



ÓBUDAI EGYETEM
ÓBUDA UNIVERSITY

HABILITÁCIÓS TÉZISFÜZET

DR. FINTA VIKTÓRIA TÍMEA (EGYETEMI DOCENS)

A SUGÁRVÉDELEM KÜLÖNBÖZŐ ASPEKTUSAI

BIZTONSÁGTUDOMÁNYI
DOKTORI ISKOLA

Budapest, 2025. április 7.

Tartalom

1	A kutatás előzményei	3
2	Új tudományos eredmények.....	6
2.1	A nem-ionizáló sugárzások vizsgálata	6
2.2	A tűzoltók sugárvédelme	14
2.3	A dozimetria metrológiája	18
2.4	Tézisek összefoglalása.....	33
3	A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja	36
4	Irodalmi hivatkozások listája	37
5	A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények.....	42
6	További tudományos közlemények	44

1 A kutatás előzményei

A PhD fokozat megszerzése után a sugárvédelem több területén is végeztem és végzek kutatómunkát, amelyet három fő témára osztok:

I. A nem-ionizáló sugárzások vizsgálata

II. A tűzoltók sugárvédelme

III. A dozimetria metrológiája

I. Közvetlenül a 2013-ban megszerzett PhD fokozat utáni időszakban elsősorban annak témáját folytattam a nem-ionizáló sugárzások területén, de a PhD-ban kutatott rádiófrekvenciás- és mikrohullámú tartomány (RF-EMF¹) mellett kiterjesztettem az extrém alacsony frekvenciájú (ELF²) terekre is [Bolte et al. 2008; Ju et al, 2010; Rössli et al, 2011]. ELF mágneses térrel már a PhD alatt is foglalkoztam témavezetőként [Erőss, 2010], tekintettel arra, hogy az már 2002-ben az IARC³ 2B, azaz „lehetséges rákkeltő” kategóriába került [IARC, 2002]. Másrészt az

¹ Radiofrequency Electromagnetic Fields

² Extremely Low Frequency

³ Nemzetközi Rákkutató Ügynökség (International Agency for Research on Cancer)

akkori nemzetközi kutatási trendeknek megfelelően [Röösli et al, 2010; Vermeeren et al, 2013; Urbinello et al, 2014] a RF-EMF tartományban a személyi expozíciómérésektől leginkább a mikrokörnyezetek vizsgálata felé fordultam.

II. Mindeközben szakmai életemben az ionizáló sugárzások területén is találtam kihívásokat, az előzővel részben párhuzamosan, az akkori munkámhoz kapcsolódóan. 2014-től kezdődően a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóságon (FKI) az Iparbiztonsági Főfelügyelő munkatársaként a radiológiai- és nukleáris biztonsággal foglalkoztam, ennek során pedig gyakran merültek fel kérdések, javaslatok az ilyen jellegű események esetén az elsődleges beavatkozó állomány (elsősorban tűzoltók) sugárvédelmével kapcsolatban [IAEA EPREV Report, 2016]. A kutatómunka elmélyítése a 2016-os, „Teréz körúti robbantás”-ként elhíresült eset [24.hu, 2016] után kezdődött, ami számos kérdést felvetett, beleértve azt az eshetőséget, ha a házi készítésű bomba nem szöveget, hanem radioaktív anyagot szórt volna szét (ún. piszkos bomba).

III. Egy munkahelyváltással azonban egyre inkább lekerült a fókusz az előző kettőről, és az ionizáló sugárzásokhoz kapcsolódó új szakterületbe ártam bele magam: a sugárvédelem, azon belül a dozimetria tudományos metrológiai megközelítésébe. Magyarországon jól kidolgozott jogszabályi háttér alapján [Mérésügyi tv. és Vhr., 1991] a mérésügyi feladatokat jelenleg a BFKH MMFF⁴ (korábban MKEH⁵, azelőtt OMH⁶) látja el, így a sugárvédelmi mérőeszközök kötelező hitelesítését is, és mint ilyen, nemzeti mérésügyi intézményként (NMI) gondoskodik az ennek alapjául szolgáló országos etalonok fenntartásáról és fejlesztéséről. 2019 óta (2021 óta etalonfelelősként is) a dózismérés országos etalonjának (ET-18) tudományos háttérével, az etalonfenntartás nemzetközi rendszerében összehasonlító mérésekkel, valamint más tudományos metrológiai kutatással foglalkozom.

⁴ Budapest Főváros Kormányhivatala, Metrológiai és Műszaki Felügyeleti Főosztály

⁵ Magyar Kereskedelmi Engedélyezési Hivatal

⁶ Országos Mérésügyi Hivatal

A három kutatási területet összekapcsolja a sugárvédelem, legyen szó akár ionizáló, akár nem-ionizáló sugárzásról az emberi élet, illetve -egészség védelme kardinális kérdés, és ennek tudományos kutatások révén lehet megfelelő alapot biztosítani.

2024. november óta az OAH⁷ által kiadott hatósági engedéllyel rendelkező sugárvédelmi szakértőként lehetőségem nyílik a mindennapi gyakorlatba is átültetni a szaktudásomat és tapasztalatomat.

2 Új tudományos eredmények

2.1 A nem-ionizáló sugárzások vizsgálata

Bevezetés és célkitűzések

Már a PhD kutatómunkám idején megfogalmazódott az igényem arra, hogy a vizsgálataimat a RF-EMF tartományon kívül kiterjesszem az ELF terek mérésére is, ezért ezen a téren is együttműködésbe kezdtem az akkori OSSKI⁸ Nem-ionizáló Sugárzások Osztályával.

⁷ Országos Atomenergia Hivatal

⁸ Országos Sugáregészségügyi és Sugárbiológiai Kutató Intézet

Másik célkitűzésem ezen a területen a mikrokörnyezetes expozíciómérések megismerése és alkalmazása volt, aminek érdekében egy korábbi társszerzőmmel, a bázeli egyetem kutatójával, Martin Rööslivel kezdeményeztem közös kutatást.

