

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Természettudományi Kar

Természetes radioaktivitás mérése vízben

Szakdolgozat

Készítette: Deák Nikoletta

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
MATEMATIKA-FIZIKA SZAK

Témavezető: Horváth Ákos

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR
ATOMFIZIKAI TANSZÉK

Budapest, 1995.

BEVEZETÉS

A Földet kialakulása óta érik emberi tevékenységtől független radioaktív sugárzások. Ezen természetes sugárzások adódnak a kozmikus sugárzásból és a földi természetes radioaktív anyagok által kibocsátott sugárzásból. A Föld lakosságát érő sugárterhelésnek 68 %-a (2,4 mSv) ezen sugárzásokból származik. Ennek a dózisértéknek a fele a radontól és bomlástermékeitől származik.

A környezetünkben lévő radonkoncentrációk ismerete a lakosság sugárvédelme szempontjából igen fontos. A természetben megtalálható 3 bomlási sor mindegyikében képződik radon, amely nemesgáz. A természetes eredetű ^{238}U leányeleme a ^{222}Rn , ami a radon izotópjai közül a legfontosabb, mert 3,82 napos felezési ideje alapján a keletkezési helyétől nagy távolságokra is el tud jutni. A kőzetekből, talajból, építőanyagok felszínéről kerül a levegőbe. Az élő szervezetbe jutva nem elsősorban a radonnak, hanem rövid felezési idejű leányelemeinek van egészségkárosító hatásuk.

Nem régen, csak századunk elején vált ismertté, hogy a radon és leányelemei belégzés során növelik a tüdőrák kockázatát, mert a hörgők és a tüdő belső hámsejtjeit közvetlenül sugározzák be.

A '80-as években ismerték föl, hogy a földkéregből származó radon zárt helyiségekben, lakásokban feldúsulhat. Erre vonatkozóan számos országban (Svédország, Anglia, Kanada) végeztek méréseket. A mérések szerint az alacsony radonkoncentrációjú lakások, épületek vannak többségben, de igen nagy (200 - 400) sőt 1000 Bq/m³ aktivitáskoncentráció értékeket is találtak. A hazai mérések eredményeként a lakáslevegő radontartalmára 55 Bq/m³ átlag adódott, de mátraderecskei házakban mértek 13 - 14 kBq/m³ értékeket is [9].

Mivel a radon nemcsak belégzéssel, hanem vízben oldva is bejuthat a szervezetbe, fontos az ivóvizek, forrásvizek radontartalmának kimérése is. Erre vonatkozóan már számos országban történtek mérések. A mérések alapján az Egyesült Államokban 3,7 Bq/l, míg Angliában 100 Bq/l a megengedett koncentráció ivóvízben [9].

Mindezen egészségkárosító hatások mellett a vízben oldott radonnak pozitív hatása is van, kedvezően hat a szervezet számos tevékenységére.

A radontartalmú fürdők már régóta jelentős helyet foglalnak el a gyógyászatban és a fizioterápiában. Az orvosok szerint magának a radon-222 izotópnak minimális a szerepe, ugyanis ez az izotóp csak α -részeket bocsát ki, amelyek nagy többségét a víz elnyeli, és így nem jut a bőrre. Ugyanakkor a leányelemeinek aktivitása még a gyógykezelés befejezése után is hat a szervezetre. A radonfürdők számos betegség gyógyításának hatékony eszközei; a szív- és érrendszeri, a bőr-, valamint idegrendszeri megbetegedések gyógyítására alkalmasak. Emésztési bántalmak gyógyítására néha fogyasztásra is javasolják. Hatásosak még a radontartalmú iszapok és a radonnal dúsított levegő belélegzése is. Viszont a radonnal való gyógyítás esetén is szükséges az állandó orvosi felügyelet.

Magyarországon a lakások, illetve beltéri levegők koncentrációjára vonatkozóan már széles körben végeztek vizsgálatokat. Az ivóvizek, forrás- és természetes vizek radontartalmának mérésére eddig azonban még nem fektettek nagy hangsúlyt.

Szakdolgozatom célja volt elsősorban budapesti gyógyfürdővizek radontartalmának vizsgálata. A következő fürdőkből való vízminták radonkoncentrációját határoztam meg: Rudas-fürdő (Juventus-forrás), Gellért-fürdő (GT—I. forrás, GT—III. forrás), Király-fürdő, Lukács-fürdő, Széchenyi-fürdő.

A mintavételnél ügyeltem arra, hogy a vizet közvetlenül arról a helyről vegyem, ahol a víz a felszínre tör. Hogy termálvizeink radontartalmát össze tudjuk hasonlítani más, gyakran mért vizek aktivitásával, ezért referenciaértékként megmértünk néhány csapvíz, kútvíz és desztillált vízmintát. Összehasonlításként mértünk a környezetünkben található nem termál-forrás vizet; így tó vizét, folyó vizét.

Vizsgálódásaim másik része arra vonatkozott, hogy megnézzem, levegőből vízbe oldódik-e radon, s ha igen, akkor milyen arányban. E célból desztillált vizet tartalmazó gázmosó palackokkal összenyitva hagytam a rendszerben a radont szabadon közlekedni.

I. A KÖRNYEZETÜNKBEN LÉVŐ RADIOAKTIVITÁS

I. 1. A RADIOAKTÍV SUGÁRZÁS ÉS HATÁSAI

I. 1. 1. A radioaktivitás felfedezése

Az ember találkozása az atommagból jövő jelenségekkel egy tévedésnek, a tisztázásához vezető úton való elindulás pedig egy véletlennek köszönhető.

Kevés felfedezés váltott ki akkora érdeklődést mind a tudományos világban, mind a nagyközönség körében, mint RÖNTGEN felfedezése. Röntgen az újat, az ismeretlent kereste. "Láthatatlan sugarakat kerestem" — jelentette ki felfedezése után fél évvel.

1895-ben a tudományos világot az elektromosság atomja, az elektron foglalkoztatta, különösképpen pedig a katódsugárban repülő elektron.

Röntgen vizsgálatai közvetlenül a katódsugarakra irányultak. A kisülési csövet beburkolta teljesen átlátszatlan fekete papírba, hogy a katódsugarak által létrehozott gyenge fluoreszkáló fényt is láthassa.

1. ábra

Azt tapasztalta, hogy a közelben elhelyezett fluoreszkáló só mindannyiszor élénken világít, ahányszor a kisülési csövet bekapcsolja, annak ellenére, hogy semmiféle látható fény nem érhetette közvetlenül.

Tehát egy új, a vastag üvegfalon, a burkoló fekete papíron is áthatoló sugárzásról van szó. Mivel semmit sem tudott erről a sugárzásról, elnevezte X-sugárzásnak.

Ma már a röntgen-sugár, a röntgen-cső az orvostudománynak, a technikának és a természettudománynak nélkülözhetetlen segédeszköze.

