet (pl. 6 MV, 6 MV FFF (simítószűrő nélküli mód – flattening filter free), 10 MV, 10 MV FFF, 15 vagy 18 MV). A tervezőrendszerek vizsgálata energiánként megközelítőleg 4-5 órás besugárzástervezést, illetve 5-6 órás mérést igényel, a mérésben résztvevő orvosi fizikusok gyakorlatának a függvényében.

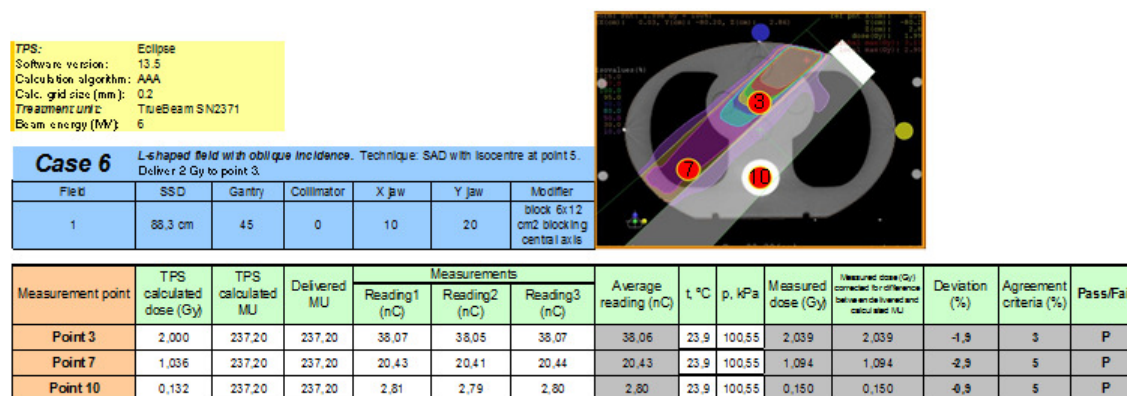
## EREDMÉNYEK ÉS MEGBESZÉLÉS

A mérésekben a 13 sugárterápiás központból 12 részt vett legalább egyszer, volt ahova visszahívtak új készülék telepítését követően. 2008-tól máig 16 gyorsító 34 energiáját, 18 tervezőrendszer több számolási algoritmusát ellenőriztük. A 2008-ban elvégzett méréssorozatban 8 központ vett részt. A NAÜ-től kölcsön kapott fantommal 3 hónap alatt végeztem el a méréseket az egyes központok helyi orvosi fizikusainak segítségével. Ellenőriztünk Varian, Siemens és Elekta gyorsítókat, 6 MV, 15 MV és 18 MV fékezési röntgensugárzással létrehozott energiatartományban. Vizsgáltuk a következő gyártók tervezőrendszereinek konfigurálását, számolási algoritmusait: Varian CadPlan, Philips Pinnacle, PrecisePlan, Nucletron Oncentra MasterPlan, CMS Xio, Nucletron Helax, Nucletron Plato, mindegyik tervezőrendszer több számolási algoritmussal rendelkezik.

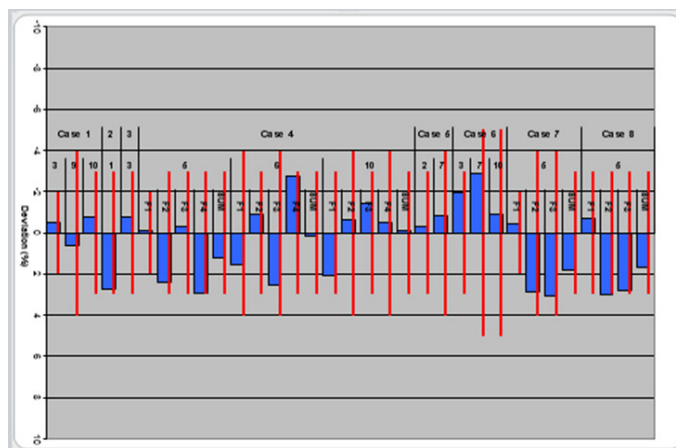


A méréseket 2010-től tudtam folytatni, mivel akkor a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Nukleáris Technikai Intézete a „Laboratóriumi berendezések beszerzése a BME Természettudományi Kar részére a KMOP-4.2.1/B-10-2011-0011” projekt keretében megvásárolta a szükséges fantomot. 2013-tól több új gyorsítót telepítettek országszerte, új tervezőrendszerek kerültek a klinikai gyakorlatba, amiket újból elkezdtünk ellenőrizni. Mértünk az Országos Onkológiai Intézet TrueBeam készülékén, Eclipse tervezőrendszer AAA számolási algoritmusát ellenőrizve. A Debreceni Tudományegyetem Sugárterápiás Központjában ellenőriztük az Elekta Synergy gyorsítóját a Philips Pinnacle tervezőrendszerrel, Győrben az Elekta Synergy gyorsítóját Monaco tervezőrendszerrel, valamint a veszprémi kórház Varian TrueBeam gyorsítóját az Eclipse tervezőrendszer AAA és Acuros számolási algoritmusával.

A 4. ábrán látható egy tervezési feladat mérési adatlapja. Minden mérési pontban háromszor kell megismételni a mérést, majd ennek az átlagát hasonlítjuk össze a tervezőrendszer által számolt dózissal. Az 1. képlet alapján kiszámoljuk a százalékos eltérést, és ezt összehasonlítjuk a nemzetközi kritériumokkal. Az 5. ábrán látható a protokoll mérési eredményeinek grafikus ábrázolása.



4. ábra: A 6. tervezési feladat mérési adatlapja.



5. ábra: A mérési eredmények grafikus ábrázolása (piros vonalak a nemzetközi kritériumot ábrázolják, míg kékkel jelöljük a mérés közben meghatározott százalékos eltéréseket).

A 6. ábrán látható az összes mérési pontot tartalmazó összefoglaló táblázat, ami alapján elemezni lehet az egyes tervezőrendszerek konfigurálásának pontosságát, illetve a táblázatban megtalálhatók a nemzetközi elfogadási kritériumok, amik alapján el lehet dönteni, hogy az

egy-egy mérési pontok dózisa megfelelnek-e a nemzetközi ajánlásoknak. Összesen 28 mérési pontban ellenőrizzük az egyes készülékeket.

Case #	Description	Meas. point	Field #	Calculation results (Gy)	Measurement results (Gy)	Deviation (%)	Agreement criteria (%)	Pass/Fail
1	Standard SSD, 10x10cm <sup>2</sup> field	3		2,000	2,010	-0,5	2	P
		9		0,168	0,155	0,6	4	P
		10		1,235	1,250	-0,8	3	P
2	Missing tissue	1		2,000	1,947	2,7	3	P
3	Blocked corners	3		2,000	2,016	-0,8	3	P
4	Four field box	5	F1	0,500	0,501	-0,1	2	P
			F2	0,500	0,488	2,4	3	P
			F3	0,500	0,501	-0,3	3	P
			F4	0,500	0,486	3,0	3	P
			SUM	2,000	1,976	1,2	3	P
		6	F1	0,041	0,033	1,6	4	P
			F2	0,302	0,306	-0,9	3	P
			F3	0,054	0,041	2,5	4	P
			F4	0,650	0,663	-2,7	3	P
			SUM	1,047	1,044	0,1	3	P
		10	F1	0,359	0,349	2,1	3	P
			F2	0,035	0,038	-0,6	4	P
			F3	0,713	0,720	-1,4	3	P
			F4	0,036	0,039	-0,5	4	P
			SUM	1,143	1,145	-0,1	3	P
5	Customised blocking	2		2,000	2,006	-0,3	3	P
		7		1,715	1,731	-0,8	4	P
6	L-shaped field	3		2,000	2,039	-1,9	3	P
		7		1,036	1,094	-2,9	5	P
		10		0,132	0,150	-0,9	5	P
7	Plan with asymmetric fields and wedges	5	F1	0,639	0,642	-0,4	2	P
			F2	0,681	0,662	2,9	4	P
			F3	0,679	0,669	3,1	4	P
			SUM	1,999	1,963	1,8	3	P
8	Plan with non-coplanar fields	5	F1	0,666	0,671	-0,7	3	P
			F2	0,667	0,648	3,0	3	P
			F3	0,667	0,649	2,8	3	P

6. ábra: Az összes mérési pont alapján készült összefoglaló táblázat

Évek alatt összeállítottunk egy nemzetközi adatbázist, amivel összehasonlítjuk az eredményeket, mivel nem minden esetben jelent a kisebb százalékos eltérés konfigurációs hibát. Egyes tervezőrendszerek számolási algoritmusai rosszul kezelik a különböző inhomogenitások esetén keletkezett szórás paramétereket, ezért a leggondosabb mérés, konfigurálás esetén sem adnak megfelelő eredményt. Ezeket a hibákat ismerni kell, nem lehet sajnos őket korrigálni, de a gyártónak jelezni kell, aki jó esetben a következő szoftver verzióban igyekszik kijavítani, bár már jártunk úgy, hogy a tüdők inhomogenitásából származó különbséget szépen korrigálták, miközben elromlott a csont sűrűségéből eredő hiba. Az egyik központban rosszul volt beadva egy ékfaktor, szerencsére csak 2%-kal nagyobb eltérést okozott a megengedettnél. Egy másik központnál észrevettük, hogy a kezelőasztal nem karbonszálas, ezért a 180 fokos gantry állás mellett történő besugárzás során 4%-kal nagyobb volt az asztal elnyelése, mint a megengedett. Amíg nem kapták meg az új asztallapot addig figyelembe kellett venni ezt az értéket a tervezés folyamán. Több régi tervezőrendszer (PrecisePlan, CMS Xio, Nucletron Helax, Nucletron Plato) nem felelt meg az elvárásoknak, amit minden esetben jeleztünk, és mára ezeket már nem alkalmazzák a klinikai gyakorlatban. A mérések során felhívtuk a kollégák figyelmét, hogy minden tervezőrendszerben definiálni kell CT-szám (Hounsfield egység) - relatív elektronsűrűség kalibrációs görbét. Ahány CT készülék képsorozatára tervezünk, annyi kalibrációs görbét kell definiálnunk a tervezőrendszerben, mivel ennek elhanyagolása is jelentős hibát eredményezhet. Az 1. mérési terv kiválóan alkalmas a lineáris gyorsító abszolút dozimetriájának ellenőrzésére, volt olyan eset, hogy először be kellett kalibrálni a gyorsítót, és csak ezt követően folytathattuk a mérést. Az új tervezőrendszerek (Varian Eclipse, Philips Pinnacle, Elekta Monaco) igen jó egyezést mutatnak a mérések során, bár néhány százalékos eltérés így is található bizonyos mérési pontokban, főleg tüdő inhomogenitások esetén. Ezek az értékek megtalálhatók a nemzetközi szakirodalomban is. [4-8]

## KÖVETKEZTETÉS

Az IAEA-TECDOC-1583 protokollja alapján részletesen elemezni lehet az egyes sugárterápiás tervezőrendszerek konfigurálásának pontosságát és a lineáris gyorsítók dozimetriai megbízhatóságát. A mérések sugárterápiás központonként 1-2 napot vesznek igénybe, attól függően, hogy pontosan hány darab lineáris gyorsítót, illetve tervezőrendszert szeretnénk ellenőrizni. A mérési eredmények elemzésével pontos képet kaphatunk az adott központ betegkezelésének minőségéről dozimetriai és sugárvédelmi szempontból. A módszer csak konformális tervek vizsgálatára alkalmas. Az intenzitásmodulált sugárterápiás tervezés minőségellenőrzési protokolljának kidolgozása folyamatban van, amiben szintén részt veszünk az Országos Onkológiai Intézettel.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni Joanna Izewska-nak és Eduard Gershkevitsh-nek a szakmai támogatást, valamint kollégáimnak, a sugárterápiás központokban dolgozó orvosi fizikusoknak lelkiismeretes munkájukat, hogy szabadidejüket, hétvégéjüket feláldozva igyekeznek biztosítani a betegek magas színvonalú kezelését. Köszönet a vizsgálatokban részt vett sugárterápiás központok menedzsmentjének, hogy lehetővé tették számomra a mérések elvégzését.