Mikrokörnyezetek alatt ebben az összefüggésben személyek tipikus tartózkodási helyeit értjük, amelyek általános expozíciós jellemzőinek feltérképezése által következtetni lehet az ott tartózkodó személyek expozíciójára. Például beltéri mikrokörnyezetek az otthoni (azon belül akár a hálósoba külön) vagy irodai környezet, kültéri lehet a különböző közlekedési eszközök (autó, vonat, busz stb.) vagy a különböző típusú épített környezet (lakóövezet, belváros, ipari terület stb.). A mikrokörnyezetes mérések alapgondolata az, hogy habár az EMF-re nem lehet a zajtérképhez hasonló térképet létrehozni, mert az elektromágneses környezet sokkal változékonyabb, de mégsem kell egyenként a személyek expozíciómérését elvégezni. Ha a tipikus tartózkodási helyeiket elég sok mérés által tudjuk jellemezni egy átlagos expozícióval, akkor az egyes

mikrokoznyezetekben eltöltött idő alapján jól becsülhető az expozíciójuk.

Alkalmazott módszerek

A mikrokoznyezetek vizsgálatát 2013-ban az ELTE-n kezdtem el, amikor egy szakdolgozati témavezetés kapcsán végeztünk méréseket az ELTE-TTK egyik köznyezetben alapszakos hallgatójával közösen egy EME SPY 121 mérőeszközzel [Tóth, 2014-2015].

2014 tavaszán a Bázeli Egyetemen Martin Rösli kutatócsoportjához csatlakoztam két hónapra. Ez idő alatt Svájc különböző területein, több típusú (összesen 20) településen, 51 kültéri mikrokoznyezetben, mindegyikben két útvonalon végeztem méréseket egy hátizsákban elhelyezett háromféle mérőműszerrel. Ezeket a méréseket a kutatócsoport egyik tagja megismételte egy hónappal később. Az ELF tartományt egy EMDEX II mérőeszközzel vizsgáltuk, a RF-EMF méréseket pedig egy ExpoM-RF és egy EME SPY 140 műszerrel végeztük. A mérések kiértékelése után végül csak az ExpoM-RF műszerrel mért RF-EMF adatok kerültek publikálásra. Ez a műszer 87,5-5875 MHz között 16 kijelölt

frekvenciasávban (a gyakori RF-EMF forrásoknak megfelelően például tv/rádióadók, mobiltelefon bázisállomások, mobiltelefon készülékek, WLAN stb.) beállítható időközönként (tipikusan 1 másodpercenként) irányfüggetlen módon „mintát vesz” az elektromos térerősségből (V/m), és ezt egy beépített GPS-követéssel egészíti ki. A mikrokörnyezetes mérések során a hasonló típusú forrásokhoz tartozó sávokon mért adatokat összegezzük (négyzetesen, mert a teljesítménysűrűség adódik össze, ami az elektromos térerősség négyzetével arányos), így kialakul például a többféle TV-rádióadók jeleiből egy „műsorszórás” (broadcast) forráscsoport, vagy a 900 MHz, 1800 MHz, UMTS (3G), LTE (4G) bázisállomásoktól egy „bázisállomás” (downlink), a készülékektől egy „telefon” (uplink) csoport, valamint egy „egyéb” (other) kategória, ami lényegében az otthoni vezeték nélküli telefon (DECT) és a WLAN (a mikrohullámú sütővel együtt 2,45 GHz), és ez utóbbi kültéren elhanyagolható. Az összes forrás összegzésével pedig létrehozható a teljes (total) RF-EMF, ami a teljes expozíciót jellemző érték.

A svájci vizsgálatban csak kültéri mikrokörnyezeteket vizsgáltunk, és a svájci települési statisztikai adatok alapján jelöltünk ki vidéki és városi területeket, beleértve városközpontokat, központi-, külvárosi- és vidéki lakóövezeteket, valamint ipari területeket. Emellett még a tömegközlekedési eszközök közül a buszhoz, villamoshoz és vonathoz is rendeltünk mikrokörnyezetet.

Elemeztük az egyes mikrokörnyezettípusok közti expozíciós mintázatban (értékek és eloszlások) tapasztalható különbségeket, de azt is, hogy sok azonos típusú mikrokörnyezetből képezett sokaság adatainak átlaga mennyire jól írja le az egyedi mérések expozíciós mintázatát. Ezen felül azt is vizsgáltuk, hogy egy adott területet kétféle útvonalon, továbbá ugyanazt az útvonalat eltérő időpontban bejárva mennyire azonos az expozíció mennyiségi és minőségi szempontból. [1]

2015-2016-ban, szintén az ELTE-n, az otthoni mikrokörnyezetben előforduló speciális ELF- és RF-EMF források komplex vizsgálatát kezdtük el (teljesítmény, zaj, és EMF szempontjából is) az ELTE-TTK egy környezettan-fizika osztatlan tanárképzésben résztvevő

hallgatójával a szakdolgozatának keretei között, amihez Gigahertz Solutions mérőeszközöket (ME3030B és HF32D) használtunk [Kokol, 2016].

Kutatási eredmények és vonatkozó publikációk

Az ELTE-n végzett mikrokörnyezetes mérések során megállapítottuk, hogy amellet, hogy az expozíció mindenhol messze alatta marad az egészségügyi ajánlásnak, az egyes mikrokörnyezetek esetén különbség mutatkozik: a kitettség szignifikánsan nagyobb a közlekedés során – azon belül is a vonaton, a lakásban mért értékekhez képest, amelyekben pedig nem volt jelentős különbség vidéki és fővárosi otthon között [Tóth, 2014-2015]. A vizsgálatok jelentősége abban is állt, hogy Magyarországon elsőként alkalmaztuk a mikrokörnyezetes mérési megközelítést, és egyúttal igazoltuk, hogy a PhD-kutatásomban személyi mérésekre általam kidolgozott mérési és kiértékelési módszerek alkalmazhatóak a mikrokörnyezetes mérésekre is. Sajnos magán jellegű ok miatt ebből a szakdolgozaton, majd TDK-dolgozaton kívül nem született publikáció.

A svájci mikrokörnyezetes mérések során a legmagasabb RF-EMF expozíciót ipari területeken és belvárosokban mértük (de ezek is messze alatta maradtak az egészségügyi ajánlásoknak), míg a legalacsonyabb értékeket vidéki lakóövezetekben. Közlekedési eszközöket tekintve átlagosan a legnagyobb sugárzást villamosokon regisztráltuk, míg a vonatokon és a buszokon mérsékeltabb expozíciót tapasztaltunk. Az akkori expozíciós környezetben (tehát az internetalapú okoseszközök berobbanása előtt) a legnagyobb expozíció a mobiltelefon bázisállomásokból származott, amelyek a kültéri helyszíneken a RF-EMF teljesítménysűrűség több, mint 80%-át adták.

