

6. Összefoglalás

Célkitűzés

Ennek az értekezésnek a témája a kozmikus sugárzás ionkomponensének, valamint a radon koncentrációnak a mérése az űrhajósok, illetve a lakosság sugárvédelme céljából. Az értekezést a KLTE doktori Ph.D. fokozatának elnyerése céljából készítettem.

A disszertációm űrsugárvédelmi mérésekkel foglalkozó részében az LDEF (Long Duration Exposure Facility, magyarul kb. tartós terhelésnek kitett üreszköz) műholdon besugárzott maratottnyom-detektor kötegekkel végzett kozmikus ionsugárzás méréseim egyes eredményeit mutatom be. Ezt a munkát Prof. E. V. Benton, a San Francisco-i egyetem fizikai kutatólaboratórium vezetője meghívására, és a NASA anyagi támogatásával, végeztem 1991 és 1992-ben. A vizsgálatok célja az LDEF típusú alacsony földköri pályákon használatos kozmikus sugárzás modellek kísérleti ellenőrzése volt.

A disszertáció radonsugárvédelmi mérésekkel foglalkozó részében a debreceni Atommagkutató Intézet Radon (korábban Nyomdetektor) Csoportjában az utóbbi egy évtizedben elért eredményeimből mutatok be néhányat.

Bevezetés

Alacsony (néhány száz km magas) földköri pályákon az űrhajósokat érő sugárterhelés az 1 mSv/nap (hatásos dózis) nagyságrendbe esik. Ennek a sugárterhelésnek a legnagyobb része (több mint 90%) általában a Van Allen sugárzási övezetben befogott protonoktól származik, és akkor éri a személyzetet, amikor az űrhajó áthalad az ún. dél-atlanti anomálián. A sugárzási övek kialakulásáért a Föld nagyjából dipólus alakú mágneses tere a felelős. A sugárzási övezetben befogott protonok az elsődleges kozmikus sugárzásnak az atmoszféra felső rétegeiben lévő atomokkal való kölcsönhatásaiból származnak. A dél-atlanti anomália pedig annak a következménye, hogy a dipólus alakú mágneses tér tengelye nem esik egybe a Föld forgástengelyével. Elektronokból és nehezebb ionokból álló sugárzási övek is kialakulnak, ezek sugárvédelmi jelentősége azonban kisebb, mint a protonoké.

Bizonyos időszakokban, különösen a napfolt maximumok és minimumok közötti időszakban fordul ez elő, jelentős napkitörések történnek, amelyek olyan nagyszámú és nagyenergiájú, főleg protonokból és alfa részecskékből álló, részecskéket juttatnak a Föld közelébe, hogy az általuk okozott sugárterhelés rövid időre jelentőssé válhat. A Föld mágneses tere eltéríti a részecskék többségét, egy részük azonban, azok, amelyek elegendően nagy lendület/töltéssel rendelkeznek, lejuthatnak mélyebb rétegekbe is. Különösen a mágneses pólusoknál és a dél-atlanti anomáliánál lehet rájuk számítani, ahol a mágneses erővonalak mentén könnyen lejuthatnak a felső atmoszféra közelébe.

Hasonló a helyzet a galaktikus eredetű kozmikus sugarakkal is. Ezekre először is a napszél fejt ki egy erős moduláló hatást, különösen a napaktivitás maximuma idején jelentősen lecsökkentve a fluxusukat a Föld pályáján. Másrészt a Föld mágneses tere ugyanúgy eltéríti őket, mint a napkitörésből érkező részecskéket. A nagy lendület/töltés arányú, általában relativisztikus energiájú komponens azonban így is át tud törni a mágneses téren és hozzájárul

az űrhajósok sugárterheléséhez. A galaktikus kozmikus sugarakban minden elem megtalálható. A relatív gyakoriságuk szerint ugyan a protonok dominálnak, de mivel a részecskék által közölt dózis a részecskék töltésének a négyzetével arányos, a nehezebb részek hozzájárulása a sugárterheléshez szintén nem elhanyagolható.