## IRODALOM

- [1] IAEA (International Atomic Energy Agency) TECDOC 1583. Commissioning of radiotherapy treatment planning systems: Testing for typical external beam treatment techniques, Vienna: IAEA 2008.
- [2] IAEA (International Atomic Energy Agency) Technical Report Series 398. Absorbed dose determination in external beam radiotherapy. An International Code of Practice for Dosimetry Based on Standards of Absorbed Dose to Water, Vienna: IAEA 2000.
- [3] IAEA (International Atomic Energy Agency) Technical Report Series 430. Commissioning and quality assurance of computerized planning systems for radiation treatment of cancer, Vienna: IAEA 2005.
- [4] Gershkevitsh E, Pesznyak C, Petrovic B, Grezdo J, Chelminski H, Do Carmo Lopes M, Izewska J, Van Dyk J. Dosimetric inter-institutional comparison in European radiotherapy centres: Results of IAEA supported treatment planning system audit, *Acta Oncologica* 2014;53 (5), 628-636
- [5] Gershkevitsh E, Schmidt R, Velez G, Miller D, Korf E, Yip F et al. Dosimetric verification of radiotherapy treatment planning systems: results of IAEA pilot study. *Radiother Oncol* 2008;89:338-346.
- [6] IAEA (International Atomic Energy Agency) Comprehensive Audits of Radiotherapy Practices: A Tool for Quality Improvement, Quality Assurance Team for Radiation Oncology (QUATRO), Vienna: IAEA, 2007.
- [7] Knöös T, Wieslander E, Cozzi L, Brink C, Fogliata A, Albers D et al. Comparison of dose calculation algorithms for treatment planning in external photon beam therapy for clinical situations. *Phys Med Biol* 2006;51:5785–5807.
- [8] Rutonjski L, Petrović B, Baucal M, Teodorovic M, Cudic O, Gershkevitsh E et al. Dosimetric verification of radiotherapy treatment planning systems in Serbia: national audit. *Radiation oncology* 2012;7:155.

A pályamű a SOMOS Alapítvány támogatásával készült

## **A PAKSI ATOMERŐMŰ LESZERELÉSI TERVÉNEK AKTUALIZÁLÁSÁHOZ TARTOZÓ RADIOLÓGIAI FELMÉRÉS ÉRTÉKELÉSE**

Nagy Gábor

Somos Kft, 1118 Budapest, Sasadi út 70.

gabor.nagy@somos.hu

A kézirat beérkezett: 2017.05.11.

Közlésre elfogadva: 2017.06.30.

*For the NPPs one of the most important document is the decommissioning project prescribed by the international and national rules. The requirements of the disassembling process are contained by Nuclear Security Papers. By the national regulations the actual version of the decommissioning project must be submitted to the authority in 2013.*

*To refresh the decommissioning project and for the adequate calculations of the disassemble tasks there was essential to carry out radiological survey providing information about the volume of the tasks of the decommissioning, decontamination and about the volume of the radioactive waste during the disassembly activities.*

*The actual work overviews activities related to sampling and measuring procedures during the survey.*

*Decommissioning, radiological survey*

***Az atomerőmű leszerelési tervét az engedélyesnek jogszabály alapján [1], 5 évenként felül kell vizsgálnia, és szükség esetén aktualizálnia kell. A hatályos jogszabályi előírás alapján a jelenleg üzemelő blokkok aktuális felülvizsgált leszerelési tervét 2013-ban kellett benyújtani a hatósághoz.***

***A leszerelési terv aktualizálásához radiológiai felmérést kellett végezni, amely alapján meghatározhatóak a leszerelés egyes feladatai, az azokhoz szükséges dekontaminálás terjedelme, a keletkező radioaktív hulladékok, illetve a felszabadítható anyagok mennyisége.***

***Jelen munka áttekinti a radiológiai felmérés során elvégzett feladatokat, azok végrehajtását és az alkalmazott mérési eljárásokat.***

***Leszerelés, radiológiai felmérés***

### **BEVEZETÉS**

Az atomerőmű leszerelési feladatok végrehajtását megelőzően, a leszerelési terv véglegesítéséhez szükséges egy, az atomerőmű végleges leállítását követően elvégzett átfogó és teljes körű radiológiai felmérés. A felméréstől függetlenül, részben a leszerelési tevékenységek tervezésének megfelelő előkészítése, részben a feladatok végrehajtásához szükséges eszközök, berendezések, valamint mindezek költségeinek kellő időben történő meghatározása, aktualizálása céljából az üzemeltetés során időszakosan át kell tekinteni a létesítmény sugárzási helyzetét.

Annak érdekében, hogy a leszerelés költségei megfelelően becsülhetőek legyenek, az üzemeltetés során radiológiai felmérést kell végezni, amely alapján meghatározhatóak a végleges leszerelés egyes feladatai, az azokhoz szükséges dekontaminálás terjedelme, a keletkező radioaktív hulladékok, illetve a felszabadítható anyagok mennyisége. Az üzemeltetés során elvégzett radiológiai felmérések alapján meghatározott feladatokat és költségeket az erőműben a sugárzási helyzet változásának függvényében aktualizálni kell.

## MÉRÉSI PROGRAM

Az erőmű üzemideje alatt végzett sugárvédelmi mérések segítséget jelentenek a leszerelést előkészítő radiológiai felméréssel történő sugárzási helyzet meghatározásához. Ezeket a méréseket azonban alapvetően nem a leszereléssel kapcsolatban végzik, így csak kiegészítő információknak tekinthetők.

A leszereléssel kapcsolatos feladatok elvégzéséhez meg kellett határozni azokat a méréseket, amelyeket kifejezetten a leszerelési terv elkészítése és aktualizálása céljából szükséges elvégezni. E mérések körét a továbbiakban kiegészítő radiológiai felmérésnek nevezzem.

A kiegészítő radiológiai felmérés feladatai, egy az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. által korábban elfogadott jelentés alapján lettek meghatározva. A felmérés programját a következők figyelembe vételével kellett kidolgozni:

- Mérési eredmények alapján ismertetni kellett az ellenőrzött zóna helyiségeinek sugárzási helyzetét, a meghatározó radionuklidokat. El kellett készíteni a radioaktív szennyeződések jellemzését (pl. fixált, laza stb.), valamint össze kellett állítani a létesítmény dózistérképét.
- Be kellett mutatni a radioaktív, ill. radioaktív anyagot tartalmazó rendszerek listáját. Ismertetni kellett a rendszerek felületén és belsejében található radionuklidokat, azok mennyiségét és minőségét a maximális és átlagos értékek megadásával.
- A létesítmény környezete sugárvédelmi helyzetének jellemzéséhez mérésekre alapozva ismertetni kellett azon területeket, ahol felszíni talajszennyezettség mutatható ki. A szennyező izotópokat helyszínenként kellett azonosítani, és meg kellett adni azok kémiai formáját, maximális és átlagos aktivitását.
- A környezet sugárvédelmi felmérésének a felszíni és felszín alatti vizek vizsgálatára is ki kellett terjednie.

A mérési program meghatározásánál figyelembe veendő alapvető szempont volt, hogy az üzemvitelt minél kevésbé befolyásolja, a berendezések belsejében történő méréseket csak azok - a karbantartás, főjavítás során történő - megbontásának időszakára lehetett ütemezni.

### *A helyiségek felületi szennyezettsége*

Az ellenőrzött zóna helyiségeiben a következő kiegészítő mérések elvégzése volt szükséges:

- A nem fixált/teljes felületi szennyezettség (FSZ) arányának meghatározása helyiségenként – ahol ezt a gamma-háttér megengedi, legalább két – a legnagyobb és átlagos szennyeződéssel jellemezhető – ponton.
- A fenti pontokon vett dörzsminták - legnagyobb aktivitásúak 20%-ának - gamma-spektrometriai elemzése.
- A gamma-spektrometriai elemzések alapján reprezentatívnak tekinthető mintacsoportokban - csoportonként legalább 3-3 minta - radiostroncium és alfa-sugárzó izotópok kvalitatív és kvantitatív meghatározása.

A mérési programban kötelezően előírt helyiségekből vett dörzsmintákból stroncium és az alfa-spektrometriai méréseket kellett végrehajtani.

### ***Berendezések külső és belső felületi szennyezettsége***

A leszerelési terv aktualizálásának megalapozásához a berendezések külső felületeinek szükséges kiegészítő méréseit az érintett berendezéskörre teljes körűen meg kellett határozni az alábbiak figyelembe vételével:

- A berendezések külső felületén a nem fixált/teljes felületi szennyezettség arányának meghatározása berendezésenként – ahol ezt a gamma-háttér megengedi –, legalább két – a legnagyobb és átlagos szennyeződéssel jellemezhető – ponton.
- A fenti pontokon vett dörzsminták - legnagyobb aktivitásúak 20%-ának - gamma-spektrometriai elemzése.
- 24 db a mérési programban előírt berendezésről vett dörzsminta radiostroncium és alfa-sugárzó izotópok, valamint  $^{55}\text{Fe}$  és  $^{59}\text{Ni}$  izotópok kvalitatív és kvantitatív meghatározása.

### ***Épületszerkezetek vizsgálata***

A radiológiai felmérés során, az épületszerkezeteken szükséges kiegészítő méréseket kellett elvégezni:

- A valószínűsíthetően szivárgásoknak kitett, esetlegesen „pangó vizeket” tartalmazó épületrészek (falak, földem, padló) dózisteljesítmény mérése és in-situ gamma-spektrometriai vizsgálat elvégzése.
- A fenti vizsgálatok által igazoltan szennyezett pontokon – ha lehetséges – mintavétel (anyagminta: folyadék, kaparékminta vagy dörzsminta) és a minta gamma-spektrometriai elemzése.
- A gamma-spektrometriai elemzések alapján reprezentatívnak tekinthető mintacsoportokban – csoportonként legalább 2-2 minta - tiszta béta-sugárzó és alfa-sugárzó izotópok kvalitatív és kvantitatív meghatározása.
- A reaktorcsarnok „forró pontjain” – ahol a padló felületi szennyezettsége a megengedett szintnél két nagyságrenddel nagyobb – dörzsmintavétel és gamma-spektrometriai elemzés végrehajtása.

A mérési programban számos kötelezően megmintázandó helyiség szerepelt.

### ***Az üzemi területen végzendő kiegészítő mérések***

Felszíni talajvizsgálatok:

- $^{90}\text{Sr}$  vizsgálat a 10 mintavételi ponton.
- Urán aktivitásának meghatározása izotóponként a 10 mintavételi ponton.
- Urán alapszint (vonatkoztatási szint) meghatározása a felszíni (0-3 cm) talajrétegre.
- Vonatkoztatási szint céljára alkalmas mintavételi pont(ok) kijelölése a 10 mintavételi pont közül, vagy azokon kívül.

Talajvízvizsgálatok:

- Alfa-aktivitás mérése uránizotópokra, valamint a plutóniumon kívüli, más transzurán izotópokra ( $^{241}\text{Am}$ ,  $^{242}\text{Cm}$ ,  $^{244}\text{Cm}$ ), a 23 db automata mintavevős kútból vett minták közül az 5 legnagyobb szennyezettségűn. A kiválasztás alapja a kutakban mért  $^3\text{H}$  szennyezettség.

### ***A telephely környezetében végzendő kiegészítő mérések***

- Felszíni talajminták alfa-aktivitásának (uránizotópok, transzuránok) meghatározása 5 mintavételi ponton (4 db A és a B állomásnál).

- Aeroszol  $^{90}\text{Sr}$  és alfa-aktivitás (uránizotópok, transzuránok) mérése egyesített mintákból, 4 mintavételi ponton (4 db A állomásnál).
- Aeroszol alfa-aktivitás (uránizotópok, transzuránok) alapszint (vonatkoztatási szint) meghatározása, 1 mintavételi ponton (B állomásnál).
- Felszíni vizek és vízi környezeti minták (iszap) alfa-aktivitás (uránizotópok, transzuránok) meghatározása.
- Alapszint (vonatkoztatási szint) meghatározása Duna-víz és Duna-iszap esetében: részletesebb gamma-spektrometria, továbbá alfa-aktivitás (uránizotópok, transzuránok), 1-1 mintavételi ponton.

## **AZ ÜZEMVITEL SORÁN VÉGZETT MÉRÉSEK ADATAINAK ÁTVÉTELE TOVÁBBI ÉRTÉKELÉSHEZ**

Az atomerőmű üzemeltetése során a Sugár- és Környezetvédelmi Főosztály széleskörű sugárvédelmi ellenőrző programot hajt végre, éves mérési program alapján végzi a méréseket. Még ha az ezen ellenőrző programmal szembeni követelmények, elvárások nem is teljesen azonosak a leszerelést előkészítő sugárvédelmi mérési programéival, az eredmények – itt a normál üzemi ellenőrzési programon kívül az üzemi események, üzemzavarok vizsgálati eredményeit is figyelembe kell venni – mindenképpen értékes információt jelentenek a leszerelés tervezését megalapozó radiológiai mérési programok megalapozásához, kiegészítéséhez.