BECQUEREL 1896-ban uránsók fluroszcenciájával foglalkozott. Röntgen felfedezése után azt vizsgálta, hogy nincs-e kapcsolatban a két jelenség — a fluoreszcens fény és a röntgen-sugár kibocsátása — olyan értelemben, hogy mindegyiknek azonos oka van. Bizonyításképpen beburkolt egy fényképezőlemezt vastag fekete papírba, s az így beburkolt lemezre egy uránsó-kristályt helyezett. Az egész elrendezést napsütés hatásának tette ki, hogy az uránsó fluoreszkáljon. A fényképezőlemez előhívása után azon feketedést észlelt az uránkristály alakjának megfelelően. Így igazolni látta a feltevést. Az vezette rá ezen megállapításának helytelenségére, hogy nem napsütéses időben elvégzett kísérletek során is a sziluettek nagy intenzitással jelentkeztek. Ebből megállapította, hogy a jelenségnek semmi köze sincs a fluoreszcencia jelenségéhez, kizárólag az uránium jelenlétével van kapcsolatban. Azt is megállapította, hogy a hatás nem függ az urán fizikai vagy kémiai állapotától, s hogy ez a sugárzás a levegőt ionizálja.

A kutatás folytatását asszisztensnőjére, MARIE-SKLODOWSKA-CURIE-re bízta. Az első említésre méltó eredmény 1898 elején mutatkozott: az "uránsugarak" jelensége nem kapcsolódik kizárólagosan az uránatomhoz. Kiderült, hogy hasonló sugarakat bocsát ki a tórium atom is. A szurokércből az uránnál 1 000 000-szor jobban sugárzó anyagot tudott kiválasztani, ezt elnevezték rádiumnak. Találtak a szurokércben egy olyan anyagot is, amely a rádiumnál is 5 000-szer erősebben sugároz. Ezt az anyagot polóniumnak nevezték el.

Curie-né azokat az anyagokat, amelyek magukból bocsátják ki az újfajta sugárzást, radioaktív anyagoknak, magát a jelenséget pedig radioaktivitásnak nevezte el. Az uránból, a tóriumból, a rádiumból, a polóniumból és sok más anyagból kiinduló sugarak a radioaktív sugarak.

Különbséget teszünk természetes radioaktivitás között, amely a természetben fordul elő, és mesterséges radioaktivitás között, amelyet az ember hoz létre. A mesterséges radioaktivitást 1934-ben fedezte fel IRÉNE és FRÉDÉRIC JOLIOT CURIE.

Azon kémiai elemeket, melyeknek minden izotópja radioaktív, radiaktív elemeknek nevezzük. Vannak természetes és mesterséges radioaktív elemek. Például: természetes radioaktív elemek: polónium (^{84}Po), asztácium (^{85}At), radon (^{86}Rn), francium (^{87}Fr), tórium (^{90}Th), protaktínium (^{91}Pa), urán (^{92}U). A jelenleg ismert mesterséges radioaktív elemek: technécium (^{43}Tc), prométium (^{61}Pm) és a transzurán elemek.

Ezeket atomreaktorokban ill. részecskegyorsítókban lehet előállítani. Radioaktív érc az olyan ásvány, amely több-kevesebb uránt vagy tóriumot, illetve mindkettőt tartalmaz.

I. 2. Radioaktív sugárzások tulajdonságai

A vizsgálatok során megállapították, hogy azok az atommagok, amelyek sugároznak, nagy energiájú sugárzást kibocsátva más atommaggá alakulnak át, míg végül stabilis elem atommagja keletkezik. Ez a sugárzás elektromos és mágneses térben való eltérése alapján három típusra osztható. Ezek a sugárzások eltérő jellegűek, bár vannak közös tulajdonságaik:

- Az α -(alfa)sugarakat hélium-4 atommagok alkotják (${}^4_2\text{He}$), tehát nehéz, két egységnyi pozitív elektromos töltésű részecskék.
- A β -(béta)sugarak nagy energiájú elektronokból állnak, melyek lehetnek negatívak(-e) vagy pozitívak (+e), azaz pozitronok.
- A γ -(gamma) sugarak pedig nagy energiájú elektromágneses fotonok.

Ezek alapján α -bomláskor az atommag rendszáma 2-vel, tömegszáma 4-gyel csökken. β -bomláskor a rendszám 1-gyel változik, a tömegszám pedig állandó. γ -bomláskor pedig sem a rendszám, sem a tömegszám nem változik.

Radioaktív sugárzás kibocsátásakor (a γ -sugárzás kivételével) új atommag keletkezik. Ha a keletkezett atommag ismét radioaktív, a bomlás tovább folytatódik. Több, egymásra következő bomlás sorozatát radioaktív bomlási sornak nevezzük, amelyben általában α -, β -, és γ -bomlások követik egymást. 4 bomlási sort különböztetünk meg attól függően, hogy a bomlási sorban levő elemek tömegszáma 4-gyel osztva milyen maradékot ad:

4k család

4k+1 család

Nem tudjuk megadni, hogy egy aktív mag melyik időpillanatban alakul át. Csak statisztikus törvényt állapíthatunk meg a radioaktív bomlás valószínűségére vonatkozóan.

Radioaktív anyag aktivitása:

Az időegység alatt bekövetkező bomlások várható száma:

$$A = - \frac{dN}{dt}, \text{ ahol } N: \text{ a preparátumban lévő bomlásra képes atomok száma.}$$

egysége: 1 Bq (Becquerel) = 1 bomlás/s.

régi egysége: Curie (1 g tiszta rádium aktivitása);

$$1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$$

Ebből látszik, hogy a radioaktív anyagok mennyisége időben fokozatosan csökken.

A radioaktív forrás aktivitása egyenesen arányos a forrásban lévő bomlásra képes atommagok számával: $A = \lambda \cdot N$, ahol λ : bomlásállandó, mértékegysége 1/s.

A felezési idő a radioaktív preparátum aktivitásának csökkenését jellemző paraméter. Az aktivitás a felezési idő alatt a felére csökken.

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Az aktivitás az alábbi bomlástörvénynek megfelelően csökken:

$$a(t) = a(0) \cdot e^{-\lambda t}$$

A bomlástörvény egy radioaktív preparátumban lévő bomlásra képes atommagok számának, illetve a preparátum aktivitásának időbeli változását leíró összefüggés.

I. 1. 3. Sugárzások mérése

A radioaktivitást érzékszerveink nem érzékelik, ugyanakkor rövid idő alatt komoly következményű sugárzást szenvedhet el az egyed. A radioaktivitás érzékelésére és mérésére készülékekre van szükség.

A sugárzás érzékelése közvetett módon történik: azt a hatást észleljük, illetve erősítjük fel makroszkópikus méretűre, amit a sugárzás által a környezetnek átadott energia a környezetben kivált.

Az érzékelőberendezések csoportjai:

A) részecskék nyomát láthatóvá tevő detektorok:

- fotoemulzió;
- szilárdtest-nyomdetektorok;
- ködkamra;
- buborékkamra.

B) részecskeszámlálók:

- ionizációs kamra;
- Geiger-Müller-számlálócső (GM-cső);
- szcintillációs számláló;
- termolumineszcens dózismérő;
- félvezető-detektor.