A lakosság természetes háttérsugárzásból eredő sugárterhelésének durván a fele (kb. 1 mSv/év hatásos dózis) származik a ^{222}Rn izotóp rövidéletű bomlástermékeinek a belégzéséből. Bányászok körében végzett epidemiológiai vizsgálatokból tudjuk, hogy a viszonylag magas (nagyobb, mint néhányszor 100 mSv) ^{222}Rn sugárterhelés megnöveli a halálos kimenetelű tüdőrák kialakulásának kockázatát. Az ezzel foglalkozó tudósok többségének véleménye szerint a lakásokban lévő ^{222}Rn bomlástermékek belégzése a lakosság körében is többlet tüdőrák előforduláshoz vezet. Egy Svédország-béli felmérés eredménye szerint ez a hatás éves átlagban 400 Bqm^{-3} -nél több ^{222}Rn -t tartalmazó lakásokban élőknel már statisztikailag is kimutatható.

A ^{222}Rn (radon) az ^{238}U bomlási sorában a ^{226}Ra bomlásából keletkezik. Radioaktív nemesgáz, alfarészecske kisugárzásával, 3,8 napos felezési idővel bomlik. Környezetünkben fő forrása a kőzetek (talajok), építőanyagok, stb. rádiumtartalma, ritkább esetekben a vizek oldott radontartalma. A kőzetekből (talajokból, falakból) kilépve a radon zárt légtérben, földalatti üregekben (bányák, barlangok, stb.), épületekben (lakások, munkahelyek, stb.) feldúsulhat. Szokásos előfordulása talajban $5\text{-}50 \text{ kBqm}^{-3}$, épületekben $10\text{-}100 \text{ Bqm}^{-3}$, a szabad levegőn $2\text{-}20 \text{ Bqm}^{-3}$ között mozog. Területi eloszlása általában lognormál típusú, ami azt jelenti, hogy az átlagosnál lényegesen magasabb értékek is meglepően nagy valószínűséggel fordulhatnak elő.

A radon rövidéletű bomlástermékei a ^{218}Po (3 perc), a ^{214}Pb (27 perc), a ^{214}Bi (20 perc) és a ^{214}Po ($164 \mu\text{s}$). Egy ilyen atom potenciális alfaenergiája egyenlő azon alfarészecskék energiájának összegével, amelyeket az atom a hosszú felezési idejű ^{210}Pb -ig tartó bomlásai során kisugároz. A potenciális alfaenergia koncentráció az egységnyi térfogatban lévő rövidéletű radon bomlástermék atomok potenciális alfaenergiáinak az összege. Egysége Jm^{-3} . A potenciális alfaenergia sugárterhelés (amit röviden radon sugárterhelésnek fogok hívni) a potenciális alfaenergia koncentráció és az idő szorzata. Egysége Jm^{-3}s , vagy mJm^{-3}h . A radon bomlástermékek belégzéséből eredő kockázat a halálos kimenetelű tüdőrák kialakulása. Az egységnyi radon sugárterhelésre eső halálos kimenetelű tüdőrák kialakulásának kockázata, az un. kockázati tényező a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság (International Commission on Radiological Protection, rövidítve ICRP) 1993-as 65-ös számú közleménye alapján $P = 8 \cdot 10^{-5} (\text{mJm}^{-3}\text{h})^{-1}$. Azért, hogy a radon sugárterheléseket össze lehessen hasonlítani a sugárvédelemben dóziskorlátozásra általában használt mennyiségekkel, átszámítottam a radon sugárterheléseket hatásos dózissá. Az átszámításhoz az ICRP-65 által ajánlott dózisszámítási tényezőket használtam. E szerint munkásokra $1 \text{ mJm}^{-3}\text{h} = 1,43 \text{ mSv}$; lakosságra $1 \text{ mJm}^{-3}\text{h} = 1,10 \text{ mSv}$. Ezek a konverziós faktorok úgy lettek megállapítva, hogy az így számolt radontól származó egységnyi effektív dózishoz ugyanakkora kockázat tartozzon, mint bármilyen más jellegű sugárterhelésből származó egységnyi effektív dózishoz.