Az azonos típusú mikrokörnyezetekben mért expozíciós szintek változékonyságát elemezve a vidéki központokban és lakóövezetekben nagyobb eltérések látszottak az egyes helyszínek között, míg a belvárosi területeken az expozíció viszonylag egyenletes maradt.

A két eltérő útvonalú, de azonos mikrokörnyezetben végzett mérés között 0,75-ös korrelációt mutattunk ki, ami azt jelzi, hogy egy mikrokörnyezetre nézve akár az egyik útvonal is reprezentatív lehet.

Az első és második mérési sorozat között magas korrelációt találtunk (teljes RF-EMF: 0,89), különösen az ipari területeken, ahol a mérési eredmények szinte teljesen megegyeztek.

Az eredményeink szerint a teljes RF-EMF expozíció átlagos értéke nagyobb pontossággal becsülhető meg az egy mikrokörnyezettípusból elvégzett mérések számának növekedésével, míg egy terület jellemzésére egy 15 perces séta (~1 km) már elegendő lehet. [1]

Az otthoni mikrokörnyezetben a háztartási gépektől és berendezésektől származó ELF és RF-EMF sugárzásmérések nyomán megállapítottuk, hogy a várakozásnak megfelelően az indukció elvén vagy aszinkron motorral működő berendezések körül a működésük során nagyobb mágneses tér alakul ki, de a mikrohullámú sütő is a magnetron bekapcsolásakor a mikrohullámú sugárzás mellett jelentős ELF teret is generál. Érdekes megfigyelésünk volt még, hogy a bekapcsolt eszközökből származó, beltérben mérhető háttér mértéke az ablak kinyitásával csökkent. [Kokol, 2016] Azonban témaváltás miatt ebből a témából sem

születtek tudományos publikációk, illetve további vizsgálatok.

2.2 A tűzoltók sugárvédelme

Bevezetés és célkitűzések

A kutatás során a fő célkitűzésem az volt, hogy feltérképezzem radiológiai eseménykezelés, illetve nukleáris veszélyhelyzetek során a hivatásos tűzoltók sugárvédelmével kapcsolatos rendszerszintű fejlesztési lehetőségeket, továbbá meghatározom az ezzel kapcsolatos feladatokat, és javaslatokat tegyek a megoldásukra.

A tűzoltás és műszaki mentés szakmai sajátosságaira tekintettel a NKE KVI⁹ Tűzvédelmi és Mentésirányítási Tanszékével együttműködésben végeztem a vizsgálataimat.

Alkalmazott módszerek

A kutatómunka során a speciális kárhelyszínekre vonatkozó szakirodalom és a vonatkozó jogszabályi

⁹ Nemzeti Közszolgálati Egyetem, Katasztrófavédelmi Intézet

környezet áttekintése mellett, a nemzetközi ajánlások, valamint a szakmai belső szabályzók vizsgálatán volt a hangsúly. Ugyanakkor sugárfizikai, sugárbiológiai, sugáregészségügyi és sugárvédelmi alapokra építve konkrét és lehetséges esetek alapján, gyakorlati tapasztalatok felhasználásával elemeztük a jelenlegi eljárásrendeket, és kerestünk beavatkozási pontokat a kedvezőbb kimenetek érdekében. Ezen felül konzultáltunk tapasztalt és potenciális tűzoltásvezetőkkel, akik körében kérdőíves felmérést is végeztünk a radiológiai veszélyhelyzetekkel és kezelésükkel kapcsolatban.

Kutatási eredmények és vonatkozó publikációk

A vizsgálatok során általánosságban megállapítottuk, hogy a tűzoltók sugárvédelmi felkészítése kulcsfontosságú és elengedhetetlen, a radiológiai események során végzett tűzoltói beavatkozások hatékonysága és biztonsága pedig szorosan összefügg a megfelelő sugárvédelmi képzéssel és a protokollok alkalmazásával, valamint a sugárvédelmi védőfelszereléssel, amelynek részét kell képezze

valamilyen sugárzásmérésre alkalmas mérőeszköz [2, 3, 4].

Ezt támasztotta alá az is, hogy a tűzoltásvezetésre jogosult, illetve felsőfokú továbbképzésben részt vevő hivatásos tűzoltók körében végzett felmérés eredményeiből megállapítható volt, hogy a jelenlegi vagy leendő potenciális tűzoltásvezetők alapvetően tisztában vannak a radiológiai veszély egészségre gyakorolt lehetséges negatív hatásaival, azonban megfelelő információ (például mért értékek, képletek) hiányában nincsenek tisztában a sugárveszélyes környezetben eltölthető idővel, miközben életmentés esetén hajlamosak lehetnek felesleges kockázatot vállalni [4].

Kimutattuk (az akkori eljárási környezetben), hogy káreseménynél a sugárveszéllyel összefüggésben történő felderítés mérések hiányában nehézségekbe ütközhet, így megnőhet az időkésedelem vagy a kockázatos beavatkozás esélye, és egyúttal javaslatot tettünk ennek csökkentésére a sugárzásmérő eszközökkel felszerelt KML¹⁰ szolgálatok országosan készenléti jellegű

¹⁰ Katasztrófavédelmi Mobil Laboratórium

munkarendbe állításával, vagy a tűzoltó gépjárművek sugárvédelmi mérőeszközzel történő felszerelésével és az állomány képzésével [2, 3, 4].

Tűzoltástaktikai és mentésszervezési szempontból egyik fontos megállapításunk, hogy a veszély típusának minél pontosabb korai beazonosítása alapvető segítséget nyújt a szükséges mértékű és rendeltetésű eszköz és erőforrás helyszínre rendelésében [2].

Az eljárások erőgazdálkodásának újragondolásához nyújt segítséget az az általunk kidolgozott, újszerű megközelítés, hogy szükséges az aktív folyamatok azonosítása, ezáltal a súlypontok felismerése, majd a feladat-/terület-/időalapú súlyponti erőmegosztás, és az emberi és technikai igény ezekhez mért kalkulációja, mind a riasztási folyamat, mind pedig a helyszíni eseményminősítés során [2, 3, 4].