I. 1. 4. Sugárdózisok

Anyaggal kölcsönhatásban a sugárzás részecskéi energiájukat a közeg atomjainak, molekuláinak ionizálására fordíthatják.

Fajlagos ionizációnak nevezzük azoknak az ionoknak a számát, amelyeket a sugárzás részecskéi valamely közegen áthaladva egységnyi úthosszon keltenek. Mértékegysége: cm^{-1} .

Az ionozáció miatt a sugárzás részecskéi veszítenek energiájukból és sebességükből, s így a sugárzás intenzitása és fluxusa a vákuumbeli $1/r^2$ -es törvénynél gyorsabban csökken. Kisebb energiák és nagyobb rétegvastagságok esetén az azonos kezdeti energiájú részecskék az elnyelő anyagdarab többé-kevésbé jól meghatározott mélységű rétegéig jutnak el, s ott fogva maradnak. Ezt nevezzük behatolási mélységnek, illetve hatótávolságnak:

$$D = \frac{C}{\rho_e} \cdot \frac{E^{1,73}}{A \cdot Z^2},$$

ahol C: közegre jellemző állandó

ρ_e : elektronok sűrűsége a közegben

E: bejövő részecskék energiája

A: bejövő részecskék tömegszáma

Z: bejövő részecskék rendszáma

Az ionizáló sugárzások nemcsak az élő, biológiai anyagot károsítják, hanem a közeg részecskéinek ionizálásával minden anyagban fizikai változásokat, károsodásokat okozhatnak.

A károsodást az anyagban elnyelt energia okozza. A tömegegységenként elnyelt energia az elnyelt dózis. Egysége: 1 Gy (gray) = 1 J/kg.

A különböző sugárzások által a különböző szövetekben elnyelt dózis nagyon különböző lehet. Az elnyelt energia mérésével a dozimetria foglalkozik.

Azonos fokú biológiai károsodást okozó, de különböző eredetű dózisokat biológiai szempontból egymással egyenértékűnek tekintünk. A dózisegyenérték $H = D \cdot Q \cdot q$,

ahol D : elnyelt dózis,

Q : sugárzás minőségi faktora,

q : besugárzott objektum minőségi tényezője.

Egysége: Sv (sievert).

Az effektív dózisegyenérték a különböző szövetek eltérő kockázatnövelő hatását figyelembe vevő biológiai dózisfogalom:

$H_E = \sum \omega_T \cdot H_T$, ahol H_T : átlagos dózisegyenérték a T szövetben

ω_T : súlyozó tényező, amely a T szövetből

származó sztochasztikus hatás

kockázatának hányadát jelenti az

egyenletes egészttest besugárzásból eredő

kockázathoz viszonyítva.

A sugárzások késői sztochasztikus hatásainak leírására szolgál. Késői károsodás szempontjából az egyént ért effektív dózisegyenérték határozza meg a kockázatot. Ha kockázatként vesszük a halálos kimenetelű rákos vagy egyéb betegség előfordulását, illetve a következő két generációban öröklődő egészségkárosodás felléptét, akkor az egyes szövetekre, szervekre vonatkozó súlytényezőket a következő táblázat foglalja össze:

1. táblázat

Ez a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság ajánlása.

I. 1. 5. Ionizáló sugárzások biológiai hatása

Az emberiség már évmilliók óta állandó sugárzásnak van kitéve. Ez négy fő, térben és időben változó ténynek tulajdonítható:

1. fotonokból és nagy energiájú részecskékből álló sugárzásnak;
2. az emberi testben lévő radioaktív anyagoknak (^{40}K , rádium és származékai, ^{14}C);
3. nukleáris hulladékoknak;
4. a földben és légkörben lévő radioaktív anyagoknak.

A magsugárzásoknak élő szervezetre kizárólag roncsoló hatásuk van a sugárzások ionizáló képessége miatt. Persze ezt a roncsoló hatást a gyógyításban fel tudják használni a rosszindulatú daganatok, sejtburjánzások kezelésére. Például a rádium által kibocsátott alfa-, béta- és gamma-sugárzás erősen baktériumölő hatású, ezenkívül megállítja a szövetek elroncsolódását és a sejtosztódást.

A sugárhatást befolyásoló legfontosabb tényezők:

- a) a sugárzás fajtája;
- b) besugárzási idő;
- c) az egyedek sugárérzékenysége közötti különbség;
- d) a szövetek, szervek sugárérzékenysége közötti különbség.

Az emberi szervezetet ért sugárártalmakat szomatikus (a besugárzott egyén károsodásához vezető) és genetikai (az utódokban jelentkező, örökletes) sugárhatásokra osztjuk.

A sugárzások nem egyforma hatással vannak a szervezet különböző sejtjeire. Csökkenő sugárérzékenység szerint a következő sorrendet állapították meg: vérképző szervek, nemi mirigyek, szem, bőr, emésztő szervek, tüdő, vese, kötőszövetek, csont-, izom- és idegszövetek. Valamennyi magsugárzás rövidebb-hosszabb lappangási idő után a dózistól és egyéb körülményektől függő valószínűséggel rákos burjánzást is előidézhet.

I. 6. Védekezés ionizáló sugárzások ellen

A radioaktivitás elleni védelemben a szervezetet ért ionizáló sugárzások mennyiségét a lehető legkisebbre kell csökkenteni.

Ennek érdekében:

- minimumra kell csökkenteni az ionizáló sugárforrások közelében eltöltött idő nagyságát;
- csipeszek, fogók, segítségével növelni kell a sugárforrás távolságát;
- megfelelő árnyékolóanyagokat kell alkalmazni

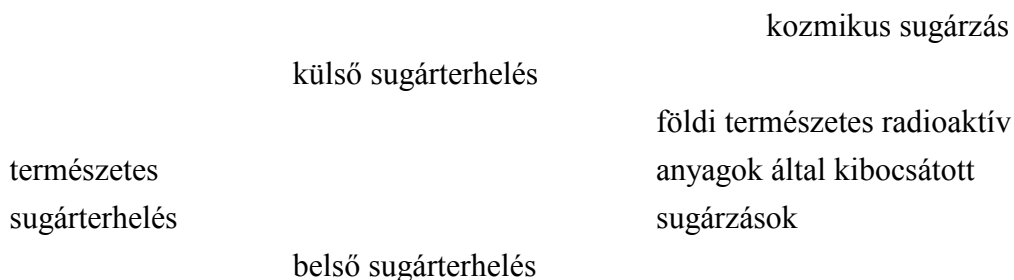
Például már egy papírlap vagy egy pulóver is felfogja az alfa-sugarakat, egy alumíniumlemez a béta-sugarakat, de egy betonfal sem képes teljes mértékben felfogni és elnyelni a gamma-sugarakat, így a gamma-sugarak árnyékolására ólmot szoktak használni.