Az alkalmazott anyagok, műszerek és módszerek

Kutatásaim során főleg CR-39 és LR-115 típusú maratottnyom detektorokat használtam.

A CR-39 ($C_{12}H_{18}O_7$) poly-allil-diglikol-karbonátból készül, ugyanabból az anyagból, mint a műanyag szemüveg lencsék is. A manapság elterjedten használt nyomdetektorok közül ennek az anyagnak van a legnagyobb érzékenysége. Protonokat kb. 15 MeV-ig, alfa részecskéket kb. 50 MeV maximális energiáig lehet vele detektálni. Relativisztikus energiákon a $Z \geq 6$ tartományban használható. A CR-39 optimális maratási körülményei (ahol az érzékenysége a maximális) 20%-os NaOH oldatban 70°C-on van. A tipikus maratási idő 5 óra. A felületi maratási sebesség jellemzően 1,2 - 1,4 $\mu m h^{-1}$. A kereskedelemben többféle CR-39 márka is kapható. Korábban mi a magyar gyártmányú (Magyar Optikai Művek, Mátészalka) MA-ND/ α és MA-ND/p típusú detektorokat használtuk, majd ezek gyártásának megszűnése után az angol gyártmányú (Bristol) TASTRAK márkanevű anyagot használjuk. Az Egyesült Államokban végzett kutatásaink során ottani (American Acrylic) gyártmányú CR-39-et használtunk. Az egyes detektortípusok között főleg a felületi minőség, és a felületi maratási sebesség homogenitásában voltak különbségek. E tekintetben a magyar gyártmányú detektor sok esetben felülmúlta vetélytársaikat. Az egyes detektortípusok érzékenysége nem tért el jelentősen egymástól.

Az LR-115-II-es (Kodak Pathe, Franciaország) cellulóz-nitrát alapanyagú detektor. Érzékenysége kisebb, mint a CR-39-é, de alfa részecskéket lehet vele detektálni. Mi a pohár technikával végzett radon méréseinkben használtuk. A kb. 13 μm vastag pirosra színezett detektorréteg itt egy 100 μm vastag átlátszó hordozó rétegen található. A nyomdetektorba becsapódó alfa részek látens nyomai közül csak egy bizonyos (a beesési szögtől is függő 1,5-3,0 MeV) energia tartományba eső alfa részecskék nyomai marathatók át úgy, hogy felülről nézve a piros film lyukasnak tűnjön. A szokásos maratási körülmények 10%-os NaOH-ban, 60°C-on 110 percig. Ekkor a maradék detektorvastagság 7-8 μm .

Kutatásaim egy része a CR-39 típusú nyomdetektor érzékenységének a környezeti feltételektől való függésének a vizsgálatára irányult. Azt találtam, hogy a detektort szobahőmérsékleten tárolva, annak érzékenysége jelentősen csökken még a gyártást követő évek múltával is. Meglepő módon azonban a detektor érzékenysége nem függött a részecske becsapódás időpontjától, hanem kizárólag csak a detektor anyag maratáskori korától. Ez egy nagyon kellemes tulajdonsága a CR-39-nek, mert így hosszú idejű besugárzásnál is csak a maratáskori érzékenységét kell ismerni a detektornak.

A vákuumban való besugárzás hatását vizsgálva azt találtam, hogy ha a detektort besugárzás előtt néhány óráig, és besugárzás után néhány percig vákuumban tartjuk, akkor a detektor érzékenysége drasztikusan lecsökken. Az érzékenység csökkenés annál nagyobb, minél hosszabb a besugárzás előtti vákuumban tartási idő. Ha a detektort normál levegőn sugározzuk be, akkor sem a besugárzás előtti, sem a besugárzást követő vákuumban való tárolás nem változtatja meg a detektor érzékenységét. A vákuumban történő besugárzás érzékenység-csökkentő hatását az oxigénnek a látens nyom képződésében játszott szerepével magyaráztam. A részecske becsapódást követő gyors fizikai folyamatokat követően a sugárrombolt csatornában keletkezett új molekulák, szabad gyökök egy része oxigénnel lép reakcióba. Oxigén hiányában viszont másfajta reakciók játszódnak le, aminek eredményeképpen más lesz a stabilizálódott látens nyom szerkezete.