A tűzoltás és műszaki mentés során alkalmazott protokollok elemzésével igazoltuk, hogy a sugárveszélyes területen történő tűzoltói beavatkozások összetettsége megköveteli, hogy az eltérő térbeli és/vagy feladat-típusbeli tevékenységet végzők személyes

vezetést kapjanak. Ezt a tűzoltásvezető nem tudja hatékonyan végezni az egyéb irányítói feladatai mellett, ezért szükséges biztosítani elkülönülő (saját rajjal nem rendelkező) tűzoltásvezető jelenlétét az ilyen káreseményeknél. Az elkülönülő vezetés, a súlyponti erőmegosztás, valamint a dóziskorlátok miatti váltás megszervezésének szükségességét tekintve megállapítottuk, hogy az akkori belső szabályozókban a sugárveszélyes tevékenységekhez szükséges létszám alulméretezett volt [4].

Ezen felül rámutattunk, hogy a sugárveszélyes helyzetek kezelése multidiszciplináris megközelítést igényel, tehát a sikeres eseménykezelés érdekében elengedhetetlen a tűzoltók, más katasztrófavédelmi szakemberek és sugárvédelmi szakértők összehangolt együttműködése, valamint a folyamatos protokollfejlesztés [2, 3, 4].

2.3 A dozimetria metrológiája

Bevezetés és célkitűzések

Az ET-18 országos etalon felelőseként a fő célkitűzésem az volt, hogy nemzetközi összehasonlító mérésekben való részvétellel a lehetőségekhez mérten minél több

sugárminőség és fizikai mennyiség tekintetében fenntartsam és igazoljam hazánk mérési képességeinek folytonosságát a dozimetria területén, ami biztosítja az etalonok nemzetközi visszavezethetőségét [Machula et al, 2016].

Ennek alapvető módja az ún. kulcsösszehasonlítás (key comparison, KC), amiben kétoldalúan az egyes NMI-k közvetlen vagy közvetett módon végeznek kalibrációt az etalonjukkal, majd ennek eredményét összehasonlítják a BIPM¹¹ laboratóriumában elvégzett kalibrációval. A nemzetközi megállapodások alapján a visszavezethetőséghez és a mérési képesség fenntartásához meghatározott időközönként (alapvetően 10, de legfeljebb 15 évente) el kell végezni a kulcsösszehasonlításokat. Ez az ET-18 etalonra vonatkozó több mérési képességnél is aktuálissá vált 2021-2022-re. Továbbá a 2016-ban megjelent ICRU 90 ajánlásnak megfelelő módosítások beépítése is indokolta a kulcsösszehasonlítások elvégzését, mivel ez több esetben az etalonok kalibrációs együttthatójának

¹¹ Bureau International des Poids et Mesures – Nemzetközi Súly- és Mértékügyi Hivatal

megváltozásával járt amiatt, hogy az azokban szereplő korrekciós faktorokhoz újabbakat kellett hozzávenni.

Összemérésre további lehetőség az ún. kiegészítő (supplementary) összehasonlítás, amely lehet kétoldalú vagy körmérés. Egy 2018-ban indult, korábbi kollégám távozása miatt félbemaradt EURAMET¹² körmérés befejezését és lezárását is kitűztem 2020-ra.

Ezen kívül két (szintén távozott kollégáktól hátrahagyott) DUNAMET¹³ mérési projekt végrehajtását is felvállaltam 2020-2024 között.

Ezen felül célom volt még az IAEA¹⁴ szervezésében megvalósuló, ún. postai auditon való évenkénti részvétel, amely során üvegdoziméterek adott mértékű vízben elnyelt dózissal való besugárzása által az orvosi

¹² az európai regionális metrológiai szervezet (RMO), az NMI-k európai szövetsége

¹³ a közeli országok metrológiai intézeteit – BFKH (H), BEV (A), CMI (CZ), SMU (SK), DZSM (HR) – fogja össze a közös programokban

¹⁴ Nemzetközi Atomenergia Ügynökség

dózismérőkre vonatkozó PSDL/SSDL¹⁵ minősítés, valamint ehhez kapcsolódó mérési képesség igazolható.

A céljaim között szerepelt még részt venni legalább egy, a Horizon Europe kutatási projektek közül célzottan az NMI-k kutatásainak támogatására dedikált, sugárfizikai témájú projektben. El is indult 2022-ben, a Green Deal keretében a (21GRD02) BIOSPHERE, amelyben a BFKH MMFF belső partnerként kozmikus neutronok mérését vállalta, én pedig a projekt magyarországi koordinátoraként vettem részt [BIOSPHERE, 2022].

Alkalmazott módszerek

Az ET-18 része négy elsődleges (primer) etalon, szabadlevegős ionizációs kamra, amelyek lehetővé teszik a levegőben közölt dózis közvetlen mérését kis- és közepes energiájú, valamint mammográfiás röntgen-, továbbá ¹³⁷Cs és ⁶⁰Co radionuklidoktól származó gamma sugárminőségek esetén. Ezen felül része még egy primer etalon grafit kaloriméter, amely jelenleg a vízben elnyelt

¹⁵ Primary/Secondary Standard Dosimetry Laboratory = elsődleges (primer)/másodlagos etalonnal rendelkező dozimetria laboratórium

dózis mérését valósítja meg ^{60}Co sugárminőségen. Az ET-18 etalonhoz tartozik számos másodlagos etalon mérőeszköz, amelyek csak elsődleges etalonra visszavezetett kalibráció után alkalmazhatóak, ilyen például a béta-sugárzás mérésére szolgáló ionizációs kamra.