A sugárvédelem alapelve, hogy az emberi sugárterheléssel járó tevékenység okozta egészségkárosodás kockázatát elfogadható szinten kell tartani. Ez az elv képezi a Nemzetközi Sugárvédelmi Bizottság sugárvédelmi ajánlásainak és dóziskorlátozási rendszerének alapját, amelyet a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség beépített a Sugárvédelmi alapszabályzatába, amit hazánk is elfogadott.

A dóziskorlátozás azt jelenti, hogy az egyéni sugárterhelés nem haladhat meg egy megállapított értéket. Ebben a rendszerben megkülönböztetik a lakosságot a foglalkozásszerűen sugárveszélyes tevékenységet végzőktől. A lakosságra vonatkozóan az effektív dózisegyenérték korlát 5 mSv, a sugárveszélyes munkát végzőknél 50 mSv egy évre. Ezek az elsődleges korlátok. Belső sugárterhelés esetén másodlagos korlátokat állapítottak meg az egyes radioizotópokra vonatkozó éves felvételre vonatkozóan. Ezek közül csak néhány fontosabbat említünk meg:

I. 1. 7. Természetes eredetű sugárterhelés

A Földet kialakulása óta érik különböző eredetű ionizáló sugárzások. Az emberi tevékenységtől független sugárterhelést természetes sugárterhelésnek nevezzük.



I. 1. 7. 1. Kozmikus sugárzás

1902 táján egy újfajta sugárzást fedeztek fel, ami olyan rettenetes energiájú, hogy a világmindenség valamennyi más sugárzásának energiája eltölpül mellette, viszont intenzitása kicsi, és a légkörben egy része elnyelődik. A kozmikus sugárzást 1911-ben HESS és KOHLHÖRSTER mutatta ki magasba bocsátott léggömbökkel. A kozmikus sugárzás nagy energiájú, ionizáló sugárzás. Megkülönböztetünk primer és szekunder kozmikus sugárzást aszerint, hogy mi érkezik közvetlenül a világűrből, és mi keletkezik úgy, hogy a légkör atomjaival, molekuláival ütközik.

A primer összetevője részben a Galaktikából — távoli galaxisokból és csillagokból —, részben a Napból származik. A földi atmoszféra felső rétegébe érkező sugárzás főleg ionizált részecskékből áll: 87 % proton, 12 % alfa-rész, 1 % nehezebb atommag. Ezek energiája 10^6 eV-től 10^{19} eV-ig terjed. Az elsődleges sugárzás csak bizonyos küszöbimpulzus felett jut le a Föld felszínére. Ez a küszöbimpulzus a részecske típusától és a földrajzi szélességtől függ.

A szekunder sugárzást a földi atmoszférában az elsődleges sugárzás hozza létre úgy, hogy a részecskék a levegő molekuláival ütköznek, és magreakciókat, másodlagos részecskéket hoznak létre. A másodlagos összetevő így nukleonokat, mezonokat, elektronokat, neutrínókat, röntgensugárzást, gamma-sugárzást stb. tartalmaz. A másodlagos kozmikus

sugárzás újabb másodlagos részecskéket hozhat létre, s végeredményben egy sor radioaktív elem keletkezik (^3H , ^7Be , ^{10}Be , ^{22}Na , ^{24}Na , ^{14}C stb.). Ha a primer részecske energiája elegendően nagy ($>10^{14}$ eV), akkor a sugárzás több száz méter sugarú területre kiterjedő kozmikus zápor formájában ér le a Föld felszínére.

A kozmikus sugárzás különböző radioizotópokat hoz létre, ezek a légkör keveredése révén kerülnek a Föld felszínére, vagy az eső bemossa őket a Föld belsejébe. Így kerül például a trícium a vizekbe.

A Föld mágneses tere jelentős védelmet nyújt a világűrben érkező elektromos töltésű részecskék ellen, azokat a mágneses pólusok felé terelve. Emiatt a kozmikus sugárzás okozta dózisterhelés függ a földrajzi helytől. A légkör is védő hatást fejt ki, ezért a kozmikus sugárzás okozta dózisteljesítmény (időegységre vonatkoztatott dózis) a magassággal együtt nő.

A kozmikus sugárzás felfedezése felhívta a figyelmet arra, hogy a földi légkörnek milyen nagy szerepe van a földi élet védelmében a kozmikus sugárzás ártalmaival szemben.

I. 1. 7. 2. Földi eredetű természetes sugárterhelés

A Földben vannak olyan radioizotópok is, amelyek még abból a szupernova robbanásból származnak, amelyben a Föld anyaga keletkezett, s amelyek felezési ideje a Föld életkoránál hosszabb. Ezeket a következő táblázat foglalja össze:

IZOTÓP	FELEZÉSI IDŐ (év)
^{40}K	$1,28 \cdot 10^9$
^{87}Rb	$47,0 \cdot 10^9$
^{238}U és bomlási sora	$4,49 \cdot 10^9$
^{232}Th és bomlási sora	$14,1 \cdot 10^9$

Ezeken kívül számos hosszú felezési idejű, de igen kis koncentrációjú radioaktív elem ismeretes (pl. ^{144}Nd , ^{190}Pt), amelyek azonban az ilyen eredetű sugárzás átlagos értékét alig befolyásolják. A földi eredetű természetes sugárterhelés legnagyobb részét ezen izotópok gamma-sugárzása okozza.

A talaj fölött mért gamma-sugárzási tér függ a talaj összetételétől, nedvességtartalmától, a talajt esetleg borító hóréteg vastagságától, de függ még a légköri viszonyoktól is. Ez utóbbira az a magyarázat, hogy az urán és a tórium bomlási sorához tartozó ^{222}Rn (radon), illetve ^{220}Rn (toron) gáz a talajból kilép, de hogy milyen sebességgel, s a kilépés után a talaj közelében marad-e vagy sem, az a légköri viszonyoktól függ.

I. 1. 8. A radonvizsgálat fontossága

Mint már az előzőekben bemutattuk, a Föld lakosságát természetes eredetű sugárforrásokból állandó expozíció éri. Ennek átlagos dózisa világméretben 2,4 mSv, ami a lakosság évi teljes sugárterhelésének kb. 68 %-át teszi ki. A radonkérdés részletes elemzését már az is indokolja, hogy ennek a dózisértéknek a fele, mintegy 1,2 mSv évi dózisterhelés a radontól és bomlástermékeitől származik.

Forrás	Külső sugárzás μSv	Belső sugárzás μSv	Összesen μSv
Kozmikus sugarak	355	—	355
Kozmogén radionuklidok (^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na)	—	15	15
Őseredeti radionuklidok (^{40}K , ^{87}Rb)	150	186	336
^{238}U bomlási sor	100	1239	1339
^{232}Th bomlási sor	160	176	336
Összesen kerekítve	770	1600	2400

2. táblázat A természetes forrásokból származó dózisértékek átlagos háttér esetén

A természeti forrásokból származó radon okozta sugárzás, a radonexpozíció elsősorban a föld alatti bányák munkahelyi sugáregészségügyén túlmenően lakóhelyi, közegészségügyi, illetve sugáregészségügyi kérdéssé vált napjainkra. Ennek magyarázata az, hogy a radontól származó sugárzás tulajdonságait, az emberi szervezetre gyakorolt hatását nem is olyan régen fedezte fel a tudomány. Így a védekezésben még igen kis eredményeket

sikerült elérni, hiszen kevés helyen végeztek már méréseket a radonkoncentrációra vonatkozóan. Emiatt igen fontos a jelenség, a források, az előforduló expozíciós értékek és ezek egészségi hatásainak az ismerete az expozíció megelőzésére, csökkentésére tehető intézkedések miatt. Minden országban kívánatos lenne a lakosság radonexpozíciójának felmérése az épületek belső tereinek mérésével, az építőanyagok radioaktivitásának meghatározásával, a természetes vízforrások radonaktivitás-koncentrációjának meghatározásával.