Besugárzott CR-39 detektorokat néhány napig kb. 3 atm. nyomású széndioxidban tárolva azt találtam, hogy a detektor érzékenysége jelentősen növekedett. A növekedés mértéke függött a

kezelés időtartamától és a széndioxid gáz parciális nyomásától. Hasonlóan az öregedési effektusnál tapasztaltakhoz, az érzékenyítés mértéke nem függött attól, hogy a detektort mikor sugároztam be, a detektor érzékenysége most is csak a detektor maratáskori állapotától függött. Az érzékenyítés mértéke nem mutatott jelentős energiafüggést (2-6 MeV alfa energia tartományban) sem, ami alapján azt várhatjuk, hogy a széndioxid kezelés érzékenység növelő hatása hasonló mértékű lesz kisebb lineáris energiaátadású részecskékre is. Így a kezelés fontos szerepet játszhat majd elsősorban a neutronozimetriai és az űrdozimetriai alkalmazásokban, ahol kis lineáris energiaátadású részecskék (protonok és nagyenergiájú töltött részek) fordulnak tipikusan elő.

A ^{222}Rn mérésére passzív és aktív eszközöket egyaránt használtunk. A maratottonyom detektoros passzív eszközök közül korábban (az 1980-as években) főleg az LR-115 típusú cellulóz-nitrát anyagú detektorral szerelt poharat; később (kb. 1990-től kezdődően) pedig a CR-39 anyagú detektorral szerelt saját fejlesztésű Radamon detektorainkat használtuk. Az aktív eszközök közül a balatonalmádi Dataqua Kft. által gyártott félvezető-detektoros (Hamamatsu fotodiódás, vagy ORTEC detektoros) egy-, és többcsatornás radonmérőket, valamint AlphaGUARD PQ2000 (Genitron GmbH, Frankfurt, Németország) márkájú ionizációs kamrás radonmérőket használtunk.

A Radamon detektor kifejlesztésében, illetve a nyomdetektoros radonmérőink kalibrálásában meghatározó szerepem volt, ezért ezeket részletesen tárgyaltam a dolgozatban. Mindenképpen sikernek könyvelem el, hogy a Radamon detektorral sikeresen szerepeltem Svédországi (National Institute for Radiation Protection) és Angliai (National Radiation Protection Board) radonkamrákban végzett nemzetközi összehasonlításokon.

Űrsugárvédelmi mérések

Az LDEF műholdat 1984-ben az Egyesült Államokban bocsátották fel. A projekt célja az volt, hogy adatokat nyerjenek egy majdan megépítendő űrállomást érő különféle terhelések hatásairól. Ennek megfelelően a műholdat az űrállomás tervezett pályájára állították (28.5° , 480×474 km). A repülés idejét egy évre tervezték. A Challenger űrrepülőgép 1986-os tragédiája miatt azonban lényegesen hosszabb ideig, közel 6 évig volt a világűrben.

Az LDEF egy 9 m hosszú 6 m átmérőjű 12 szögű hasáb volt, amely gravitációs és mágneses elven (teljes egészében passzív eszközökkel) stabilizált pozícióban pörgés nélkül keringett a Föld körül. Ez lehetővé tette az őt ért hatások irányeloszlásának a tanulmányozását. A mi maratottonyom detektor kötegeink a műhold különböző részein voltak elhelyezve, amelyek közül azonban ebben a dolgozatban én csak egy, a műhold első (vezető) oldalán elhelyezett P0006 nevű kísérlet eredményeiből mutattam be néhányat. Ez a kísérlet egy 9 alkötegből álló főkötegből és a főköteget négy oldalról körülvevő mellékkötegekből állt. Mindegyik alköteg nagyjából hasonló összetételben tartalmazott CR-39, Sheffield polykarbonát és más detektorokat. A köteg a repülés ideje alatt egy légmentesen zárt alumínium tartályban volt.