Ahhoz, hogy teljesebb képet kapjunk az atomerőmű sugárzási helyzetéről a fenti üzemviteli sugárvédelmi ellenőrző programon felül szükség van egy jóval kiterjedtebb felmérésre. Az üzemszerűen végrehajtandó mérési program többek között nem terjed ki teljes körűen a nem kezelhető helyiségekre, valamint a helyiségekben a felületi szennyezettség mérések kéziműszerrel történnek, dörzsmintavétel csak abban az esetben történik, ha az adott ponton mért kéziműszeres érték meghaladja az MSSZ szerinti, a helyiségre vonatkozó ellenőrzési szintet. Továbbá a felmérési program végrehajtása során minden helyiségben legalább 4 ponton mértünk dózisteljesítményt és felületi szennyezettséget. Ennek eredményeképpen jóval nagyobb mennyiségű adat áll rendelkezésre.

## **ALKALMAZOTT MÉRÉSI ELJÁRÁSOK**

A radiológiai felmérés során méréstechnikai oldalról megközelítve, a következő mennyiségek mérésére kellett felkészülni:

- kézi műszeres felületi szennyezettség mérés,
- kézi műszeres gamma-dózisteljesítmény mérés,
- teljes szennyezettség meghatározás (béta-, indokolt esetben alfa-sugárzó radionuklidokra),
- nem fixált szennyeződés meghatározás (nuklidspecifikus meghatározása szükséges),
- aktivitáskoncentráció meghatározás (nuklidspecifikus meghatározás, in-situ méréssel vagy minták analízisével).

## **HELYISÉGMÉRÉSEK**

Az ellenőrzött zóna helyiségeiben a dózisteljesítményt és a felületi szennyezettséget nagyrészt a helyiségekben elhelyezett technológiai rendszerek, berendezések okozzák. Az adott helyiségre jellemző dózisteljesítmény és a felületi szennyezettség a blokk üzeme és karbantartása következtében változhat, hiszen a főjavítások alatt a berendezéseket megbontják, azokon munkát végeznek, ennek következtében az aktívabb, szennyezettebb

belső részek közvetlenül is érintkezhetnek a helyiség levegőjével és felületeivel, ezáltal akár belső sugárterhelés okozhatnak.

**1. táblázat Egy helyiségben mért legnagyobb értékek**

	Mért érték
Dózisteljesítmény átlag [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	2125
Dózisteljesítmény maximum [ $\mu\text{Sv/h}$ ]	4500
Kéziműszeres FSZ mérés átlag [ $\text{Bq/cm}^2$ ]	31
Kéziműszeres FSZ mérés maximum [ $\text{Bq/cm}^2$ ]	75

A mérési eredményeket megvizsgáltam felszabadíthatóság szempontjából is [2]. A kapott eredmények alapján nyilvánvaló, hogy a végleges leszerelés előtt igen alapos és részletes felmérést kell végezni, mivel sok izotóp esetén csak az esetenként kiugró maximum értékeknél állapítható meg felszabadítási szintnél magasabb érték.

**2. táblázat Helyiségek dörzsmintáinak gamma-spektrometriai mérés alapján meghatározott felületi szennyezettség**

Mért izotóp	Kimutatási határ feletti mintaszám	Átlag [ $\text{Bq/cm}^2$ ]	Maximum [ $\text{Bq/cm}^2$ ]	Felszab. szint RP_113 <sup>(1)</sup>
<sup>51</sup> Cr	143	0,485	21,6	-
<sup>54</sup> Mn	301	1,86	344	1,5
<sup>58</sup> Co	277	0,907	150	3,2
<sup>59</sup> Fe	174	0,375	30,8	-
<sup>60</sup> Co	356	4,65	661	0,36
<sup>65</sup> Zn	166	0,16	3,83	2,3
<sup>94</sup> Nb	111	0,055	0,404	0,53
<sup>95</sup> Zr	137	0,229	7,2	1,8
<sup>103</sup> Ru	110	0,036	0,159	-
<sup>106</sup> Ru	185	0,432	8,04	5,6
<sup>108m</sup> Ag	86	0,04	0,189	0,51
<sup>110m</sup> Ag	298	0,663	26,1	0,48
<sup>124</sup> Sb	135	0,469	12	1,9
<sup>125</sup> Sb	71	0,149	1,98	2,1
<sup>134</sup> Cs	130	0,291	28,3	0,63
<sup>137</sup> Cs	219	4,86	1013	1,5
<sup>141</sup> Ce	122	0,041	0,23	-
<sup>144</sup> Ce	108	0,456	12,8	2,6
<sup>154</sup> Eu	105	0,358	22,8	0,69

A felmérés során mért pontok, dózisteljesítmény és felületi szennyezettség mérési pontok rögzítésre kerültek. Ezek alapján a későbbiekben a rögzített pontokon újra elvégezhetjük ugyanezeket a vizsgálatokat, így képet kapunk a helyiségek dózisteljesítmény és felületi szennyezettség állapotának időbeni változásáról.

<sup>1</sup> A 60 napnál rövidebb felezési idejű radioizotópokra nem közölnek felszabadítási szintet a [3] irodalomban, mivel azokról feltételezik, hogy a felszabadítási eljárás kezdetére már lebomlottak.



## RENDSZEREK, BERENDEZÉSEK, ALKATRÉSZEK, ANYAGMINTÁK ÉS ÉPÜLETSZERKEZETEK SZENNYEZETTSÉGE

A berendezések külső és belső felületein mért dózisteljesítmény, felületi szennyezettség és aktivitáskoncentráció értékek az adott berendezésre annak adott állapotában jellemzőek, ezen mérések alapján a teljes primerkörüi rendszerekre vonatkozó következtetéseket nem vonhatunk le.

3. táblázat Berendezés dörzsminták gamma-spektrometriai mérése

Mért izotóp	Berendezés			
	Külső felület [Bq/cm <sup>2</sup> ]		Belső felület [Bq/cm <sup>2</sup> ]	
	Átlag	Maximum	Átlag	Maximum
<sup>51</sup> Cr	0,266	0,396	6,17	69,8
<sup>54</sup> Mn	0,089	0,605	1,15	16,2
<sup>58</sup> Co	0,082	0,411	7,72	139
<sup>59</sup> Fe	0,085	0,114	1,26	11,9
<sup>60</sup> Co	0,176	1,34	9,83	149
<sup>65</sup> Zn	0,122	0,247	0,449	2,53
<sup>94</sup> Nb	0,034	0,047	0,128	0,64
<sup>95</sup> Zr	0,076	0,265	1,42	16,2
<sup>103</sup> Ru	0,032	0,051	0,128	1,22
<sup>106</sup> Ru	0,329	0,519	13,9	251
<sup>108m</sup> Ag	0,028	0,059	0,523	10,4
<sup>110m</sup> Ag	0,135	1,57	35,1	1210
<sup>124</sup> Sb	-	-	11,7	113
<sup>125</sup> Sb	0,084	0,129	0,24	0,824
<sup>134</sup> Cs	0,04	0,095	0,104	0,642
<sup>137</sup> Cs	0,028	0,05	0,116	0,577
<sup>141</sup> Ce	0,038	0,095	0,07	0,486

$^{144}\text{Ce}$	0,19 1	0,53	3,35	49,6
$^{154}\text{Eu}$	0,03 3	0,051	0,21	1,55

Az erőmű épületszerkezetét és épületszerkezeti anyagmintáit vizsgálva megállapítható, hogy a korábban szivárgást mutató helyiségek szivárgás szempontjából nagyobb jelentőséggel bíró része a hermetikus térben található.

Jelen vizsgálatok pontos képet adnak az adott helyek sugárzási paramétereiről, viszont az további vizsgálatot igényel, hogy az épületszerkezet a folyás helyének környezetében milyen mértékben szennyeződött.

Mind a berendezések, mind az épületszerkezeti minták részletes dokumentálásának köszönhetően a későbbiek során, ugyanezen berendezéseken és épületszerkezeti pontokon vett minták kiértékelésével pontos képet kaphatunk a radiológiai állapotok időbeni változásáról.

## ÜZEMI ÉS TELEPHELYEN KÍVÜLI TERÜLETEK

Az erőmű igen kiterjedt üzemi mérési programot hajt végre a saját sugárvédelmi ellenőrzési szabályzatainak megfelelően. A kiegészítő radiológiai felmérés során ezeket a méréseket egészítettük ki további vizsgálatokkal, melyek alapján pontosabb képet kaptunk a telephelyen belüli és azon kívüli radiológiai viszonyokról.

A minták kiértékelése után megállapítható, hogy az eredmények összevethetőek a vonatkoztatási szint értékeivel, a transzurán izotópok aktivitása pedig kimutatási határ alattiak voltak.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen cikkben a paksi atomerőmű leszerelési tervének 2013. évi aktualizálását megalapozó, 2012-ben elvégzett radiológiai felmérés programjának végrehajtását és eredményeit mutattam be.

Az atomerőmű, a működése során maga is végez üzemvitelszerűen radiológiai méréseket. Megállapítható, hogy az atomerőmű saját működési szabályzatában leírt mérések nem nyújtanak teljes képet az atomerőmű aktuális sugárzási viszonyairól, mivel csak korlátozott számú helyiségre terjednek ki, ezért indokolt a kiegészítő radiológiai felmérés elvégzése.

Az elkészült munka végén javaslatokat fogalmaztam meg a jövőben elvégzendő radiológiai felmérésekkel kapcsolatban. Szükségesnek tartom a mostani nagyszámú helyiségmérés megtartását, hogy minél kiterjedtebb és pontosabb képet kapjunk. Javasolom a későbbi programok során a vizsgálandó berendezések számának növelését. Pontosabb képet kapnánk, ha egy-egy rendszer több összefüggő elemét is vizsgálatnak vetnénk alá, nem csak egy-egy kiragadott berendezést.

Összességében elmondható, hogy igen nagy mennyiségű mérési adattal alátámasztott felmérés született, ami az adatok részletes elemzése után megfelelő alapot nyújtott a leszerelési terv aktualizálásához.

## IRODALOM

- [1] 118/2011. (VII. 11.) Korm. rendelet a nukleáris létesítmények nukleáris biztonsági követelményeiről és az ezzel összefüggő hatósági tevékenységről, 8. számú melléklet, 8.2.3.0600 pontja

- [2] Radiation Protection 122 (EURATOM) Practical Use of the Concepts of Clearance and Exemption Part I. Guidance on General Clearance Levels for Practices (2000)

A pályamű a SOMOS Alapítvány támogatásával készült.

## Az új sugárvédelmi szabályozás bevezetése a Semmelweis Egyetemen és a szabályozás bevezetéséhez szükséges fejlesztések bemutatása

Taba Gabriella\*<sup>1</sup>, Kári Béla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Semmelweis Egyetem Sugárvédelmi Szolgálat, 1085 Budapest, Üllői út 26.

<sup>2</sup>Semmelweis Egyetem Nukleáris Medicina Központ, 1085 Budapest Üllői út 26.

\*tabagabi@gmail.com

A kézirat beérkezett: 2017.05.16.

Közlésre elfogadva: 2017.07.10.