I. 2. RADONRA VONATKOZÓ ISMERETEINK

I. 2. 1. A "radonkérdés"-hez vezető út

Már a XVI. századtól ismerik a bányászok idült légúti betegségét. A tüdőrák okának korábban az arzént és a szilikogén kőport, a toxikus fémeket tartották. RUTHERFORD 1900-ban — a radioaktivitás felfedezése után két évvel — fedezte fel a radont, régebbi nevén az emanációt. Már 1908-1912 között Szászországban a források radioaktivitástartalmát vizsgálva derült ki, hogy a bányákban a víz és a levegő nagy mennyiségű rádiumemanációt tartalmaz. LUDEWIG és LORENSER mutatták ki először a rádium és a tüdőrák közötti összefüggést. Harminc évvel később jöttek csak rá, hogy a tüdőrákért a radon rövid felezési idejű bomlástermékei a felelősek, melyek belégzés során kerülnek a tüdőbe és lerakódnak.

A '80-as években felismerték, hogy a földkéregből származó radon zárt terekben bedúsulhat. Egyes országokban elismerték, hogy zárt terekben olyan radonkoncentráció is kialakulhat, mint a korszerű vagy kevésbé korszerű uránbányákban [9].

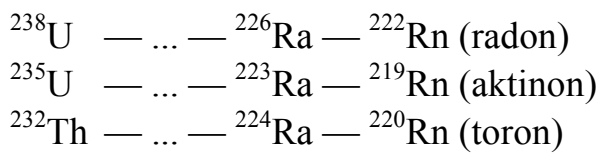
Ezek a felmérések vezettek odáig, hogy ma már tudományos intézetek, társaságok, nemzetközi szervezetek részletesen foglalkoznak a "radonkérdés"-sel.

I. 2. 2. Radont tartalmazó radioaktív bomlási sorok

A radon a nemesgázok csoportjába tartozó radioaktív elem. A periódusos rendszer 86. eleme, jele : Rn.. Szintelen, szagtalan gáz, sűrűsége $9,73 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, olvadáspontja -71°C , forráspontja $-61,8^\circ\text{C}$. 17 izotópja ismert a 204-223

tömegszámok között. Ezek közül a ^{222}Rn felezési ideje a legnagyobb: 3,82 nap. A természetben előforduló izotópjai: ^{218}Rn , ^{219}Rn , ^{220}Rn , ^{221}Rn , ^{222}Rn . A földkéregben részaránya $6,2 \cdot 10^{-16} \%$, ami az elemek között a 88. helyet jelenti. Néhány nemesgáz vegyülete ismert.

A földkérgi eredetű radionuklidok (radioaktív atommagok) három bomlási sorának mindegyikében képződik radon:



Ezen természetes radioaktív bomlási sorok:

2. ábra

Mivel ezeknek a bomlási láncoknak az atomjai megtalálhatók minden természetes anyagban, így könnyen a levegőbe jutnak. Ezek közül a legfontosabb a radon (^{222}Rn) levegőbe jutása, mivel — mint már említettem — felezési ideje 3,82 nap. Így a keletkezési helyétől nagy távolságokra is eljut egyrészt diffúzióval, másrészt gáz-, lég- és vízmozgások közvetítette transzport révén.

A toron felezési ideje 55 sec, így atomjai már a forrás közelében elbomlanak, zárt terekben csak nagyon kivételes körülmények között fordulnak elő nagyobb koncentrációban. Ezekhez képest az aktinon a 3,9 sec-os felezési ideje, valamint a természetes uránban található kis koncentrációja ($^{235}\text{U}/^{238}\text{U}=0,00725$) miatt az expozícióhoz való hozzájárulása igen kicsi.

Mint minden radioaktív elem, a ^{222}Rn is elbomlik más elemekké. Bomlása során nagy energiájú α -részecskéket bocsát ki. Bomlástermékei között is van két α -sugárzó izotóp, a ^{218}Po ($T_{1/2}=3,05$ min) és a ^{214}Po ($T_{1/2}=164$ μs). A polónium további bomlások után végül ólom 206-tá válik.

Az egészségi hatásukat sugárzásuk révén főleg ezek a bomlástermékek okozzák, és nem a radon maga.

I. 2. 3. A ^{222}Rn egészségi hatásai

A radon és rövid felezési idejű bomlástermékei a légzés során és vízben oldva jutnak be az emberi szervezetbe. A radon bomlása során keletkezett nuklidok többsége a levegőben található por és füst részecskékhez kötődik, ami által radioaktív aeroszol képződik. Az aeroszol részecskékhez tapadt nuklidok a hörgők és a tüdő belső felületét borító bronchiális és alveoláris hámsejteket közvetlenül sugározzák be. Az alfa-részecske hatótávolsága élő szövetben 30 μm körül van, így a célpont-sejtek éppen ebbe a tartományba esnek. A tüdőbe jutó radioaktivitás függ a légzés, a levegővétel gyakoriságától, a belélegzett levegő mennyiségétől. A radon és nem kötött bomlástermékei a tüdő hólyagocskáin keresztül bekerülhetnek a vérbe, és a test nedveiben oldódva a szervezet bármely részébe is eljuthatnak.

Az ivóvízzel vagy táplálékkal a gyomorba jutó radon és bomlástermékei a gyomorfal sejtjeire és a bélbolyhokra hathatnak. A nagy radon-koncentrációjú ivóvizek jól becsülhető sugárdózist jelentenek a gyomor számára. Az ivóvízből származó dózis csak mintegy 10 %-a a radontól származó összes dózissal, de megbecslése nehéz. Az Egyesült Államokban az ivóvízben

megengedett radonkoncentráció 3,7 Bq/l [9]. Az ilyen víz fogyasztása 10^{-4} többletkockázatot jelent a rosszindulatú daganat képződésében. (Kockázaton valamely káros esemény bekövetkezési valószínűségének és a kárnak a szorzatát értjük. Az egyes foglalkozásokkal is járnak kockázatok. Minden tevékenység nem csak a tevékenységet végzőre, hanem az egész társadalomra nézve is jelent valamekkora kockázatot. Egyes foglalkozásokra nagyjából megállapítható egy kockázati érték /a halálos munkahelyi ártalom effektív valószínűsége/). Az Egyesült Királyságban a javasolt határ 100 Bq/l [9].