Az LDEF-en végzett kozmikus sugárzás mérések közül az egyik legjelentősebb eredmény a befogott protonoknak a detektoranyag atommagjaival való kölcsönhatásaiból származó rövid hatótávolságú, nagy lineáris energiaátadású (LET) másodlagos részecskéknél az LDEF típusú pályákra jellemző LET spektrumokhoz való jelentős hozzájárulásának a felfedezése volt. Korábban ezzel a komponenssel nem (szívesen) foglalkoztak, mert mind a rá vonatkozó modellszámítások, mind a megmérésükre irányuló kísérletek nagyon nehéznek bizonyultak.

Egy többlépcsős maratási technika kidolgozásával, és kihasználva az LDEF hosszú repülési idejéből adódó nagyszámú eseményt, az én mérésem volt az első, amellyel sikerült meghatározni a LET spektrum nagy LET-ű komponensét nagy statisztikai pontossággal. A Sheffield polykarbonát vagy CR-39 detektorból álló lemez párok érintkező felületein térbeli koincidenzában talált maratott nyomok alakjából sikerült azonosítanom, hogy a nagy LET-ű komponens adó részecskék a detektor anyagában keletkeztek és viszonylag rövid (néhány mikrométer) hatótávolságúak. A részecskék eredetére vonatkozóan természetesen adódott a feltételezés, hogy azok a befogott protonoknak a detektoranyag atommagjaival való kölcsönhatásaiból származnak. A méréseim hatására beindult számítások azután alátámasztották ezt a hipotézist.

Egy másik kísérletben, amit részben N. Nefedov, orosz fizikussal együtt végeztem sikerült felső határt adnunk az LDEF műholdat nyugatról keleti irányba bombázó befogott protonok összes számára két proton energiánál. Ebben a kísérletben szintén két darab CR-39 detektor párt használtunk, de most az érintkező felületeknél olyan részecskék nyomait kerestük, amelyek csak az egyik, a világűrhez közelebbi lemezben hoztak létre maratott nyomot (nyom antikoincidenzá módszer). További nyomkiválasztási szabályok megadásával biztosítottam, hogy a kiválasztott nyomok nagy valószínűséggel csak a detektor egy adott rétegvastagságában megállt protonoktól származhassanak. A maratott nyomok alakjából meghatároztuk a részecskék mozgási irányát is. Ezután az ebben a rétegvastagságban talált protonpálya-végpontosűrűségből meghatároztuk a nyugati irányból érkezett protonok számát; a mérésre használt nyomdetektor lemez fölött lévő anyagvastagságból pedig a protonok energiáját a detektorkötegbe való belépéskor. Figyelembe vettük a nyaláb gyengülését is a kötegen való áthaladás során. A másodlagos protonok hozzájárulását azonban nem tudtuk figyelembe venni, ezért eredményünk csak egy felső határt adott a belépő protonok számára. A mérést két helyen végeztük el a P0006 kísérletben, $0,6 \text{ gcm}^{-2}$ és $9,5 \text{ gcm}^{-2}$ védelmi vastagságoknál. Az ezeknek megfelelő energiáknál kapott fluensek: 25 MeV -nél $6,3 \times 10^6$ proton $\text{cm}^{-2}\text{MeV}^{-1}\text{sr}^{-1}$ és 114 MeV -nél $9,2 \times 10^6$ proton $\text{cm}^{-2}\text{MeV}^{-1}\text{sr}^{-1}$. Az első érték viszonylag jól egyezik a modellszámítások eredményeivel, a második mintegy kétszeresen meghaladja azt.

A P0006 kísérlet fő- és mellékkötegeiben megmértem a beérkezett galaktikus eredetű relativisztikus energiájú Fe ionok irányeloszlását, és azt találtam, hogy az a vizsgált térszögtartományban (kb. 1 sr) enyhe anizotrópiát mutat. Nyugati irányból, párhuzamosan a Föld felszínével valamivel több Fe ion érkezett, mint a környező irányokból. A relativisztikus energiájú Fe ionok nyomainak kiválasztása ugyan fáradtságos volt, de különösebb nehézséget nem okozott. Ezek az ionok egy CR-39 nyomdetektor lemez-pár mind a négy felszínén azonos méretű és alakú maratott nyomot produkáltak. A vas ionok gyakorisága a galaktikus kozmikus sugárzásban lényegesen nagyobb a környező, főleg a nagyobb rendszámú, ionok gyakoriságánál. Másrészt olyan rövid maratási időt alkalmaztam, hogy a vasnál lényegesen kisebb rendszámú ionok, amelyeknek gyakorisága összemérhető a vaséval, detektálható nagyságú maratott nyomokat nem hoztak létre.