*Introduction of new radiation protection regulation at the Semmelweis University and developments requested for introduction of new regulation.*

*Abstract. On the 1st of January 2016, the 487/2015. (XII. 30.) Govt. Decree came into force, which had submitted authority control of the protection against ionizing radiation under the Hungarian Atomic Energy Authority. The changes of the regulation affected on the 34 divisions of the Semmelweis University and also on the applied eye dose limits. The tasks of the Radiation Protection Service of the Semmelweis University are the professional support and oversight the radiation protection of the concerned divisions and implementation these changes of the regulations into the practice. By the necessity of the changes of the regulation the University has used a large amount of investment on the development of radiation protection service and on the quality control and expansion of radiation services.*

*The paper introduces all the developments and their practical implementations at the divisions of the University related to the changes of the regulations.*

*The measurement for the licensing procedures required a monitoring system were conducted with new methods, by the development of the OSJER laboratory. The TLD system allows the employees of the hospital to optimize medical techniques from the point of view of radiation protection. The radiation protection technical background allows safe introduction of new medical procedures like the method of radioembolisation with <sup>90</sup>Y, which is under authorization process and other combination of isotope therapy and translation research.*

*Keywords: 487/2015. (XII. 30.) Govt. Decree, Semmelweis University, radiation protection service*

***A Paksi Atomerőmű kapacitásának fenntartásával kapcsolatos beruházásról, valamint az ezzel kapcsolatos egyes törvények módosításáról szóló 2015. évi VII. törvény módosította előbb az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvényt, majd az egészségügyről szóló 1997. évi CLIV. törvényt. A változtatásoknak köszönhetően 2016. január 1.-től az ionizáló sugárzás elleni védelem (csaknem teljes egészében) átkerült az atomenergia-felügyeleti szerv hatáskörébe. Így az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről szóló 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet értelmében az OAH ellenőrzése alá került a hatósági ellenőrzési jogkör.***

***A szabályozás változása a Semmelweis Egyetem 34 önálló részlegét és az alkalmazott dóziskorlátokat is érintette. Az Egyetem Sugárvédelmi Szolgálatának feladata az érintett részlegek szakmai támogatása, sugárvédelmi felügyelete és a szabályozás módosításának átültetése a gyakorlatba. A jogszabályok módosítása során szükségessé vált nagy összegű beruházásokat az Egyetemen a sugárvédelmi szolgálat fejlesztésére, a sugárvédelmi szolgáltatás kibővítésére és a sugárvédelem minőségirányítási rendszerének kialakítására használta fel. Az alábbi cikkben bemutatásra kerül az Egyetem részlegeit érintő, a megváltozott szabályozással kapcsolatos valamennyi fejlesztés és azok gyakorlati megvalósítása.***

*Az engedélyezési eljárásokban megkövetelt monitoring rendszerhez szükséges méréseket új módszerek kidolgozásával, az OSJER sugárvédelmi laboratórium fejlesztésével valósítjuk meg.*

*Az újonnan bevezetett TLD rendszer segít az egyetemi dolgozóknak az orvosi technikák sugárvédelmi optimalizálásában.*

*Továbbá a sugárvédelmi technikai háttér lehetőséget nyújt új orvosi eljárások biztonságos bevezetéséhez is, úgymint az engedélyezési eljárás alatt álló  $^{90}\text{Y}$  izotóppal végzett radioembolizációs eljárás vagy a kombinált izotópos terápiák bevezetése, vagy a transzlációs kutatások fejlesztéséhez.*

**Kulcsszavak:** 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet, Semmelweis Egyetem, sugárvédelmi szolgálat

## BEVEZETÉS

A Paksi Atomerőmű kapacitásának fenntartásával kapcsolatos beruházásról, valamint az ezzel kapcsolatos egyes törvények módosításáról szóló 2015. évi VII. törvény módosította előbb az atomenergiáról szóló 1996. évi CXVI. törvényt, majd az egészségügyről szóló 1997. évi CLIV. törvényt. A változtatásoknak köszönhetően 2016. január 1.-től az ionizáló sugárzás elleni védelem (csaknem teljes egészében) átkerült az atomenergia-felügyeleti szerv hatáskörébe. Így az ionizáló sugárzás elleni védelemről és a kapcsolódó engedélyezési, jelentési és ellenőrzési rendszerről szóló 487/2015. (XII. 30.) Korm. rendelet értelmében az OAH ellenőrzése alá került a hatósági ellenőrzési jogkör.

A Semmelweis Egyetem (továbbiakban SE) 34 önálló részleggel rendelkezik és valamennyit mint kötelezettségvállalót érint a szabályozás változása. A Semmelweis Egyetem Sugárvédelmi Szolgálatának feladata az érintett részlegek szakmai támogatása, sugárvédelmi felügyelete és a szabályozás módosításának átültetése a gyakorlatba. Fontos, hogy az új rendszerek kialakítása teljes mértékben illeszkedjen az oktatás és gyógyítás már meglévő rendszereibe, amely az orvosi egyetem elsődleges feladatait képezi. Szem előtt tartva a biztonságos munkavégzésre vonatkozó követelményeket, a sugárvédelmi rendszerek és szabályozás kialakításánál arra törekedtünk, hogy a hatósági és a felhasználói igények összhangba kerüljenek és a tevékenységek sugárvédelmi szabályozása ne jelentsen jelentős többletterhet az alkalmazók számára.

## A SEMMELWEIS EGYETEM

A Semmelweis Egyetem 2017-ben hozzávetőlegesen 183 (SZMSZ 2017 organogram) önálló szervezeti egységgel rendelkezett, ebből 42 klinikát és 80 kutatóhelyet üzemeltetett. Ezen a területen kb. 7500 egyetemi munkavállaló és 1500 fő elsősorban MTA kutató dolgozik. Az ionizáló sugárzást alkalmazó engedélyes intézetek száma 32-35, ahol jelenleg 512 hatósági doziméterrel rendelkező személy dolgozik és további 1000 fő végez munkát az adott területen.

Az alkalmazási terület nagyon vegyes a képalkotástól a terápiáig, röntgen munkahelyek és kutató laboratóriumok mind megtalálhatóak az egyetemen. Az engedélyeseink közül 11 nyitott izotópokkal dolgozik. Évente kb. 135 000 fekvőbeteg és 2 000 000 járóbeteg ellátása történik az betegellátó részlegekben.

A Semmelweis Egyetem az atomenergia alkalmazásával kapcsolatos tevékenységének és feladatainak összehangolására Sugárvédelmi Szolgálatot hozott létre és biztosítja a működéséhez szükséges személyi és tárgyi feltételeket.

A Sugárvédelmi Szolgálat operatív vezetését a rektor 2015 februárjában az MSSZ-módosítást követően átruházta az Orvosszakmai Igazgatóságra. További MSSZ-módosítást követően a sugárvédelmi szolgálat operatív vezetését a Klinikai Központ vette át. A

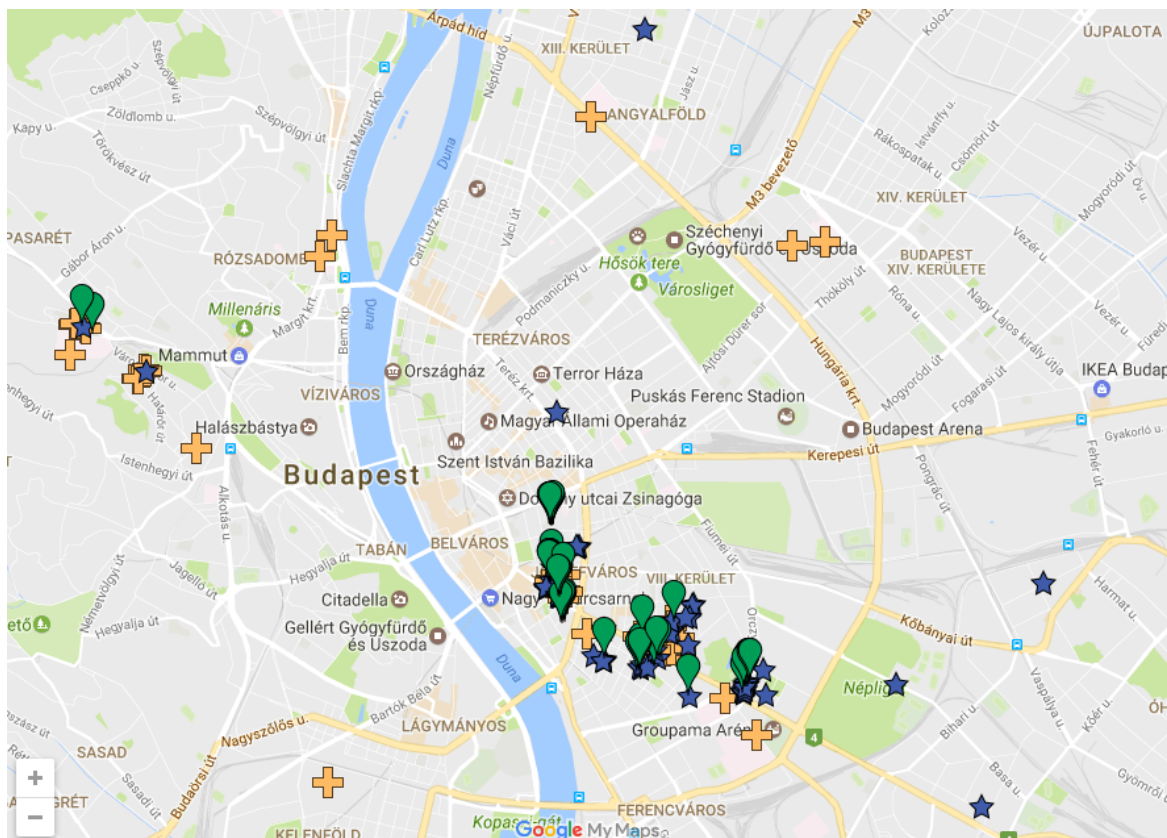
munkáltatói jogokat a sugárvédelmi szolgálatvezető felett a Klinikai Központ elnöke gyakorolja.

Az előírások betartása elsősorban a sugárzás alkalmazásáért felelős részlegek, az ún. engedélyesek feladata, beleértve az ellenőrzéseket, a védekezés és a képzés költségeinek fedezését, valamint a sugárveszélyes munkakörben dolgozók kedvezményeinek biztosítását.

A Szolgálat az ionizáló sugárzást a kutatásban és a gyógyításban felhasználó intézetek, klinikák, részlegek sugárvédelmi megbízottjaival tart kapcsolatot, összehangolja és segíti munkájukat.

### A részlegek működése

Az egyetemi részlegek decentralizált irányítási rendszerben működnek, lokális irányítással. Az ionizáló sugárzást alkalmazó szervezetek az ipari alkalmazáson kívül gyakorlatilag lefedik az oktatásban és gyógyításban használt tevékenységeket. 2015-ben a kancellária rendszer bevezetésével és a sugárvédelmi területen 2016-ban módosult jogszabályok következtében változások történtek a centralizáltabb irányítás felé. A jogszabályok módosítását és az Egyetemen történt nagy összegű beruházásokat a sugárvédelmi szolgálatfejlesztésekre, a sugárvédelmi szolgáltatás kibővítésére és a sugárvédelmi minőségirányítási rendszer kialakítására használták fel.



1. ábra: Semmelweis Egyetem részlegei: betegellátó egységek, oktató, kutató részlegek és központi irányító egységek [Google Maps]

### FEJLESZTÉSI SZEMPONTOK

A fejlesztések során elsősorban az alábbi szempontokat tartottuk szem előtt:

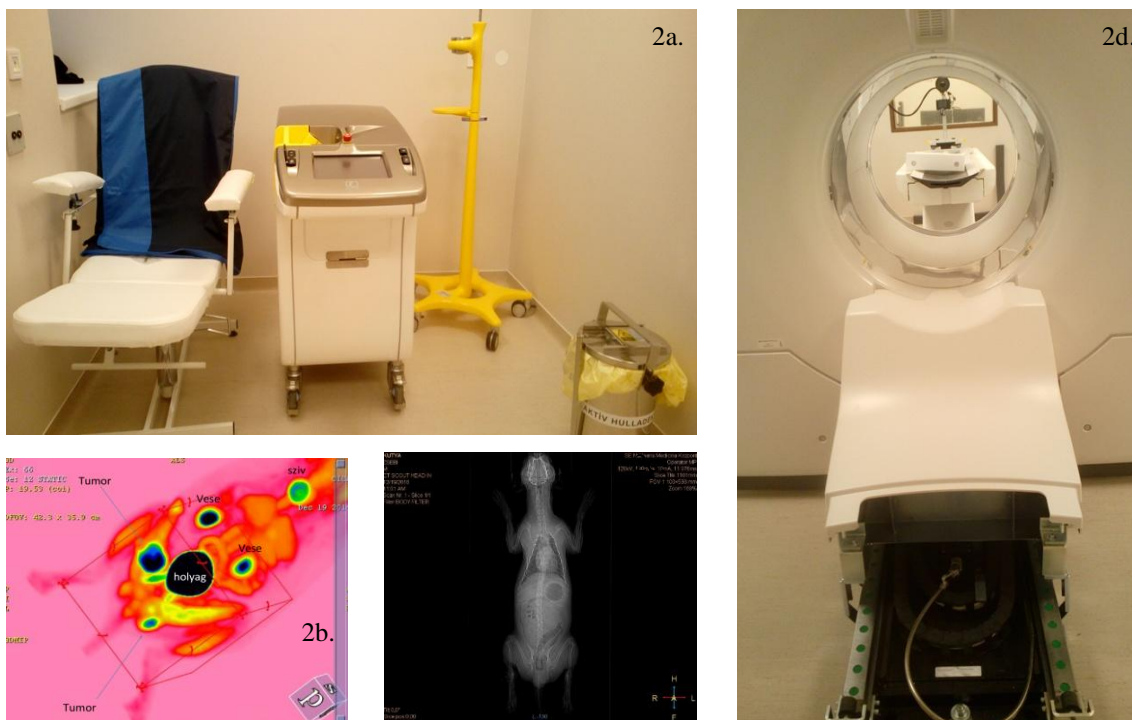
- egységesíteni a sugárvédelmi szabályozást az egyetem részlegei között;

- a részlegek új engedélyeztetési eljárásait és a követelményrendszert úgy átvezetni, hogy ne akadályozzák a betegellátást (ennek folyamatyaként a közbeszerzési eljárásokban, pályázatokban való részvétel szükséges);
- egyes részlegeknél történő fejlesztési beruházásokat úgy kialakítani, hogy a többi (nem fejlesztet részleg) is integrálható legyen a fejlesztett rendszerbe (részlegek közötti kompatibilitás);
- centralizálni és fejleszteni a sugárvédelmi nyilvántartást és szakmai támogatást úgy, hogy minél több terhet vegyünk le a részlegekről, beleértve az anyagi kiadásokat is;
- Az új 487/2015. (XII. 30.) kormányrendelet szerinti engedélyek dokumentációját úgy kialakítani, hogy integrálódjon az egyetemen működő operatív szolgáltatások rendszerébe, úgymint: környezetvédelem, hulladékkezelés, betegbiztonság, kórházhigiéna és egészségügyi minőségbiztosítás területekkel.