Ha a radon és bomlástermékei a bőrfelületet szennyezik, akkor a bőrhám oszló sejtrétegeinek sejtjei válhatnak célponttá. Egy uránfeldolgozó üzemben végzett felmérések alapján, alfa-sugárzásból származó bőrdózist csak a fedetlen (pl. szem) és a vékony bőrrel fedett testfelületek kapnak.

Az alfa-sugárzás viszonylagos biológiai hatékonysága mintegy 20-szor nagyobb, mint a röntgen-, gamma- vagy béta-sugárzásé. Ennek oka a rövid távolságon belüli nagy energiaátadás. A környezetünkben megfigyelhető radonkoncentrációktól eredő sugárdózis biológiai hatását tekintve a sztochasztikus tartományba tartozik. Ha egyáltalán kialakul biológiai hatás, ez általában 15-20 év lappangási idővel megjelenő sejtburjánzás lehet.

I. 2. 4. Radontól eredő aktivitás az emberi környezetben

A radon átlagos aktivitás-koncentrációja az emberi környezet egyes elemeiben igen változó lehet.

A talajban az értékek függenek a talaj minőségétől, összetételétől, porozitásától. A felszíni vizekben a koncentrációk ezeknél kisebbek. A talaj-, víz-, földgáz-eredetű radonaktivitás-koncentrációk a bányákban, alagutakban, fürdőkben akár 5 nagyságrendnyi eltérést is mutathatnak. Barlangokban is igen nagy koncentráció értékek alakulhatnak ki.

3. táblázat

A belső terek, lakások radonforrásai:

- épület alatti talajból;
- építőanyagokból;
- beáramlás a külső levegőből a szellőzés révén;
- felszabadulás a vízvezetéki vízből és a természetes földgázokból.

Az első 3 forrás a legjelentősebb, a negyedik csak akkor jelentős, ha azok radontartalma igen nagy. A radonkoncentráció kellő szellőzés hiányában bedúsul.

A lakások levegőjében mért koncentráció ezek alapján függ attól, hogy az épület alá van-e pincézve, mi az építőanyag (tégla, vályog, beton), milyen a szellőztetés mértéke, milyenek a meteorológiai viszonyok. A radon aktivitás-koncentrációja általában épületeken belül sem egységes. Az átlagos radonkoncentráció a lakószobában $0,2 \text{ Bq/m}^3$, a konyhában $3,0 \text{ Bq/m}^3$, és a fürdőszobában $8,5 \text{ Bq/m}^3$.

A sugáregészségügyi ajánlások és rendelkezések megadnak bizonyos dóziskorlátokat a dolgozók és a lakosság biztonsága érdekében. A lakosság egyedeire vonatkozóan radon- vagy radon-bomlástermék

felvételi korlát nincs. Új épületekben az ajánlott koncentráció 200 Bq/m^3 , a meglévő épületekben 400 Bq/m^3 .

A nagy koncentrációk csökkentésére műszaki lehetőségek is rendelkezésre állnak: építőanyag megválasztása, épület szigetelése, légelszívó berendezések beépítése.

Mindehhez azonban szükség van környezetünk radonkoncentrációjának kimérésre. Már számos országban — pl. Svédországban, az Egyesült Királyságban, az Egyesült Államokban stb. —, így hazánkban is több helyen, folynak felmérések a lakóházak levegőjének, az ivóvizek és a forrásvizek radonkoncentrációjának megállapítására.

I. 2. 4. 1. Nemzetközi radonvizsgálati eredmények

I. 2. 4. 1. 1. A radonhelyzet Svédországban

Svédországban már 1955-56-ban kezdték vizsgálni a lakóépületek levegőjének radontartalmát. 300 lakásban végeztek méréseket, melyet Rolf Sievert vezetett.

Az ország sok vidékén a talaj urániumtartalma igen magas, és a csapvízben is sok a radon. A mért beltéri levegőbeli koncentrációk magasabbak, mint sok más országban. 1980-82. évi felmérés szerint a lakásokban az átlagkoncentráció 50 Bq/m^3 . Azonban a lakások 3 %-ában több, mint 200 Bq/m^3 -t mértek, míg 15 % -ában 70 Bq/m^3 -t. Ennek oka lehet az előbb felsorolt sajátosságok illetve az, hogy a hideg éghajlat miatt egyre jobban tökéletesítik a nyílászárók szigetelését, így csökken a légcseré.

Sok vidéken a háztartási vizet mélyfúrású kutakból veszik. Ott, ahol a talaj uránban és pegmatitban gazdag, a víz gázleadása révén jelentős mennyiségű radon kerülhet a levegőbe. Pl. ha a víz radonaktivitáskoncentrációja 100 Bq/l , ott a ház levegőjében 100 Bq/m^3 is lehet a radonszármazékok aktivitáskoncentrációja [10].

1988-ban csapvízben is végeztek méréseket: 375 vízmű vizében és 499 magántulajdonban lévő mélykút vizében. Vízművek esetében az átlag 20 Bq/l , ami viszonylag alacsony, a legnagyobb érték 100 Bq/l -nek adódott.

Mély fűrt kutak vizében az átlag 210 Bq/l, a maximális mért érték 8860 Bq/l volt. A lakosságra kiszámolt átlag 38 Bq/l [10].

A méréseket kezdetben α -nyomdetektorral végezték, majd passzív radonmonitorokat, faszén-detektorokat használtak. A mostanában használatos módszer: α -nyomdetektorokat szűrővel elzárt poharakban alkalmaznak.

A radonkoncentráció csökkentésére a radon eredetétől függően különböző eljárások ismertek.

A talajból származó radon ellen a szivárgási utak elzárása, az épület alól történő kiszivattyúzás, és radonkút létesítése a megoldás.

Az építőanyagból származó koncentráció csökkentése történhet egy intenzív szellőztetéssel és szellőzőberendezések alkalmazásával. Svédországban megszüntették a timföld-pala alapanyagú könnyűbeton gyártását, és szabályzat korlátozza az építőanyagok aktivitáskoncentrációját.

A fűrt kutakból származó vizet háztartási felhasználás előtt gáztalanítani kell olyan berendezéssel, ami a kereskedelemben kapható.

A radonszintek csökkentéséhez szükséges teendőket Svédországban egy Radonbizottság irányítja, mely meghatározta a lakóházak és munkahelyek levegőjének maximálisan megengedhető radonkoncentráció értékét (200 Bq/m^3), és a radonszintek csökkentéséért felelős hatósági szerveket jelölt ki.

I. 2. 1. 4. 2. Ivóvíz ^{222}Rn tartalmának mérése Ausztriában és Arizonában

Már a legtöbb országban szigorú korlátozás van az ivóvízben lévő ^{226}Ra maximálisan megengedhető koncentrációjára vonatkozóan. Ez az érték Ausztriában $0,122 \text{ Bq/l}$ [12]. A ^{222}Rn koncentrációjára ilyen korlát még nem létezik, csupán egyes országokban (pl. Svédországban) a Nemzeti Egészségvédelmi Bizottságok tesznek ajánlásokat a megengedhető koncentrációra.