Radon sugárvédelmi mérések

A radon koncentráció mérési eredményeink közül elsőként a még Somogyi Gy. és Nikl I. (OSSKI) által 1985-1987 között az ország 122 meteorológia állomásához tartozó lakásában végzett felmérés eredményeinek a kiértékelését mutattam be. Ezeket a méréseket LR-115 detektorral felszerelt poharakkal végezték. A poharak kísérleti kalibrációját szintén Nikl I. segítségével én végeztem el. A kalibrációs besugárzás egy Svédországbeli radonkamrában

történt. A felmérés eredménye szerint a ^{222}Rn aktivitáskoncentrációk eloszlása a vizsgált lakásokban lognormál típusú eloszlást mutatott. A geometriai középérték $47,5 \text{ Bqm}^{-3}$, a geometriai standard eltérés $1,72$ volt. A számtani középérték $55,2 \text{ Bqm}^{-3}$, a számtani standard eltérés $38,0 \text{ Bqm}^{-3}$ volt. Összehasonlítva más országokban végzett felmérések eredményeivel ez az érték átlagosnak mondható. Összehasonlítottam ezt az eredményt más felmérések eredményeivel is. 1993-1994-ben Nikl I. és munkatársai 998 lakásban végeztek egyéves időtartamú radon koncentráció mérést E-perm ionizációs kamrás detektorokkal. A lakásokat úgy választották ki, hogy az egyrészt egyenletesen lefedje az ország területét, másrészt reprezentálja a hazai lakásállományt. Az ő eredményük szerint a számtani átlaga az ezekben a lakásokban kapott radon aktivitáskoncentráció értékeknek 129 Bqm^{-3} volt. A népesség megoszlása szerint súlyozott átlagértékre 107 Bqm^{-3} -t kaptak. Mindkét érték kb. kétszer akkora, mint a mi korábbi mérésünkből kapott érték. Ugyanakkor az egyik balatonkenesei Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyamon (1996. május) Tóth E. és munkatársai szintén beszámoltak több mint 6000 falusi házban végzett radon koncentráció mérések eredményeiről. Ők maratottnyom detektoros radon detektorokat használtak közel egyéves besugárzási idővel, és eredményük szerint a vizsgált lakásokban a ^{222}Rn aktivitáskoncentrációk számtani átlaga kb. 120 Bqm^{-3} volt. A falusi házakban várható átlagértéktől azt várhatjuk, hogy az lényegesen magasabb, mint az országos átlag. Vagyis az ő méréseik alapján az országos átlagra 120 Bqm^{-3} -nél lényegesen kisebb érték lenne várható. Az egyes felmérések eredményei közötti jelentős eltérések okaira nem tudom a választ. Mindezekből a mérésekből így azt a következtetést vontam le, hogy a magyarországi lakásokban található átlagos radonkoncentráció becslésében legalább egy kettes faktor bizonytalanság maradt. A kérdés megválaszolásának ugyanakkor nem csak akadémikus jelentősége van, ugyanis amennyiben a 120 Bqm^{-3} körüli érték bizonyul pontosnak, úgy Magyarország a súlyos radon problémával küszködő országok (Svédország, Finnország) közé "emelkedik".