Az etalon visszavezethetőségét alátámasztó kulcsösszehasonlítások zöme meg is történt 2021-2023 között, a ^{137}Cs sugárminőségre vonatkozó kulcsösszehasonlítás (K5) kivételével (ez a BIPM-nél felmerülő átmeneti technikai nehézség miatt 2025 nyarára került beütemezésre). A mérési kampány keretében közvetett módon (tehát másodlagos etalon kalibrálásának összehasonlításával) végeztük el a levegőben közölt dózis mérését kis- és közepes energiájú (K2 és K3), valamint mammográfiás (K7) röntgen sugárminőségekre, továbbá ^{60}Co sugárminőségre a levegőben közölt- és vízben elnyelt dózis (K1 és K4) mérését. Összesen három „utazó” másodlagos etalon, szabadlevegős ionizációs kamránk vett részt a BIPM-mel történt közvetett összehasonlításban: egy IBA FC65-G típusú ionizációs

kamra a K1 és K4 összehasonlításokban [5, 6], egy RadCal 10X5-6M típusú kamra a K2 és K7 összemérésekben [7, 8], valamint egy OMH gyártmányú, ND1001 típusú kamra a K3 összehasonlításban [9].

A kalibrációk az ún. helyettesítéssel történnek, amely során adott távolságban adott sugárzási feltételek mellett (adott radionuklid, vagy röntgen sugárminőség adott szűrővel és anódárammal) a primer etalonnal elvégeztük a referencia dózisteljesítmény mérését, majd ehhez viszonyítottuk a másodlagos etalon ionizációs kamra által mért dózisteljesítményt [KE-SUG-01, 2023]. Az ionizációs kamrás mérések elve, hogy a bennük lévő gázban/levegőben a sugárzás hatására létrejövő ionizáció által kialakuló töltéseket összegyűjtve elektrométerrel (áramintegrátorral) mérhető az ionizációs áram, amely arányos a levegőben közölt vagy vízben elnyelt dózisteljesítménnyel. Az arányossági tényező a kalibrációs együttható, amely primer etalonnál a kamra fizikai paramétereiből korrekciós faktorokkal korrigálva kifejezhető. Másodlagos etalonnál pedig kalibrációval adható meg a fent leírt módon: a referencia

dózisteljesítmény és a mért ionizációs áram hányadosaként. Fontos még, hogy a szabadlevegős ionizációs kamrák esetén a környezeti paraméterekkel is korrigálni kell az ionizációs áramot. Ezekben ugyanis a levegő hőmérséklete, nyomása és relatív páratartalma megegyezik a környezetével, így a bennük lévő levegő sűrűsége úgy változik, ahogy a környezetben, és ez befolyásolja az ionizáció mértékét. A szabadlevegős (vagy nyitott) ionizációs kamrák kalibrációs együtthatóját mindig 20°C hőmérsékletre, 101,325 Pa légköri nyomásra és 50 % relatív páratartalomra vonatkoztatva adjuk meg [KE-SUG-01, 2023].

A kaloriméter működési elve pedig, hogy a sugárzásból az anyagban elnyelt energia révén létrejövő hőmérsékletemelkedés méréseéből következtethetünk az elnyelt dózisteljesítményre. Ez grafit kaloriméter esetén egy grafit-víz konverzióval származtatható a vízben elnyelt dózisteljesítményre [KE-SUG-01, 2023].

A kulcsösszehasonlítások során az utazó kamrákat a primer etalonok segítségével kalibráltuk, és a kalibrációs faktorokkal együtt kiküldtük a BIPM-be. Itt szintén elvégezték az utazó kamrák kalibrációját a saját

etalonjaikkal, majd a kapott kalibrációs együtthatókat összehasonlították az általunk megadottal. Pontosabban a protokoll szerint ilyenkor még a visszaérkezéskor szükséges egy stabilitásmérés, azaz egy újrakalibrálás, így kapunk egy pre-BIPM és egy post-BIPM értéket, amiket szintén összehasonlítunk, illetve ezek átlaga adja a saját mérési adatunkat a riportban. [5-9]

A fentiek mellett 2018-ban kezdődött egy béta-sugárzás mérésre irányuló kiegészítő összehasonlítás az EURAMET égisze alatt, amelyben a résztvevőknek egy utazószettet (ionizációs kamrát a hozzá tartozó mérőrendszerrel) kellett kalibrálni különböző bétasugárzó radionuklidokból származó sugárminőségeken $\dot{H}_p(0.07)$ bőr- és $\dot{H}_p(3)$ szemlencse dózisegyenérték-teljesítmény mennyiségekre nézve, és különböző irányokban. A BFKH dozimetriai laboratóriumának adottságai szerint $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ radionuklid terében 0° , 45° és 60° irányokban történtek mérések, referenciaként ND1009 típusú másodlagos etalon ionizációs kamrával, azonban személyi változások miatt nem került lezárásra a projekt. A korábbi mérési adatok birtokában, 2020-ban elvégeztem az ellenőrző

méréseket és a kiértékelést, amelyben a kalibrációs együtthatóhoz a bőr- és szemlencse dózisegyenérték-teljesítményre vonatkozó konverziós együtthatókat az ISO 6980 szabványból vettem. Majd elkészítettem az összefoglaló riportot, amit továbbítottam a szervező laboratórium megbízottjának, aki végül az összes résztvevő riportjának beérkezése után publikálta az eredményeket [10].

A DUNAMET keretében a D64 és D66 projektekben volt a BFKH MMFF szervezőlaboratórium. A D64 projekt a cseh metrológiai intézettel (CMI) kétoldalú összehasonlítás volt egy utazó, szabadlevegős ionizációs kamra által mért levegőben közölt dózisteljesítmény kalibrációjára nézve az IEC 61267 szabvány szerinti röntgendiagnosztikai- (RQR) és CT (RQT) sugárminőségeken. A D66 a CMI-n kívül a szlovák SMU és az osztrák BEV részvételével zajlott, és a témája egy utazó, plexi testfantomba épített ionizációs kamra kalibrációjának összehasonlítása volt. A kalibrációt $\dot{H}_p(10)$ személyi dózisegyenérték-teljesítmény mennyiségben kellett elvégeznie minden résztvevőnek, az

ISO 4037 szabvány szerinti ún. erősen szűrt, keskeny spektrumú (narrow) röntgensugárminőségek közül a 40 kV és 80 kV gyorsítófeszültséghez tartozó N-40, illetve N-80 sugárminőségekre, valamint ^{137}Cs és ^{60}Co radionuklid kollimált sugárzási terében. Mindkét esetben a fentebb leírt helyettesítési módszerrel végeztem a kalibrálást, a D66 esetében az ISO 4037 szabványban megtalálható konverziós együtthatókkal számítottam át a levegőben közölt dózisteljesítményt személyi dózisegyenérték-teljesítményre.