Éppen ezért végezték el Ausztriában és Arizonában a következő vizsgálatokat: folyadékszintillációs méréssel Arizonában, Carefree

területén 26 kútban, Ausztriában pedig az ország észak-keleti részén lévő vizekben mérték a ^{222}Rn koncentrációját.

1. grafikon

A kapott eredményeket az 1. grafikon mutatja, melyről leolvasható, hogy hány kútnál mekkora koncentrációkat mértek. Eszerint a kutak 42 %-ánál (11 kút) a koncentráció 100 Bq/l fölött volt. 150-200 Bq/l volt az a koncentráció, melyet a legtöbb kútnál találtak.

1-2 kútnál mértek 10 — 60 Bq/l közötti értékeket. Ezek az értékek is igen magasak, megközelítik az atomerőművek közelében élő emberek környezetében mérhető koncentrációkat [12].

Az ausztriai mérések eredményeit a 3. ábra mutatja.

3. ábra

Az ábrából látható, hogy sok helyen a radonkoncentráció értéke meghaladja a 100 Bq/l-t, sőt egyes területeken az 500 Bq/l-t is.

Az eredmények azt mutatják, hogy Ausztriában és Arizonában is vannak olyan területek, ahol a lakosság veszélyeztetve van az ivóvizek nagyon magas radonkoncentrációja miatt.

I. 2. 4. 1. 3. Kútvizek radonkoncentrációjának hozzájárulása a lakások levegőjében mért radonkoncentrációhoz az Egyesült Államokban

A lakások levegőjében mért magas radonkoncentrációt olykor kapcsolatba hozhatjuk a vezetéken keresztül a lakásba jutott vízzel.

Az amerikai lakosság 18 %-a magánkutakból származó vizet használ. Ezekben a kútvizekben sokkal magasabb a radonkoncentráció értéke, mint a vezetékes vízben. Mérések alapján például találtak Maine államban a kútvizekben $7 \cdot 10^2$ — $7 \cdot 10^6$ Bq/m³ koncentrációt, míg

gránátos területeken lévő kutakból származó vizekben átlagosan $8 \cdot 10^5$ Bq/m³ a mért radonkoncentráció.

A felmérések során megállapították, hogy azokban a lakásokban, ahol magánkutakból származó vizet használnak, kb. 20 Bq/m³-rel járulnak hozzá ezek a vizek a beltéri levegő radonkoncentrációjához, s így itt magasabb koncentráció mérhető a levegőben is. Sőt, a házak kb. 10 %-át látják el olyan kutakból, amelynél ez a járulék 40 Bq/m³ vagy még több [13]. Ezeket az értékeket befolyásolja a ház térfogata, a szellőzés mértéke, a vízhasználat mértéke.

Tehát ezek alapján kiszámolható, hogy azokat az embereket, akik magánkutakból származó vizet használnak, nagyobb dózis éri, — főleg ott, ahol a víznek még nagyobb a radonkoncentrációja —, mint azokat, akik vízvezeték hálózaton keresztül kapják a vizet otthonukba.

I. 2. 4. 1. 4. Radon a vízvezetéki vizekben Nagy-Britanniában

A hazai vízkészlet radontartalmának mérését az Egyesült Királyság 504 iskolájában végezték el 1991-ben. E vizsgálat azon program része volt, hogy hogyan lehetne a Nemzeti Tananyagba beépíteni a radon és az alfa-sugárzás mérését. A méréseket TASTRAK detektor segítségével végezték.

Ez egy egyszerű detektor, ami vízfelszín közelébe helyezett nyomdetektoros technika alapján működik.

4. ábra

1991. tavaszán 800 iskolába küldték el a mérés leírását, a feladatokat és az alább megadott eljárás vázlatát.

500 ml csapvizet (ami még nem ment keresztül a vízlágyítón) 500 g-os fém kávésdobozba (pl.: Nescafé) engedtek, amit háztartási fólia vett körül. Ezen kávésdoboz belsejében helyezték el a detektort, ami a levegőben levő radont méri. Ezt úgy oldották meg, hogy az α -detektort egy joghurtos edény aljára tették, majd a doboz száját is befedték háztartási fóliával, s az egészet a kávésdoboz fedeléhez erősítették, és a fedővel szorosan lezárták a kávésdobozt.

A víz felszínéről radon lép ki addig, amíg a víz és a körülötte lévő levegő között be nem állt az egyensúly. A detektorral 6 napig mértek, azután a joghurtos dobozról eltávolították a detektort, és beküldték a Bristol Egyetemre kiértékelésre. Ott a filmeket néhány hónapi exponálás után kimaratva kivetítették egy képernyőre, és megszámozták az 1 cm^2 területen levő α -beütésnyomot. Ebből a számból meghatározható a koncentráció. Ezután az egyetem visszaküldte az iskolába a detektort, hogy a gyerekek sajátmaguk is elvégezzék a kiértékeléseket.

A detektor kalibrálása egy olyan vízminta mérése alapján történt, amelyben ismerték a ^{226}Ra koncentrációt.

Ezen ismert koncentráció felhasználásával levezethető [14], hogy

$$\text{radon-222 koncentráció} = \frac{\text{beütésszám } 1 \text{ cm}^2 \text{ területen}}{36,6} \\ \text{Bq/l-ben}$$

A mérések eredményét a 2. grafikon mutatja.

2. grafikon

A csapvízben mért radon-értékek mindegyike alacsony, a legtöbb érték 0-2 Bq/l közé esik, ez az érték jóval alatta van az Egyesült Államokban mérteknek [14].

A háztartási folyamatok során a vízből kibocsátott radon a levegőben $1 \cdot 10^{-4}$ -szer akkora koncentrációt idéz elő, mint a vízben [14]. Ez azt jelenti, hogy ha a vízben a koncentráció 1 Bq/l, akkor a levegőbeli értékhez $0,1 \text{ Bq/m}^3$ koncentrációval járul hozzá.

1. 2. 4. 1. 5. Természetes radionuklidok a gyógyvizekben és a termáliszapban

Olaszország egyik híres gyógyfürdőhelye Pádua szomszédságában ABANO TERME, már a rómaiak óta híres gyógyvizéről, mely nagyon hatásos mozgásszervi panaszokra.

Ez a vidék igen sziklás, sok a vulkáni kőzet, és a vulkáni eredetű kőzetekben sok az urán és a tórium, ami a mélyből eredő vizek nagyobb radioaktivitását eredményezi. Ezért a radon túlzott jelenlétét mindig vizsgálni kell.

A radioaktivásra vonatkozó mérések egyszerű α - és γ -spektrométerrel történtek, így a természetes radionuklidok többségének (pl. ^{238}U , ^{234}U , ^{232}Th , ^{230}Th , ^{228}Th , ^{226}Ra , ^{222}Rn és ^{40}K) aktivitását sikerült megmérni a forró forrásokban és az iszapban.