2016 végére a fenti szempontokat figyelembe véve az egyetemen 8 részleg sugáregészségügyi engedélyre lett megújítva.

## NAGY ÖSSZEGŰ BERUHÁZÁSOK

A nagy összegű, 1,5 milliárdos PET-CT fejlesztésnél a sugárvédelmi rendszeren belül beszerzésre került egy TLD dozimetriai rendszer, amely nem csak a PET-CT munkavállalók számára elérhető, hanem az intervenció radiológia, szív- és érsebészek számára is biztosít kéz- és végtag-dozimetriai ellenőrzést.



2. ábra: Baloldali felső kép. KARL 100 automata izotóp beadó rendszer, Baloldali alsó kép. Macska PET scan képe, Alsó középső. Macska PET-CT kép, Jobboldali. GE PET-CT gyűrű és vizsgáló asztal [saját forrás]



3. ábra: RadPro TLD rendszer kiolvasóval és kalibráló egység [saját forrás]

További sugárvédelmi szolgáltatás a „Szakértői szolgáltatások” nyújtása a részlegeknek, amelynek keretén belül a részlegeket nem terhelik a külső szakértői tiszteletdíj és tervezői költségek, továbbá dokumentációjuk kompatibilis az operatív egységek követelményeivel.

## OSJER LABORATÓRIUM

Az OSJER laboratórium az Országos Sugárfigyelő, -jelző és Ellenőrző Rendszer keretein belül az Emberi Erőforrás Minisztériummal kötött szerződés alapján a Nukleáris Medicina Központ egyik telephelyén működik. Az OSJER laboratóriumot jelöltük ki egyetemi sugárvédelmi laboratóriumnak. A sugárvédelmi laboratórium kialakítása a 2016. évben kezdődött egy LSC (Folyadék szcintillációs spektrométer) berendezés beszerzésével, majd további fejlesztések történtek a PET-CT központ közbeszerzés keretein belül, ahol a TLD rendszert sikerült megvásárolni. A fejlesztések egy részét a már meglévő OSJER laboratóriumnal és annak műszerállományával együtt sikerült összehangolni. A jelenlegi OSJER sugárvédelmi laboratórium felszereltsége alkalmas lett nem csak a vészhelyzeti szituációk és rutin ellenőrzések ellátására, hanem kiterjedt a belső sugárterhelési mérésekre (pajzsmirigy- és vizeletvizsgálatok) és radioaktív hulladék analitikai vizsgálatára is. A TLD rendszerrel az új szabályozásban előírt 20 mSv/év szemdózis-korlát betartását is ellenőrizni tudjuk.

### *Az OSJER laboratórium fejlesztése*

Az OSJER laboratórium fejlesztésével lehetővé váltak a belső sugárterhelési vizsgálatok és létrejött a hulladékok vizsgálatához szükséges analitikai háttér. Csak a 2016-os év folyamán 3 esetben, telephelyen belüli talált radioaktív hulladéknál segítettük a részlegeket, így nem kellett külső együttműködő laboratóriumot bevonni. A fejlesztések közé tartozik a radioaktív hulladékok analitikai vizsgálatának módszertani fejlesztése is. Elsősorban a nehezen meghatározható lágy béta sugárzókat ( $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ) tartalmazó fertőző laboratóriumi hulladékok (állati alom, szövet, feldolgozott szövetminták, széklet stb.) analitikáját fejlesztettük.





4. ábra. OSJER laboratórium [saját forrás]

## MÓDSZEREK KUTATÁS-FEJLESZTÉSE, JÁRTASSÁGI VIZSGÁLAT

Az OSJER sugárvédelmi laboratórium kialakítása több szükséges fejlesztést igényelt. Az új engedélyeztetési rendszerben a felhasználóknak be kell vezetniük a baleseti szituációra és a belső terhelésekre vonatkozó monitoring rendszerüket és mérési módszereiket. Ez az egyetemen az „újrendszeres” engedélyesek közül 4 részleget érintett. A vizsgálati módszereket az egyetemen található eszközpark felszámolásával lehet csak megoldani, elsősorban az OSJER sugárvédelmi laboratórium bevonásával.

A leggyorsabb és legköltséghatékonyabb technika az LSC készülék.

Az LSC használatához szükséges minta-előkészítésre és mintavételre módszer kifejlesztésére volt szükség. A belső sugárterhelés vizsgálatoknál be kellett vezetni azokat a vizeletvizsgálatokat, melyek a korábbi és az új alkalmazásokban használ izotópok meghatározására alkalmasak.

A fejlesztési módszereknél az integrált vizsgálati eljárásokat alkalmaztuk, amelyek lényege, hogy már meglévő érvényes szabvány szerinti minta-előkészítést vagy mintavételi eljárást alkalmazunk egy másik nem izotópos területről (pl. veszélyes hulladék) és azt a módszert módosítjuk a vizsgálandó radioizotóp kémiai/fizikai tulajdonságaitól függően.

Így dolgoztuk ki a [1,2,3] (Waterquality - Determination of carbon 14 activity) módszerek integrálásával azt az egyedi módszert, amely alkalmas az egyetemen kutatásból és betegellátásból származó  $^{14}\text{C}$  tartalmú hulladék mintavételére, a minta előkészítésére és vizsgálatára. Hasonlóan jártunk el az állatkísérletekből származó hulladék alfasugárzó  $^{223}\text{Ra}$  tartalma esetében is.

Az integrált vizsgálati módszerfejlesztést alkalmazzuk a talált radioaktív hulladékok vizsgálatánál, specifikálva a talált radioaktív izotópra. Törekszünk az egyszerű, és gyors, kisebb kémiai előkészítési eljárást igénylő technikák alkalmazására. A vizsgálati módszereink nagyobb (20-50%) mérési bizonytalansággal rendelkeznek, de alkalmazásuk az adott területen elfogadható, mivel célja a gyors és olcsó eredmény, amely alapján az adott szituációban a szolgálat dönteni tud a további teendőkről, adott esetben külső laboratórium bevonásáról. [4]

Belső sugárterhelés vizsgálatok közül egyedi módszert fejlesztettünk ki az alábbi vizsgálatokra: béta-sugárzók vizeletvizsgálata, elsősorban  $^3\text{H}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{32}\text{P}$ ,  $^{35}\text{S}$ ,  $^{177}\text{Lu}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$  izotópokra. Ezeket a vizsgálatokat elsősorban baleseti vagy szennyeződés gyanú esetén alkalmazzuk. [5]

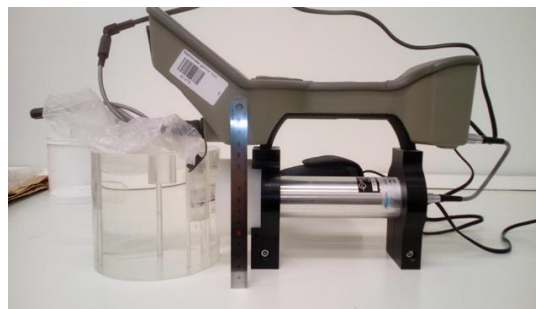
A vizsgálatok közül csak a jód-terápiás alkalmazásnál, a  $^{131}\text{I}$  vizsgálatot végezzük a rutin monitoring rendszeren belül. A méréshez egy inkorporációs eseménynél használt mérési technikát alkalmazzuk. [6]

A rutin monitoring rendszerünket és a dózisszámításainkat az IDEA elvek szerint és a nemzetközi ajánlások alapján terveztük meg.

A pajzsmirigy-méréssel részt vettünk a CATHyMARA (Child and Adult Thyroid Monitoring After Reactor Accident) Thyroid Measurement inter-comparison nemzetközi összemérésben is, amelynek kiértékelése folyamatban van.



5. ábra: Az összemérésnél alkalmazott mérési geometria hagyományos pajzsmirigymérővel [saját forrás] Baloldali kép. az alkalmazott mérési geometria saját kalibrációs nyak fantommal, jobboldali kép CATHyMARA összemérés nyakfantom



6. ábra: Az összemérésnél alkalmazott mérési geometria hordozható BNC (LaBr det.) spektrométerrel [saját forrás]

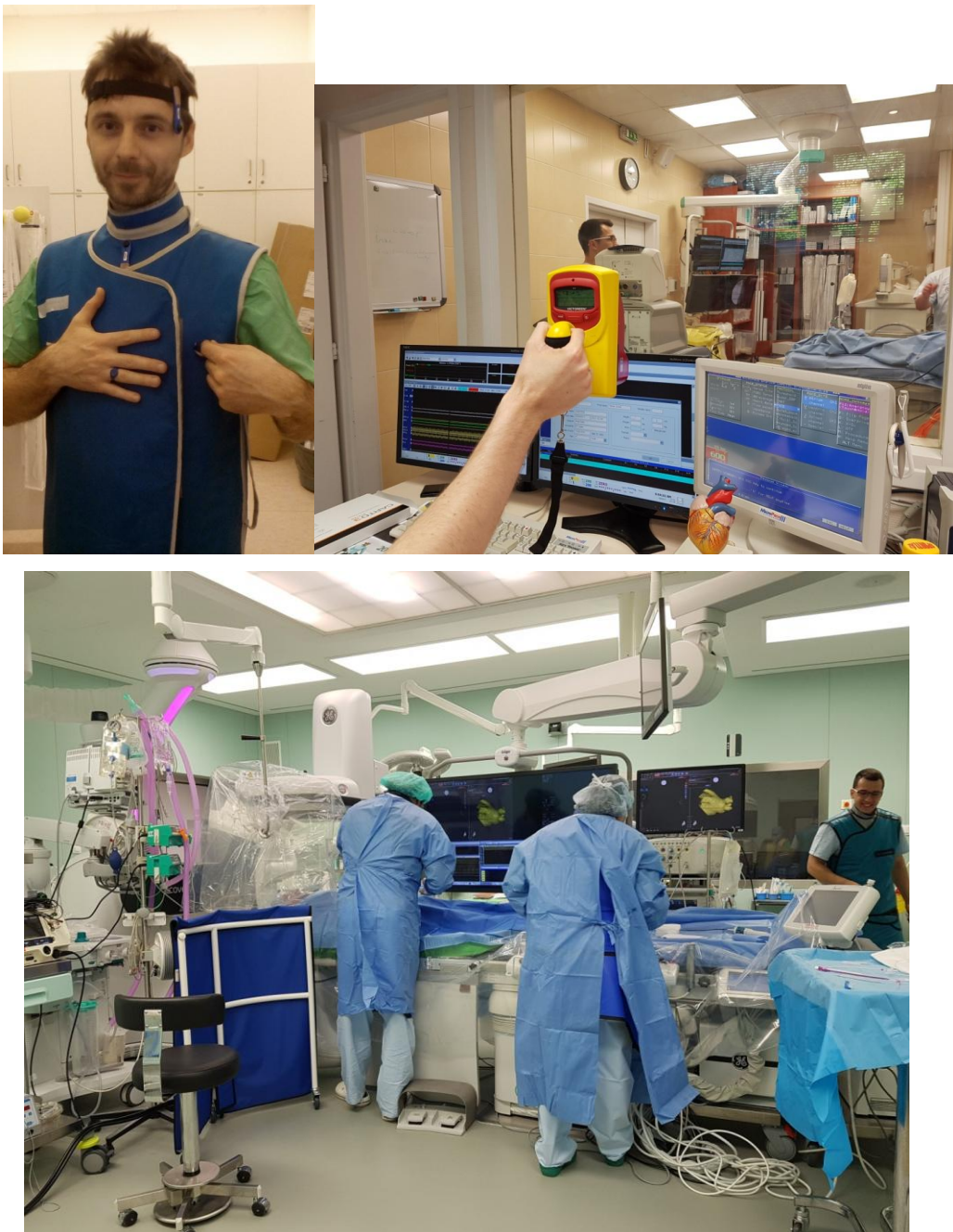
Azokra az izotópokra, amelyekre belső sugárterhelési vizsgálat nem lehetséges vagy megbízhatatlan eredményt adna, levegő mintavétellel próbálunk levegő aktivitáskoncentrációt mérni és ebből inhalációs dózist becsülni. Ezt a módszert a  $^{223}\text{Ra}$  állatkísérletekbe való bevezetésnél alkalmaztuk [4].