A Somogyi Gy. által 1978-ban elkezdett, és azóta is nagy lendülettel végzett hazai barlangi radon koncentráció méréseinkre alapozva meghatároztam egyes csoportoknak a barlangban a ^{222}Rn bomlástermékek belégzéséből eredő sugárterhelését. Először is megállapítottam, hogy a ^{222}Rn aktivitáskoncentrációja a barlangban jelentős térbeli és időbeli változásokat mutathat, és felhívtam e változások ismeretének fontosságát a radon sugárterhelések meghatározásának szempontjából. Azt találtam, hogy a barlangi túravezetők, a barlangterápiák személyzete, valamint a legaktívabb barlangászok évente tipikusan $1-10 \text{ mSv}$ közötti hatásos dózis közé eső sugárterhelést kapnak, de ettől jelentősen magasabb értékek is előfordulhatnak. A barlangterápián résztvevő betegek egy kúra során tipikusan 1 mSv hatásos dózist kapnak. Figyelembe véve ezeket az eredményeket azt javasoltam, hogy minden barlangot, amelyet a nagyközönség számára meg kívánnak nyitni, vagy terápiára akarnak hasznosítani, előzetesen legalább egy éven keresztül radon szempontjából is meg kell vizsgálni. A viszonylag magasabb kockázatnak kitett csoportokat tájékoztatni kell, és megfelelő védelmet kell biztosítani számukra. A radon sugárterhelések mérésére a személyi radondozimetriát tartom legalkalmasabbnak, és a barlangi túravezetők, terápiás kezelőszemélyzet, a legaktívabb barlangászok (még akkor is, ha nem foglalkozás szerűen barlangásznak), kutatók esetében szükségesnek is.

Beszámoltam a dolgozatban a Mátraderecskei száraz széndioxidfürdőben végzett radonsugárvédelmi méréseim eredményeiről is. Itt azt találtam, hogy a ^{222}Rn aktivitáskoncentrációja a kezelő gödör alján mintegy 140 kBqm^{-3} , a gödörben álló betegek szájmagasságában pedig kb. 2 kBqm^{-3} . A kezelőhelyiség padlószintjén a ^{222}Rn aktivitáskoncentrációja jelentős napi változást mutatott nappali minimummal és éjszakai

maximummal. Kimutattam, hogy a betegeknek a kezelőhelyiségben való jelenléte megnöveli a padlószinten mérhető ^{222}Rn aktivitáskoncentrációt kb. egy 2-es faktoral. A ^{222}Rn -nak az emberi testben való transzportját leíró kompartment modell segítségével megbecsültem a szervezetbe a bőrön át diffúzióval bekerülő ^{222}Rn -tól eredő sugárterhelés hatásos dózissá való átszámítási tényezőjét. Eredményül $0,002 \text{ nSv Bq}^{-1}\text{m}^3\text{h}^{-1}$ -t kaptam. Megállapítottam, hogy a gödörben álló betegek esetében ez a komponens jelentős járulékot ad a teljes hatásos dózishoz. A betegek esetében az egy kúrára eső hatásos dózist 1 mSv körül becsültem. A kezelőszemélyzet éves radon bomlástermék belélegzésből származó sugárterhelését személyi radondoziméterként használt Radamon detektorokkal mértem meg. Az innen származó hatásos dózis 1996-ban $0,9$ és $4,2 \text{ mSv}$ között változott. Legmagasabb értéket a betegeket felügyelő mentős esetében mértem.

A jelenleg folyó kutatásaim közül néhány előzetes eredményt mutattam be a radonnak a talajban való transzportját vizsgáló modellszámításaimból, annak illusztrálására, hogy bár a probléma rendkívül összetett és sokparaméteres, a megfelelő fizikai és geofizikai alapok ismeretében az egyébként egymásnak ellentmondani látszó mérési eredmények is értelmezhetővé válnak. Ezen kutatásoknak a célja az, hogy egy olyan általános, a lehető legtöbb befolyásoló tényező hatását figyelembe vevő radon transzport modellt fejlesszünk ki, amelynek segítségével értelmezhetővé válnak az építési területek radon forráserősségének meghatározására irányuló talajgáz radon tartalom, vagy felületi radon exhaláció mérések eredményei. Az építési területek radon szempontból való minősítése a megelőzést szolgálja, és mint ilyen, az egyik leghatékonyabb radonsugárvédelmi eszköz lehet a jövőben. Jelenlegi és közeljövőbeli kutatásaim ennek a tudományos megalapozására irányulnak.