Az IAEA postai audit során postai úton küldenek négy üvegdozimétert (RPLD – radio photo luminescence dosimeter), amelyből hármat kell 2 Gy vízben elnyelt dózissal besugározni ^{60}Co radionuklid kollimált sugárzási terében, vízfantomban (a negyedik a háttér korrekciójára szolgál). Ehhez etalonméréssel kell meghatározni az aktuális referencia dózisteljesítményt, majd a kívánt dózishoz kiszámolni azt, hogy mennyi besugárzási idő szükséges. A besugárzás elvégzése után vissza kell küldeni kiértékelésre az IAEA laboratóriumába.

A kiterjesztett mérési bizonytalanságot minden esetben az EA-4/02M dokumentum „Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration” alapján kell meghatározni, és figyelembe kell venni az ILAC P-14 dokumentum „ILAC Policy for Uncertainty in Calibration” előírásait is, továbbá minden olyan tényezőt, amely a kiterjesztett mérési bizonytalanságra hatással van. Általában tartalmazza az etalonból, a kalibrálás módszeréből, a környezeti feltételekből, a kalibrált mérőeszközből stb. eredő részbizonytalanságokat, és ezek négyzetösszegének a négyzetgyökeként számolandó. A kiterjesztett mérési bizonytalanság az eredő mérési bizonytalanság „k” kiterjesztési tényezővel szorzott értéke ($k=2$), normális (Gauss-) eloszlás esetén a $k=2$ -vel szorzott eredő bizonytalanság értéke közelítőleg 95%-os megbízhatósági szintnek felel meg. [KE-SUG-01, 2023]

A BIOSPHERE projekt rendkívül összetett, célja annak vizsgálata, hogy a kozmikus sugárzás és a Napból származó UV-sugárzás az antropogén gáz kibocsátások hatására fokozódó ózonlebontással együtt hogyan hat a Föld bioszférájára, illetve ez a növekvő, biológiailag aktív

UV-sugárzás milyen káros hatásokkal lehet az ökoszisztémára. Ennek megfelelően a kozmikus neutron- és müonméréseken kívül UV- és teljes ózonszlop mérések mellett antropogén gázokkal való kölcsönhatások hatáskeresztmetszetének vizsgálatát is magában foglalja, valamint kiterjed a biológiai hatásokra is [Zömbikné et al., 2023].

Ezen belül a WP2 munkacsoportban végeztük egy athéni és egy brüsszeli helyszínen 3-3 hónapon át kozmikus sugárzásból származó neutronok mérését egy MGP NIM201K neutron monitorral, amelyhez a Titon Bt. által fejlesztett és gyártott környezeti paramétermérő és adatgyűjtő rendszert illesztettünk. A detektort az MVM Paksi Atomerőmű Zrt. Metrológiai Laboratóriumában egy kalibrált Am-Be neutronforrással kalibráltuk, és az adatokat a projektben elvárt formátumban szolgáltatottuk [Zömbikné et al., 2024]. A mérések kiértékelését a résztvevőkkel való konzultáció mellett a német metrológiai intézet (PTB) munkatársai végzik [Al Qaaod et al., 2024].

Kutatási eredmények és vonatkozó publikációk

A kulcsösszehasonlítások mérési eredményeit az 1. táblázatban, a kiegészítő összehasonlító béta körmérés eredményeit a 2. táblázatban foglalom össze.

Az eredményekből látszik, hogy minden esetben sikeres volt az összehasonlítás, azaz minden eredményem egyezett a mérési bizonytalanságon belül a BIPM, illetve a referencia értékével. Ezek alapján minden mérésem alátámasztja a BFKH MMFF mérési képességeinek nemzetközi visszavezethetőségét, ami megjelenik a BIPM adatbázisaiban, és az etalonok változatlansága esetén 10 évre biztosítja hazánk nemzetközi visszavezettségét a dozimetria területén ezekre a mennyiségekre és sugárminőségekre nézve.

KC jele	RQ jele	$R_{\text{BFKH/BIPM}}^{16}$	D^{17} (mGy/Gy)	U^{18} (k=2) (mGy/Gy)
K1	Co60	1,0029	2,9	4,4
K4	Co60	0,9965	-3,5	9
K2	25	0,996	-4	6,8
	30	0,9957	-4,3	
	50a	1,0001	0,1	
	50b	0,9996	-0,4	
K3	100	0,9946	-5,4	6,2
	135	0,9993	-0,7	
	180	0,9993	-0,7	
	250	0,9993	-0,7	
K7	W/Mo 25	0,9993	-0,7	9,2
	W/Mo 30	0,9957	-4,3	

1. táblázat Kulcsösszehasonlítások eredményei [5-9]

¹⁶ A BFKH és a BIPM által mért kalibrációs együtthatók aránya

¹⁷ Degree of Equivalence = az ekvivalencia foka, relatív eltérés

¹⁸ A kiterjesztett mérési bizonytalanság (k=2)

Hp(d) α ¹⁹	R _{BFKH/REF} ²⁰	D (%)	U (k=2) (%)
Hp(0,07) 0°	1,0047	0,47	5,6
Hp(0,07) 45°	0,9689	-3,11	6,6
Hp(0,07) 60°	0,9704	-2,96	7,3
Hp(3) 0°	1,0018	0,18	6,3

2. táblázat Béta körmérés eredményei [10]

A DUNAMET projektek riportjai egyelőre nem publikusak, ezért eredményként és tézisként jelenleg nem vehető figyelembe.

Az IAEA postai auditok eredményei (habár 2021 óta minden évben a $\pm 3,5$ % tűréshatáron belül voltak) szintén nem nyilvánosak, ezért ezt sem prezentálok.

A BIOSPHERE projekt 2025 őszén kerül lezárásra, a kiértékelés még folyamatban van, így önálló eredményként és tézisként szintén nem tudom szerepeltetni.