## SUGÁRVÉDELMI FELADATOK

Az OSJER sugárvédelmi laboratórium műszaki háttérével az egyetemi dolgozók számára a sugárvédelmi szolgálat az alábbi szolgáltatásokat tudja biztosítani: szakértői feladatok

ellátása, tervezés, monitoring rendszerek megtervezése és ehhez kapcsolódó mérések elvégzése, a keletkezett radioaktív hulladék analitikai vizsgálatainak elvégzése, környezeti ellenőrző mérések, mentesítési eljárások és ehhez kapcsolódó analitikai vizsgálatok elvégzése, résztest-dozimetriai ellenőrzések (kéz, szem), TLD dozimetriai mérések elvégzése egy-egy orvosi beavatkozás optimalizálásához (röntgen és nukleáris medicina területen).

Fontos, hogy a munkavállalók minél aktívabban be legyenek vonva a sugárvédelmi tevékenységbe, ezért helyszíni mérések során oktatással és játékos gyakorlatokkal próbáljuk bemutatni a sugárvédelmi mérések eredményeit és alkalmazását. A leghatékonyabb technikának a közös dózisteljesítmény/dózismérések bizonyultak. Az orvosok saját maguk térképezhetik fel a munkaterületük dózisviszonyait és tapasztalhatják meg a védőeszközök hatékonyságát. Ezeknél a méréseknél próbáljuk a TLD ellenőrző rendszert is bevezetni a gyakorlatba.



7. ábra: Intervenciós beavatkozások (hybrid műtő) végzése és TLD kipróbálás közben. [saját forrás]

## SUGÁRVÉDELMI SZAKÉRTŐI FELADATOK

A kormányrendelet-módosítás előtt a részlegek önállóan intézték a sugáregészségügyi engedélyüket. Ennek következtében azok a részlegek, amelyek nem akartak kooperálni az Egyetemi Sugárvédelmi Szolgálattal, külső szakértők szolgáltatását vették igényben. A sugárvédelmi szabályzatot a helyi megbízott vagy a külső szakértő írta, azonban sajnos többnyire nem voltak kompatibilisek az egyetemi operatív szolgáltatások szabályaival (pl. környezetvédelem és hulladékkezelés). A szabályzatok csak az engedélyhez szükséges minimumot tartalmazták. Ennek megfelelően rendszeresen kaptunk kérdéseket a munkavállalóktól a sugárvédelmi besorolásuk, illetve a doziméter viselésének szükségességét illetően, mert a dokumentumok többsége erre vonatkozóan nem tartalmazott információt.

Az egyetemi decentralizált rendszer nem adott lehetőséget a részlegek függelmi viszonyának kialakítására, mivel a belső szabályozás szerint csak adatszolgáltatási kötelezettséggel tartoztak a Sugárvédelmi Szolgálat és az egyetemi vezetés felé. A rendeletmódosítását követően az egyetemi részlegek sugárvédelmi szakértő bevonása nélkül nem tudják végigvezetni a hatósági engedélyüket. Az Egyetemi Sugárvédelmi Szolgálat biztosított nekik sugárvédelmi szakértői támogatást. A dokumentációkat egységesen próbáltuk kialakítani a fent felsorolt szempontrendszer alapján. A szolgálat készített egy sablon engedélyt, amelyben a részlegek az adataikat kitöltve megadják a tervezéshez szükséges paramétereket. A szolgálat elkészíti az engedélyhez szükséges dokumentációt és elvégzi a helyszíni méréseket. Majd elindítja az engedélyezési eljárást és koordinálja. Ezek a feladatok jelentősen leterhelték a szolgálatot, de az átvezetett részlegek azóta sokkal átláthatóbban és szabályozottabban működnek. Sikeres volt a sugárvédelmi minőségbiztosítási rendszer egységes formában történő bevezetése is, amelynek lényege az éves ellenőrző kérdéssor bevezetése. Ennek összeállításánál törekedtünk nem csak 487/2015. (XII. 30.) kormányrendeletnek való megfelelésre, hanem a páciens sugárvédelmére vonatkozó pontok bevezetésére is. A minőségirányítási szempontok bevezetése az éves általános minőségirányítási auditoknál pozitív elbírálást jelentett az részlegek számára. Előreláthatólag 2020 az részleg átvezetésének tervezett átadása, rendszerbe állítása. 8 részlegnél már jelenleg is működik, valamint további 2 részleg kialakítása van folyamatban. A szolgálat 2 esetben külső megrendelőnek is nyújtott sugárvédelmi szakértői szolgáltatást.

## ÖSSZEGRZÉS

A cikkben bemutatásra került az elmúlt évek hazai sugárvédelmi szabályozásának gyakorlati megvalósítása és tapasztalatai a Semmelweis Egyetemen. Az új sugárvédelmi szabályozás bevezetése sok változást és folyamatos fejlesztést követelt. Újdonság a sugárvédelmi minőségbiztosítási rendszer bevezetése és a dóziskorlát-módosítás.

Az új kormányrendeletben módosult részttest-dóziskorlát csökkentést TLD rendszer bevezetésével próbáljuk ellenőrizni. A TLD rendszer lehetőséget nyújt az egyetemi dolgozóknak az orvosi technikák sugárvédelmi optimalizálásához. Az engedélyezési eljárásokban megkövetelt monitoring rendszerhez szükséges méréseket az OSJER sugárvédelmi laboratórium fejlesztésével és új módszerek kidolgozásával oldjuk meg.

A sugárvédelmi technikai háttér lehetőséget nyújt új orvosi eljárások biztonságos bevezetéséhez is, mint az  $^{90}\text{Y}$  izotóppal végzett radioembolizációs eljárás (folyamatban) vagy a kombinált izotópos terápiák bevezetése, továbbá a translációs kutatások fejlesztésére.

**IRODALOM**

- [1] IAEA TECDOC 1537,
- [2] MSZ 21978-1 (Veszélyes hulladékok vizsgálata),
- [3] ISO 13162:2011 (Waterquality - Determination of carbon 14 activity)
- [4] Taba Gabriella, Dr. Kári Béla, Dr. Garai Ildikó, Szűcs Éva, Árva Ferenc, Dr. Máthé Domokos: Alfaterápiás készítmények manipulálása és az in vivo műveletek tervezése sugárvédelmi szempontból, ÖRN 2015 előadás
- [5] Sugárvédelmi füzetek: Trícium belső sugárterhelés meghatározása vizelethől
- [6] Bodor Károly, Taba Gabriella, Remeli Anton, Földi Anikó, Kocsonya András, Beleznai Péter, Harangozó Imréné: <sup>125</sup>I inkorporációs esemény vizsgálata, Sugárvédelem, VII. évf. (2014) 1. szám. 1–9

**RÖVIDÍTÉSJEYZÉK**

- OAH: – Országos Atomenergia Hivatal
- OSJER: – Országos Sugárfigyelő, -jelző és Ellenőrző Rendszer
- TLD: – Termolumineszcens Doziméter,
- SE: – Semmelweis Egyetem
- SZMSZ: – Szervezeti Munkahelyi Szabályzat
- MTA: – Magyar Tudományos Akadémia
- PET-CT: – Pozitron Emissziós Tomográf és a Computer Tomográf módszereinek egyesítése
- LSC: – Folyadék szcintillációs spektrométer
- IDEA: – Internal Dosimetry – Enhancements in Application
- CATHyMARA: – Child and Adult Thyroid Monitoring After Reactor Accident, Thyroid Measurement inter-comparison

A pályamű a SOMOS Alapítvány támogatásával készült

## PAJZSMIRIGY DÓZIS MEGHATÁROZÁSA BALESETI HELYZETBEN

Pántya Annamária\*, Andrási Andor, Pázmándi Tamás, Zagyvai Péter  
Magyar Tudományos Akadémia Energetikai Kutatóközpont  
1121, Budapest, Konkoly Thege Miklós út 29-33  
\*pantya.anna@energia.mta.hu

A kézirat beérkezett: 2017.05.22.

Közlésre elfogadva: 2017.08.18.

### *Thyroid dose estimation in reactor accident situation*

*Abstract - A severe reactor accident can cause major release of a complex mixture of radionuclides. Following a nuclear accident the evacuated or relocated population is expected to be individually monitored for determining their received dose. The CATHYMARa project focuses on post-accident  $^{131}\text{I}$  measurement in the thyroid of affected population, particularly for children. Monitoring strategies are aimed to distinguish between cases of children and adults, required capabilities and existing gaps are revealed by reviewing the results of two European intercomparison runs. Further important part is the development of emergency oriented dose assessment methods. The main outcome of the project will be the release of guidelines based on practical experience and the comparison of existing and required means.*

*thyroid, iodine-131, reactor accident, iodine prophylaxis, dose estimation*

**Kivonat.** *Súlyos reaktorbalesetek esetén radionuklidok komplex elegye nagy mennyiségben kerülhet a levegőbe. Jelentős környezeti kibocsátás esetén indokolt lehet a környezetben élő lakosság tagjainak monitorozása, dózisának becslése. A kezdeti időszakban a lakosság sugárterheléséért elsősorban az illékony jódizotópok a felelősek. Ezért a CATHYMARa projekt az emberi pajzsmirigyben dúsuló  $^{131}\text{I}$  izotóp mérésére összpontosít, különös tekintettel a gyermekek sugárterhelésének meghatározására. A munka során a gyermekek és a felnőttek közötti különbségek felderítésére koncentráltunk, ennek érdekében különböző életkoroknak megfelelő fantomokat használtunk, az eredmények pontosságának és megbízhatóságának növelése érdekében a projekt keretében nemzetközi összeméréseket szerveztünk. A projekt fontos részét képezte a veszélyhelyzeti dózisbecslés módszerének fejlesztése. A program legfontosabb eredménye a gyakorlati tapasztalatokat összefoglaló útmutató lesz.*

*pajzsmirigy, jód-131, reaktorbaleset, jód profilaxis, dózisbecslés*

### BEVEZETÉS

Súlyos reaktorbalesetek alkalmával radionuklidok komplex elegye nagy mennyiségben kerülhet a levegőbe. Ilyenkor szükséges lehet a kibocsátás környezetében élő lakosság tagjainak egyenkénti megfigyelése az őket ért sugárterhelés minél pontosabb becslése érdekében. Ezeknél a balesetknél a kezdeti időszakban a lakosság belső sugárterheléséért elsősorban az illékony jódizotópok a felelősek [1][2].

A csernobili atomerőmű balesete után számos lakos kapott akár az 1 Gy-t elérő dózist a radioaktív jód felvételtől, ennek következtében több mint 6000 pajzsmirigyrákos esetet regisztráltak azok körében, akik a baleset idején kisgyermekek voltak [3] [4]. A fukushimai atomerőmű balesete után a vészhelyzeti dolgozóknál a lekötött effektív dózis 98%-át a

radiojód inhalációja okozta. A baleset után 1080, 18 éven aluli gyermek pajzsmirigyét vizsgálták hordozható NaI(Tl) detektoros berendezéssel. A vizsgálatokhoz használt mérőeszközök között olyan, nem hitelesített eszközök is voltak, amelyeket csak a baleset után kalibráltak. A kisgyermek mérésére nem állt rendelkezésre hitelesített mérőberendezés, csak néhány hónappal később lett elérhető az úgynevezett Babyscan [5][6][7].

A csernobili baleset után pár évvel Fehéroroszországban a gyermekek monitorozására kifejlesztett egyedi hordozható mérőrendszer sajnálatos módon Európában nem tudott elterjedni [8]. Számos országban sem speciális méréstechnika, sem egyedi kalibrációs és kiértékelési módszer nem áll rendelkezésünkre máig sem a gyermekek monitorozására baleseti helyzet esetén.