¹⁹ Fizikai mennyiség (bőr vagy szemdózis) és irány

²⁰ A BFKH által mért kalibrációs együttható és a referencia érték aránya

2.4 Tézisek összefoglalása

I. A nem-ionizáló sugárzások vizsgálata [1]

I.1 Megmutattam, hogy a hordozható eszközzel végzett mikrokörnyezetes felmérések nagymértékben megismételhető méréseket eredményeznek, ami lehetővé teszi a RF-EMF expozíciós trendek hosszú távú monitorozását, valamint a különböző típusú mikrokörnyezetek expozíciós szintjének összehasonlítását. [1]

II. A tűzoltók sugárvédelme [2, 3, 4]

II.1 Mérési tézisem szerint megmutattam, hogy a sugárveszéllyel érintett tűzoltói beavatkozások során az időkésedelem vagy a kockázatos beavatkozás elkerülése érdekében szükséges a korai felderítés során méréseket végezni és azokat helyszínen értékelni, ennek érdekében pedig szükséges a sugárázsmérő eszközökkel felszerelt KML szolgálatok készenléti jellegű munkarendbe állítása országosan, vagy a hivatásos tűzoltóparancsnokságok, illetve katasztrófavédelmi őrsök tűzoltó gépjárműveinek

sugárvédelmi mérőeszközzel történő felszerelése, az állomány ezirányú oktatása mellett. [2, 3, 4]

II.2 Szervezési tézisem szerint megmutattam, hogy a sugárveszélyes káresemények összetettsége megkívánja az eltérő tűzoltástaktikai és mentésszervezési stratégiák alkalmazását, amelynek fontos része a korai felderítés nyomán az aktív folyamatok és súlypontok felismerése, valamint a feladat-/terület-/időalapú súlyponti erőmegosztás, és ezekhez mért erő-eszköz tervezése mellett az elkülönülő vezetés alkalmazása, és mindezek képzési rendszerbe történő beépítése. [2, 4]

III. A dozimetria metrológiája [5-10]

III.1 A BIPM-mel való kulcsösszehasonlításban megmutattam, hogy ^{60}Co radionuklid gamma sugárzásától származó levegőben közölt- és vízben elnyelt dózisteljesítmény mérése esetén a BFKH MMFF által fenntartott ET-18 országos etalon mérési eredményei a mérési bizonytalanságon belül egyeznek a BIPM által mért értékekkel, ami alátámasztja az etalon visszavezethetőségét [5, 6].

III.2 A BIPM-mel való kulcsösszehasonlításban megmutattam, hogy kis- és közepes energiájú, valamint mammográfiás röntgen sugárminőségekre vonatkozóan levegőben közölt dózisteljesítmény mérése esetén a BFKH MMFF által fenntartott ET-18 országos etalon mérési eredményei a mérési bizonytalanságon belül egyeznek a BIPM által mért értékekkel, ami alátámasztja az etalon visszavezethetőségét [7, 8, 9].

III.3 Egy EURAMET körmérésen alapuló kiegészítő összehasonlításon keresztül igazoltam, hogy $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ bétasugárzó radionuklid sugárzási terében $\text{Hp}(0.07)$ bőr dózisegyenérték-teljesítmény 0° , 45° és 60° irányokban, továbbá $\text{Hp}(3)$ szemlencse dózisegyenérték-teljesítmény 0° irányban történő mérése esetén a BFKH MMFF által fenntartott ET-18 országos etalon mérési eredményei a mérési bizonytalanságon belül egyeznek a referenciaértékekkel, ami alátámasztja az etalon visszavezethetőségét [10].

3 A kutatás és a bemutatott eredmények hatása, visszhangja

Több esetben kaptam, és a mai napig kapok felkérést az „elektroszmog” jelenséggel kapcsolatos tudományos és/vagy ismeretterjesztő munkára konferenciaelőadás (XXIII. Országos Szkeptikus Konferencia, Székesfehérvár, 2017.10.28.), televízió- (MTVA M1 Kék Bolygó 2017.02.13.) és rádióinterjú (MTVA Kossuth Rádió Tudomány hangjai 2018.02.10.), valamint folyóiratcikkek (Élet és Tudomány 2018/8) és -interjúk (Magyar Nemzet 2020/01; Atomerőmű Magazin 2023/11) formájában.

2019-ben az Eötvös Loránd Fizikai Társulat Sugárvédelmi Szakosztályának XLV. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyamán előadott „A sugárvédelem mostohagyermekai: a nem-ionizáló sugárzások” című előadásomat a Sugárvédelmi Nívódíj különdíjával jutalmazta a szakmai közösség.

2016-ban a Fővárosi Katasztrófavédelmi Igazgatóságon, a beavatkozók sugárvédelmében és a főváros nukleáris

biztonságában végzett szolgálati feladataim kiemelkedő teljesítésének elismeréseként emléktárgy jutalmat kaptam. 2023-ban minden elsődleges tűzoltó gépjárműfecskenőre, országosan 166 db elektronikus dózismérő került kiosztásra a tűzoltók sugárvédelmének fokozására, amiket az alkalmazásukra történő felkészítéssel egyidejűleg osztottak ki [BM OKF Évkönyv, 2023].

A tudományos területen a hivatkozásaim száma több, mint 300, ebből a PhD utáni publikációkra 76 (64 független).

Rendszeresen felkérést kapok előadóként konferenciákra, szakdolgozatok, TDK-dolgozatok, PhD értekezések, illetve cikkek bírálatára.

4 Irodalmi hivatkozások listája

BIOSPHERE, 2022.

<https://euramet-biosphere.eu/index.php>

BM OKF Évkönyv, 2023.

<https://www.katasztrofavedelem.hu/application/uploads/yearbook/public/2023/hu/index.html>

J. FB. Bolte, M. JM. Pruppers, J. Kamer, G. Van der Zande, C. MA. Schipper, S R Fleurke, T Kluwer, I Van Kamp, J Kromhout, 2008. The Dutch Exposimeter Study: Developing an Activity Exposure Matrix. Epidemiology, 19(6), S78-S79

doi: 10.1097/01.ede.0000339777.06068.39

Eröss A., 2010. Komplex elektromágneses környezetünk vizsgálata (szakdolgozat). ELTE-TTK

IAEA EPREV Report, 2016.

<https://www.iaea.org/sites/default/files/documents/review-missions/eprev-hungary-240616.pdf>

Non-ionizing Radiation, Part 1: Static and Extremely Low-frequency (ELF) Electric and Magnetic Fields, 2002. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 80

<https://publications.iarc.fr/98>

ICRU Report 90, 2016. Key Data for Ionizing-Radiation Dosimetry: Measurement Standards and Applications. Journal of International Commission of Radiaton Units and measurements Vol 14:1

doi: 10.1093/jicru/ndw040

M. Ju, K. Yang and S. Myung, 2010. Occupational and Residential Exposures to ELF Magnetic Fields Over a 24-h Period Among a Sample of Urban Populations in Korea. IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility Vol. 52, no. 4, 843-848

doi: 10.1109/TEM.2010.2044884

KE-SUG-01, 2023.