Az Európai Unió által finanszírozott CATHyMARA (Child and Adult Thyroid Monitoring After Reactor Accident) nemzetközi kutatási projekt fő célja egy nagyobb radioaktív kibocsátással járó baleset által okozott belső sugárterhelés mérési módszereinek kidolgozása volt, különös tekintettel a jódizotópok (elsősorban a  $^{131}\text{I}$ ) által gyermekekben okozott pajzsmirigydózis pontos meghatározására [9].

## A PROJEKT CÉLJA

Jelentős környezeti kibocsátással járó baleseti szituációban az egyes védelmi intézkedéseket az új nemzetközi ajánlás [10] szerint kétféle dózis alapján határozzák meg: az intézkedések nélkül a jövőben várható dózissból (projected dose), illetve a balesetben érintett lakosság tagjai által már elszennvedett dózissból (received dose). A teljes testre és az egyes szervekre vonatkozó belső sugárterhelés közvetlenül nem mérhető. A terjedésszámítás eredményeiből és a környezeti mérésekből lehetséges a dózissokra következtetni, azonban a környezeti modellek bizonytalansága és a rendelkezésre álló környezeti mérési adatok szűkössége, valamint az egyénenként eltérő életviteli és táplálkozási szokások miatt a megbízható dózisbecslés érdekében kulcsfontosságú a lakosság egyes tagjainak megfigyelése, indokolt esetben a hosszabb idejű nyomon követése.

A megelőző és követő óvintézkedések tervezése során számos tényező figyelembevétele szükséges, a radioaktív jód felvételének monitorozása során ezek közül a legfontosabbak:

- hány fő monitorozása valósítható meg 1 nap alatt,
- ki fogja elvégezni a méréseket,
- lehetséges-e az emberek helyszíni monitorozása,
- szükségesek-e speciális eszközök és/vagy kalibráció a gyerekek részére,
- hogyan vehető figyelembe a jód profilaxis hatása,
- hogyan értelmezhetők a mérési adatok a belső dózis számításához.

A fenti kérdésekre adott válaszok alapján határozhatóak meg a hiányosságok a mérési módszerekben és a dózisbecslésben. A projekt célkitűzéseit a következő pontokban határozták meg:

- fel kell mérni a pajzsmirigy monitorozásra alkalmas detektorokat,
- össze kell hangolni a mérések kivitelezését a különböző lakossági csoportok monitorozása esetén,
- összefoglaló értékelést kell készíteni a  $^{131}\text{I}$  mérésekből végzett dózisszámításokhoz,
- fejleszteni kell a baleseti szituációban végezhető dózisbecslés módszereit,
- meg kell alkotni az optimális, egységesen alkalmazható mérési stratégiát a belső sugárterhelés monitorozására,
- ajánlásokat kell megfogalmazni a további technikai fejlesztésekre.

A másfél évig tartó munka 7 munkacsoportban folyt [11], ezeket az 1. táblázat foglalja össze, intézetünk a WP2, WP3, WP6, és WP7 munkacsoportokban vett részt. A projekt keretében

végzett munka során elért eredményekről a közeljövőben várható egy összefoglaló cikk megjelenése, jelen cikkünkben az összemérések és a dózisbecslés területén elért saját eredményeinket mutatjuk be.

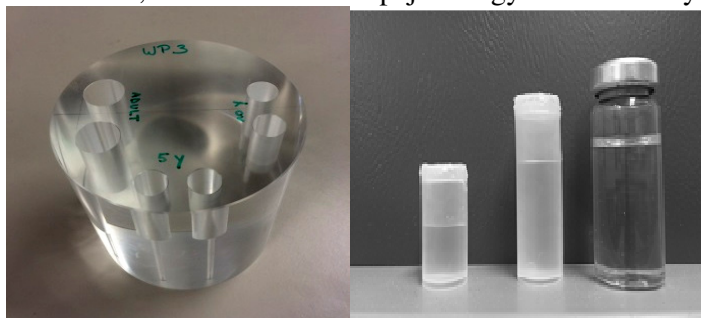
1. táblázat: A CATyMARA projekt munkacsoportjai

	Megnevezés	Feladatkörök
WP1	Irányítás, menedzsment	Mérföldkövek és költségek követése.
WP2	A jelenleg alkalmazott koncepciók és mérési ajánlások áttekintése	Nemzetközi ajánlások feldolgozása. Az egyes országok gyakorlatának felmérése kérdőívekkel.
WP3	Összemérés szervezése mobil mérőrendszerrel	A szükséges pajzsmirigy fantom elkészítése, köröztetése a résztvevők között. Mérőrendszerek és mérési adatok összegzése.
WP4	Összemérés szervezése gyors, spektrometriai mérésekre nem alkalmas eszközökkel	A csoportban ugyanazok a feladatok voltak, mint a WP3-ban.
WP5	Monte Carlo modellszámítások	Reális pajzsmirigy modell készítése, amely figyelembe veszi az életkort is.
WP6	Dózisbecslés	Módszer továbbfejlesztése és együtthatók meghatározása az elnyelt pajzsmirigy dózis és az effektív dózis számítására.
WP7	Irányelvek kidolgozása és a tapasztalatok megosztása	Összefoglaló tanulmány készítése a munkafázisok eredményeinek felhasználásával.

## ÖSSZEMÉRÉS

A projekt keretében szervezett összemérésben az MTA EK is részt vett. A méréseket a többi résztvevőhöz hasonlóan egy hordozható, baleseti helyzetben is használható pajzsmirigy mérővel végeztük el.

A mérésekhez alkalmazott nyak fantom egy plexiüveg henger volt 13 cm átmérővel és 12 cm magassággal, továbbá három, különböző méretű pajzsmirigy szimuláló lyukpárral.



1. ábra: Az összemérés során használt pajzsmirigy fantom és a hozzá való kivetták

A lyukpárok mérete eltérő, hogy az 5 és 10 éves gyermekek, valamint a felnőttek pajzsmirigy méretét imitálja. A mérendő aktivitások két-két fiolába voltak töltve. Az egyes fiolák folyadék formátumú  $^{133}\text{Ba}$  izotópot tartalmaztak. A különböző méreteket és töltöttségüket a 2. táblázatban ismertetjük.



2. táblázat: A pajzsmirigy fantomba tehető fiolák geometriai paramétereit és töltöttség

Fiolák	Magasság (mm)	Átmérő (mm)	Töltöttség (ml)
5 éves gyermek	3,2	1,35	3,2
10 éves gyermek	5	1,4	7,5
Felnőtt	5,8	2	19

A  $^{133}\text{Ba}$  izotóp gamma-vonalai hasonló energiájúak, mint a  $^{131}\text{I}$  izotóp vonalai (3. táblázat), azonban felezési ideje jóval hosszabb, így egy több hónapig tartó összemérés során használata célszerűbb. A  $^{133}\text{Ba}$  276,4 keV-es gamma-vonalának hozama közel azonos, mint a  $^{131}\text{I}$  284,3 keV-es vonalé, a  $^{131}\text{I}$  364,5 keV-es főcsúcsának energiája pedig a  $^{133}\text{Ba}$  356,0 keV-es főcsúcsának energiájával azonosítható, bár utóbbi gamma-gyakorisága valamivel kisebb. Szcintillációs detektorokkal felvett spektrumokban a  $^{133}\text{Ba}$  csúcsai nem válnak mind szét, általában csak a három legintenzívebb csúcs (81 keV, 303 keV, 356 keV) különíthető el vizuálisan.

3. táblázat: A  $^{133}\text{Ba}$  és  $^{131}\text{I}$  energiái és gamma-gyakoriságuk, a felezési idő 10,51 év és 8,02 nap

Energia (keV)	Gamma-gyakoriság (%)
$^{133}\text{Ba}$	
80,99	34,06
276,40	7,16
302,85	18,33
356,01	62,05
383,85	8,94
$^{131}\text{I}$	
284,31	6,14
364,49	81,70
636,99	7,17

Az összemérés során az abban résztvevők a rutin mérési eljárásokat használták, és csupán egyszer mérték meg a mintákat, ahogy azt valós baleseti helyzetben is tennék, a megfelelően csekély statisztikus hibához szükséges minimális mérési időt használva. A méréseket a Gamma Műszaki Zrt. által készített NDI65 típusú NaI(Tl) detektorral végeztük. A detektor nem sokkal az összemérés előtt került beszerzésre, így a mérések megkezdése előtt energia és határfok kalibrációt is kellett végeznünk, melyhez a MultiAct szoftvert használtuk [12]. Az energia kalibrációhoz  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{133}\text{Ba}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  pontforrásokat használtunk, a teljesenergia-csúcsok azonosításával a pontos energiák ismeretében meghatározzuk a gamma-energia-csatorna függvényét. A határfok kalibrációhoz a laboratórium rendelkezésére álló saját pajzsmirigy fantomunkat használtuk [12], ez is plexiből készült fantom, azonban csak egy, felnőttek pajzsmirigyét modellező (kb. 20 ml-es) üreggel van ellátva. Három küvetába különböző aktivitású  $^{131}\text{I}$  izotópot töltöttünk, ezek megméréseivel a teljesenergia-csúcs intenzitásából az ismert képlet (1) alapján számítottuk ki a  $^{131}\text{I}$  364,49 keV energiájára és az adott mérési geometriára vonatkozó határfokot.

$$A = \frac{N}{t \cdot \eta \cdot f_g}$$

ahol

A: a minta aktivitás

N: a mért nettó csúcsterület

t: a mérési idő

$\eta$ : a mérési geometriához tartozó hatásfok

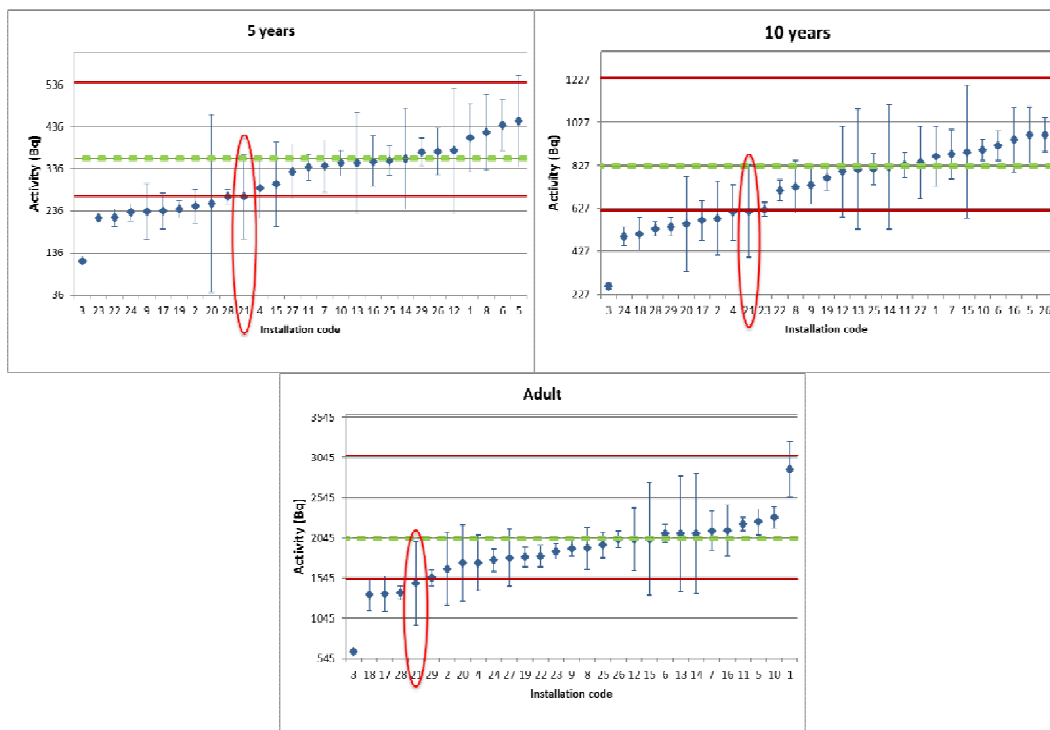
Az összemérés során 2000 s-os mérési időt alkalmaztunk, ami a kis aktivitások miatt indokolt volt, ugyanakkor egy gyermek mérése esetén, illetve valós baleseti helyzetben rövidebb mérési idő válhat szükségessé. Ennek meghatározása a pillanatnyi mérési körülmények mérlegelése alapján lehetséges, figyelembe véve például a háttér értékét és a mérésre várók számát is. Az összemérés során mért aktivitásokat a  $^{133}\text{Ba}$  felezési idejével a referencia dátumra (2016.01.01) vissza kellett számolni. A hatásfok kalibráció csak a felnőtt pajzsmirigy esetén ad valóban pontos hatásfokot, de más adat híján a kisebb pajzsmirigy méretek esetén is ezt a hatásfokot használtuk.