Kalibrálás eljárás sugárvédelmi és orvosi dózismérők kalibrálására. BFKH MMFF

Kokol J., 2016. Fizika a környezetünkben – Háztartási gépek vizsgálata. ELTE-TTK

Machula G., Nagyné Szilágyi Zs., 2016. A dozimetriai országos etalonok nemzetközi összehasonlító mérései. XLI. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Hajdúszoboszló, 2016. április 26-28.

https://www.elftsv.hu/svonline/docs/kulonsz/2016sv/PDF/2/Machula_G%202016.pdf

Mérésügyi tv. és Vhr., 1991.

1991. évi XLV. törvény a mérésügyről, egységes szerkezetben a végrehajtásáról szóló 127/1991. (X. 9.) Korm. rendelettel

M. Rössli, P. Frei, J. Bolte, G. Neubauer, E. Cardis, M. Feychting, P. Gajsek, S. Heinrich, W. Joseph, S. Mann, L. Martens, E. Mohler, R. C. Parslow, A. H. Poulsen, K. Radon, J. Schüz, Gy. Thuroczy, J.-F. Viel, M. Vrijheid, 2010. Conduct of a personal radiofrequency electromagnetic field measurement study: proposed study protocol. Environmental Health Vol 9, Nr 23
doi: 10.1186/1476-069X-9-23

M. Rössli, D. Jenni, L. Kheifets, G. Mezei, 2011. Extremely low frequency magnetic field measurements in buildings with transformer stations in Switzerland. Science of The Total Environment, Vol 409, Issue 18, 3364-3369, ISSN 0048-9697
doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.05.041

Tóth V. Zs., 2014. Rádiófrekvenciás elektromágneses sugárzások személyi expozimetriája – mikrokörnyezetes mérések (TDK is, 2015). ELTE-TTK

D. Urbinello, W. Joseph, L. Verloock, L. Martens, M. Rösli, 2014. Temporal trends of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure in everyday environments across European cities. Environmental Research, Vol 134, 134-142, ISSN 0013-9351
doi: 10.1016/j.envres.2014.07.003

G. Vermeeren, I. Markakis, F. Goeminne, T. Samaras, L. Martens, W. Joseph, 2013. Spatial and temporal RF electromagnetic field exposure of children and adults in indoor micro environments in Belgium and Greece. Progress in Biophysics and Molecular Biology, Vol 113, Issue 2, 254-263, ISSN 0079-6107
doi: 10.1016/j.pbiomolbio.2013.07.002

24.hu – Robbanás volt a Teréz körúton, két rendőr sérült meg (letöltés ideje 2025.03.26.).
<https://24.hu/belfold/2016/09/24/robbanas-razta-meg-a-terez-korutat-ket-serult/>

5 A tézispontokhoz kapcsolódó tudományos közlemények

[1] S. Sagar, B. Struchen, V. Finta, M. Eeftens, M. Rössli, 2016. Use of portable exposimeters to monitor radiofrequency electromagnetic field exposure in the everyday environment. Environmental Research, Vol 150, 289-298, ISSN 0013-9351

doi: 10.1016/j.envres.2016.06.020

[2] Finta V., Rácz S., 2016. Tűzoltói beavatkozás radiológiai eseménykezelésnél. Védelem Tudomány 1:3, 68-77.

[3] S. Rácz, V. Finta, 2017. Occupational safety of firefighters in radiological emergencies — Issues in Hungary. RAD Conference Proceedings, Vol 2, 75-79.

doi: 10.21175/RadProc.2017.16

[4] Rácz S., Finta V., 2018. Tűzoltók sugárvédelme. Hadmérnök 13:4, 199-213.

[5] C. Kessler, D. Burns, V. Finta, 2023. Key comparison BIPM.RI(I)-K4 of the absorbed dose to water standards of

the BFKH, Hungary and the BIPM in ^{60}Co gamma radiation. Metrologia 60, 06014

doi: 10.1088/0026-1394/60/1A/06014

[6] C. Kessler, D. Burns, V. Finta, 2023. Key comparison BIPM.RI(I)-K1 of the air-kerma standards of the BFKH, Hungary and the BIPM in ^{60}Co gamma radiation. Metrologia 60, 06015

doi: 10.1088/0026-1394/60/1A/06015

[7] D. T. Burns, C. Kessler, V. Finta, 2023. Key comparison BIPM.RI(I)-K2 of the air-kerma standards of the BFKH, Hungary, and the BIPM in low-energy x-rays. Metrologia 60, 06016

doi: 10.1088/0026-1394/60/1A/06016

[8] C. Kessler, D. Burns, V. Finta, 2024. Key comparison BIPM.RI(I)-K7 of the air-kerma standards of the BFKH, Hungary, and the BIPM in mammography x-rays. Metrologia 61, 06003

doi: 10.1088/0026-1394/61/1A/06003

[9] D. T. Burns, C. Kessler, V. Finta, 2023. Key comparison BIPM.RI(I)-K3 of the air-kerma standards of

the BFKH, Hungary, and the BIPM in medium-energy x-rays. Metrologia 60, 06022

doi: 10.1088/0026-1394/60/1A/06022

[10] R. Behrens, J. Cardoso, M. Pozuelo, V. Finta, R. Botos, L. Persson, J. Huikari, C. Lecante, D. Li, C.-Y. Yi, Y. H. Kim, C.-H. Chu, M. Kato, R. Pepenene, S. Jozela, J. T. Á. Romero, A. MacLeod, M. G. Mitch, G. W. Salas, N. G. Rodriguez, 2023. EURAMET supplementary comparison of personal dose equivalent rate at 0.07 mm and 3 mm depth, $\dot{H}_p(0.07)$ and $\dot{H}_p(3)$, for beta radiation. Metrologia 60, 06020

doi: 10.1088/0026-1394/60/1A/06020

6 További tudományos közlemények

MTMT szerinti mellékletben