A méréseket 2016. augusztus 25-én végeztük a mérések kiértékeléséhez a spektrumban ROI-k (region of interest) segítségével kijelöljük a csúcst és meghatározzuk a nettó csúcsterületet. A mérési időt, a gamma-gyakoriságot és a geometriára meghatározott hatásfokot felhasználva számítjuk ki ((1) képlet) az ismeretlen aktivitást, a mérési eredményeket és a referencia értékeket a 4. táblázatban foglaltuk össze.

4. táblázat: Az összemérésre beküldött adataink, eredményeink összehasonlítva referencia értékekkel

	5 éves	10 éves	felnőtt
Mérési dátum	2016.08.25.	2016.08.25.	2016.08.25.
Mérési idő	2000 s	2000 s	2000 s
Detektor távolság	4,5 cm	4,5 cm	4,5 cm
Aktivitás $\pm$ bizonytalanság (Bq)	270 $\pm$ 100	615 $\pm$ 215	1480 $\pm$ 520
Referencia értékek $\pm$ hiba (Bq)	361,8 $\pm$ 0,7	823,6 $\pm$ 1,6	2046,5 $\pm$ 4,1
Eltérés (%)	-25	-25	-28

Ezzel az eredménnyel a kb. 30 laboratórium részvételével zajlott összemérésben a középmezőnybe tartozunk. Az összemérésben részt vett laboratóriumok eredményeinek összesítése látható a következő ábrán, kiemeltük az MTA EK adatait. Az eredményt egy új detektor és mérőrendszer első alkalmazása során értük el. Az összemérés jósági kritériuma az volt, hogy a jelentett aktivitás mennyire egyezett meg a minta tényleges aktivitásával. Ennek alapján a mi eredményünk még éppen elfogadható, azonban ez az eltérés valójában számunkra kedvező, mivel a kiértékeléshez nem a ténylegesen jelenlévő  $^{133}\text{Ba}$ , hanem a helyettesített  $^{131}\text{I}$  adatait (hatásfok és -gyakoriság) használtuk. Megjegyezzük, hogy pusztán a tapasztalt eltérés mértéke szerint nem célszerű rangsorolni a közreműködőket, hiszen a vizsgált és valóban vizsgálandó radionuklidok mérés technikai sajátosságai nem azonosak.



2. ábra: Az összemérésben résztvevő laborok eredményeinek ábrázolása, kiemelve az MTA EK eredményeit

## DÓZISBECSLÉS

A kapott mérési eredmények értékeléséhez tartozik, hogy a mért és a referencia aktivitásokkal dózisbecslést végezzünk. Az elemzésekhez a MONDAL-3 programot használtuk [14], ami az ICRP ajánlásaiban [15] foglaltak szerint számol. A lehetséges izotópok közül a  $^{131}\text{I}$ -t, a felvételi módok közül az inhalációt választottuk, annak megfelelően, hogy a kiindulási szcenárió egy súlyos reaktorbaleset korai időszakát jelölte meg. A vizsgált személyek a lakosság csoportjába soroltak. A  $^{131}\text{I}$  jód esetén a programban az aeroszolatok jellemző AMAD (Activity Median Aerodynamic Diameter) helyett a felvevő személy életkorát lehet beállítani, mivel a pajzsmirigy mérete és működése hatással van a radiojódtól származó dózisa. A számításokat a felvétel utáni első napra végeztük, hiszen arra vagyunk kíváncsiak, hogy baleset esetén, a felvétel után rövid idővel ezeket az értékeket mérve, milyen belső sugárterhelést kapna a népesség tagja.

5. táblázat: A mért és a referencia aktivitásokkal számolt effektív dózis

Életkor (év)	Mért aktivitás (Bq)	Effektív dózis (mSv)	Pajzsmirigy dózis (mSv)	Referencia aktivitás (Bq)	Effektív dózis (mSv)	Pajzsmirigy dózis (mSv)
5	270±100	0,11±0,042	2,75±1,05	363	0,15	3,75
10	615±215	0,13±0,045	3,25±1,125	824	0,17	4,25
felnőtt	1480±520	0,13±0,045	3,25±1,125	2046	0,18	4,50

Látható, hogy az így kapott effektív dózis értékek nem érik el a 0,2 mSv-et. A pajzsmirigy esetében a szerv egyenérték dózis 25-ször akkora, mint a lekötött effektív dózis. A radiojód esetén ajánlott kiszámolni a pajzsmirigyre vonatkozó egyenérték dózist is, mivel arra 50 mSv az ajánlott alapkritérium [16]. Mivel a radiojód nagyrészt a pajzsmirigyben koncentrálódik, a

jódizotópok rövid felezési ideje miatt a kezdeti időszakban okoz jelentős dózist. Ilyen esetben a fő figyelmet a gyerekekre és az újszülöttekre kell fordítani, mert az ő pajzsmirigyük sokkal érzékenyebb a sugárzás rákkeltő hatására. Továbbá fontos a magas hormonszintű lakossági csoport megfigyelése is, mint például a tinédzserek, a terhes nők, a szoptató anyák és a változókorú nők, mert a megnövekedett hormontermelés miatt a sejtosztódás gyorsabb a szervezetükben, így a jód beépülése is gyorsabb.

## JÓDPROFILAXIS

A jód, mint esszenciális nyomelem legfontosabb szerepét a pajzsmirigyben szintetizálódó két hormon (tiroxin és trijód-tironin) építőköveként tölti be. Normális körülmények között a gége alatt elhelyezkedő pajzsmirigy csak akkor észlelhető, ha jódhiány következtében a pajzsmirigysejtek száma megnő, mert csak nagyobb tömegű pajzsmirigy képes több hormont termelni, és a szervezet jódhiányát kompenzálni. A WHO által meghatározott napi jód szükséglet 100-200 µg, ezt főként ivóvízzel és jódzott só fogyasztásával visszük be a szervezetünkbe. A WHO ajánlása szerint a jódbevitel szempontjából a kívánatos jódzott konyhasó bevitel 10 g/nap, mellyel ugyan a napi jódpótlás biztosítható, de egyéb okok miatt sószegény táplálkozás lenne kívánatos, ami maximum 5 g/nap jódbevitt engedélyez, így a jódzott só fogyasztásával önmagában nem biztosítható a jód bevitel. Magyarország valamennyi megyéjére kiterjedő reprezentatív vizsgálatok [17] igazolják, hogy hazánkban a lakosság 80%-ának jódellátottsága elégtelen, országunk területének négyötödén az ivóvizek jódtartalma 50 µg/l alatti, így a táplálékláncon át víz, tej, tojás, és hús stb. fogyasztással kevés jód jut a szervezetbe. A Magyarországon termesztett mezőgazdasági termékek fogyasztása sem nyújt kielégítő megoldást, mivel a termőtalaj csekély jódtartalma miatt ezeknek a jódtartalma alacsony. A lakosság körében szorgalmazni kellene az optimális tej és tejtermékek fogyasztását, továbbá a magasabb jódtartalmú tejek forgalmazása is elősegítené a jód prevenciót.

A megfelelő mértékű természetes jódbevitel járulékos hatása, hogy mérsékli egy környezeti kibocsátással járó atomerőműi baleset során kialakuló dózisoskat és az egészségi következményeit. Ha ugyanis a pajzsmirigy már elegendő jódot tartalmaz, akkor a felvétel sokkal kevésbé intenzív. Így az erőmű térségében (30-50 km) élő lakosság folyamatos jódellátottságának biztosítása mindenkor prioritást kell, hogy élvezzen. Ha megfelelő időben (azaz még a radiojód felvétele előtt) inaktív jódot viszünk a szervezetbe, a pajzsmirigy inaktív jóddal fog telítődni, csökken a radioaktív jód beépülése.

## ÖSSZEFOGLALÁS

A másfél éves CATHYMARA projekt végéhez közeledve egyértelműen kijelenthető: egy hiányterületen tudunk olyan irányelveket megfogalmazni, melyek baleseti szituációban könnyen használhatók és egyszerűen értelmezhetők. A projekt továbbá hasznos volt azért is, mert az összemérések segítségével mindenki fel tudta mérni a rendelkezésre álló eszközöket, és láthatóvá vált, hol vannak az erősségek és a hiányosságok. Az elvégzett munka rávilágított a nemzetközi összemérésekben való részvétel fontosságára, valamint a különböző fantomok és sugárforrások alkalmazásának szerepére. A pajzsmirigy metabolizmusának tanulmányozásával egyértelművé vált a folyamatos, megfelelő mennyiségű jód fogyasztás szükségessége a lakosság biztonsága érdekében.

## IRODALOM

- [1] Council Directive 2013/59/Euratom, Basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation, and repealing Directives 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom and 2003/122/Euratom
- [2] IAEA Safety Standards Series No. Ns-g-1.13, Radiation protection aspects of design for nuclear power plants, International Atomic Energy Agency, Vienna, 2005.
- [3] M. Balonovi, G. Kaidanovsky, I. Zvonava, A. Kuvtun, A. Bouville, N. Luckyanov, P. Voillequé, Contributions of Short-lived Radioiodines to thyroid doses received by evacuees from the Chernobyl area estimated using early in vivo activity measurements, Rad. Pro. Dos. Vol. 105, No. 1-4, pp. 593-599 (2003)
- [4] V. Stepanenko, V. Skvortsov, A. Tsyb, et al. Thyroid and whole-body dose reconstruction in Russia following the Chernobyl accident: review of progress and results, Rad. Pro. Dos. Vol. 77, No. 1/2, pp. 101-106 (1998)
- [5] E. Güngör, N. Güngör, A. Yüksel, G. Bag, N. Orhan, Fukushima Radionuclides at air Filter and Rain water samples collected from Istanbul and their atmospheric removal time, Rad. Pro. Dos. Vol. 158. No 2, pp. 195-200 (2014).
- [6] S. Yamashita, N. Takamura, A. Ohtsuru, S. Suzuki, Radiation exposure and thyroid cancer risk after the Fukushima nuclear power plant accident in comparison with the Chernobyl accident, Rad. Pro. Dos. Vol. 171, No. 1, pp. 41-46 (2016)
- [7] E Kim, O Kurihara, T Suzuki et al, Screening survey on thyroid exposure for children after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident, In: Proceedings of the 1st NIRS symposium on reconstruction of early internal dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station accident, 2012
- [8] R Hille, German measurements of the population doses around Chernobyl. In: One decade after Chernobyl. International Atomic Energy Agency (IAEA), Vienna, pp 149–157, 1996.
- [9] <http://www.eu-neris.net/index.php/projects/operra/operra-cathymara.html>
- [10] International Atomic Energy Agency: General Safety Requirements Part 3 (2014)
- [11] Open Project for the European Radiation Research Area (OPERRA 2014) Child and Adult Thyroid Monitoring After Reactor Accident, final proposal
- [12] Gamma Műszaki Zártkörű Részvénytársaság, MultiAct programcsomag NDI detektorhoz, programkezelési utasítás.
- [13] Phantoms and Computational Models in Therapy, Diagnosis and Protection, ICRU Report 48, Appendix B, 98. oldal, Bethesda, Maryland, 1992.
- [14] N. Ishigure, M. Matsumoto, T. Nakano, H. Enomoto „Development of Software for Supporting Internal Dose Estimation” <http://irpa11.irpa.net/pdfs/3a16.pdf> Proc. Symp. IRPA-11, Madrid, 2004. - <http://www.nirs.go.jp/db/anzendb/RPD/mondal3.php>
- [15] Respiratory tract model: ICRP Publication 66, Biokinetic models: ICRP Publications 30, 56, 67, 69, 71, GI tract model: ICRP Publication 30; if f1 value is 1, 0.99 was taken for calculation, which is in line with the ICRP publications, Dose coefficient: values given in ICRP CD-ROM.
- [16] International Atomic Energy Agency: General Safety Requirements Part 7 (2014)
- [17] Farkas I., Sajgó M. (2001) A lakosság 80%-ának jódeállottsága elégtelen. Van lehetőség a jódepótlásra. Táplálkozás-Allergia-Diéta, 6(3-4):34-42.p.

A pályamű a SOMOS Alapítvány támogatásával készült.