A víz- és iszapmintákat 6 gyógylétesítményből gyűjtötték össze, melyek Abano Terme körzetébe esnek. A 60-85 °C-os vízmintákat közvetlenül onnan vették, ahol a földből feltör a víz. A termáliszap (kék agyag) az Arqua Petrarca termál-tó fenekén levő iszapréteg alatt található. A tó felszíne kb. $20\,000 \text{ m}^2$, és 6 m mély.

A mért koncentrációkat az 4. és 5. táblázat tartalmazza [15]:

Radionuklid koncentrációk iszapban (Bq/kg)

	1	2	3	4	5	6	7
²³⁸ U	43±3	42±3	51±3	57±3	47±3	70±4	49±3
²³⁴ U	70±3	54±2	74±4	75±3	65±3	78±4	70±4
²³² Th	32±2	37±2	32±2	32±2	31±2	35±3	34±2
²³⁰ Th	58±3	56±2	62±3	66±3	51±2	60±3	62±4
²²⁸ Th	48±3	67±3	65±3	90±6	63±4	65±5	70±5
²²⁸ Ac	31	34	59	73	59	54	45
²¹⁴ Bi	157	138	140	192	176	450	84
⁴⁰ K	422	459	410	475	455	460	421
²¹⁰ Pb	174	228	127	166	164	360	128
²¹² Pb	43	46	61	102	81	68	57
²¹⁴ Pb	203	177	178	254	230	580	110
²⁰⁸ Tl	11	13	18	30	22	16	17
¹³⁷ Cs	0	2	2	4	4	5	5
²²⁶ Ra	367	341	365	458	437	1208	210

4. táblázat

Radionuklid koncentrációk vízben (Bq/l)

Minták	1	2	3	4	5	6	7
²²² Rn	130±2	4,5±0,2	451±5	244±3	26±1	150±2	37±1
²²⁶ Ra	1,9±0,1	0,3±0,02	2±0,4	1,6±0,4	2,3±0,4	6,4±1,2	<0,05
²²⁶ Ra*	1,9±0,1	0,3±0,02	1,9±0,1	1,7±0,1	2,0±0,1	4,8±0,2	0,05±0,02
²²⁸ Ra	0,95±0,1	0,32±0,1	1,1±0,14	0,96±0,12	0,19±0,1	0,45±0,12	0,18±0,07

5. táblázat

A hét különböző iszapminta aktivitása egymáshoz képest nagyjából hasonló, míg a különböző forrásvizekben megfigyelt radionuklid-koncentrációk igen eltérők voltak, főleg a radont és a rádiumot illetően. Az eltérések eredhetnek abból, hogy a kutak vizének hőmérséklete, mélysége, a víz felszínre vezető útja a különböző kutaknál más és más.

Az embereket érő dózis függ a javasolt kezelés típusától, időtartamától. Egy gyógyterápia rendszerint 12 iszapos pakolást (20-20 perces) és 10-10 perces gyógyfürdőzéseket tartalmaz.

Az iszapos pakolásból származó dózis hozzávetőlegesen a következő képlettel határozható meg [15]:

$$D=0,048C_K+0,49C_{Ra}+0,76C_{Th}, \text{ ahol}$$

C: különböző radionuklidok koncentrációja Bq/kg-ban

D: dózis mértéke nSv/h-ban

Az adatokból ezen képlet alapján azt kapjuk, hogy 1 páciensre az iszaptól származó dózis 0,5-2 μ Sv/év.

A termálvízből eredő dózis elsősorban feloldódott radonból és rádiumból származik, ez kb. 0,2 μ Sv/év [15], mivel a forrás vizét a medencébe engedés előtt bizonyos arányban összekeverik vezetékes vízzel.

Külön meghatározták a gyógyfürdőben dolgozó személyzetet érő dózis nagyságát is. Ennek értéke 40-100 μ Sv/év, ha a dolgozó 1800 órát dolgozik egy évben. Tehát a gyógyterápiában részesülő pácienseket a környezet természetes radioaktív sugárzásához képest a vízből és a levegőből származó radioaktív sugárzásból adódóan elhanyagolhatóan kis dózis éri.

I. 2. 4. 2. Magyarországi radonmérési ismeretek

Több országban — így Magyarországon is — folynak programok a radonkoncentrációk felmérésére a lakóépületekben. Foglalkoznak a természetes forrásvizek és az ivóvizek koncentrációjának mérésével is, de ilyen adatokból jóval kevesebb áll rendelkezésünkre, mint a levegőben mért eredményekből. A közzétett mérési eredmények közül most bemutatok néhányat.

I. 2. 4. 2. 1. Radonkoncentráció mérése levegőben

a) Az OSSKI (Országos Frédéric Joliot-Curie Sugárbiológiai és Sugár-egészségügyi Kutató Intézet) és az ATOMKI (Atomkutató Intézet) méréseket végzett 122 lakóépületben az ország különböző tájain. Ezen vizsgálatok a következő eredményeket adták [9]:

A vizsgált épületek		Átlagos radonaktivitás-koncentráció (Bq/m ³)	Sugárterhelés személyenként (mSv/év)
típusa	darab		
összesen felmért épület	122	55,2	2,2
téglaépület	76	46,5	1,8
— földszint	61	50,7	2,0
— emelet	15	29,3	1,2
vályogépület	15	87,4	3,5

6. táblázat

Látható, hogy az átlag 55 Bq/m³, azonban vályogháznál vagy vert falú háznál a koncentrációértékek magasabbak. Lakótelepi lakásokban az érték az átlagnál rendszerint kisebb.

b) Sátoraljaújhelyen és Edelényben ugyanígy beltéri levegőben mérték a koncentrációkat úgy, hogy az alfa-nyomdetektorokat szűrővel ellátott poharakba tették, s ezeket a poharakat a plafontól 0,5 m-re helyezték el a szoba közepén. 5 hónapos expozíciós idő után a pohárban lévő belső detektor által mért koncentráció átlagban 111 Bq/m³ volt, míg külső detektornál ez az érték 311 Bq/m³ [16]. A mérések során megfigyeltek évszakos változásokat és lakásparaméterektől való függést.

Évszakos változások [16]:

- a téli expozíció a nyárit kb. kétszeresen felülmúlja;
- az egyes személyek expozíciójában még nagyobb eltérések lehetnek, mivel télen a lakásokban a relatív benntartózkodási idő nagyobb.

Lakásparemeterektől való függés [16]:

— építőanyag típusa szerint:

blokk	4,8	
tégla	6,3	α -nyom/mm ²
kő	8,44	—————
vályog	12,0	150 nap

— talajjal való közvetlen kapcsolat szempontjából:

alá van pincézve:	6,78	
nincs alápincézve:	9,00	α -nyom/mm ²
		—————
		150 nap

c) Radonmérések Mátradereske térségében:

1992. januárjában mérésorozatot indítottak el az intenzívebbé vált gázszivárgás következtében a szén-dioxidon és metánon kívül megnövekedett radonszint mérésére, főleg a gázfeláramlás miatt veszélyeztetett térségben. A magyarországi környezeti radonészlelések talán eddigi legnagyobb értékeit lehetett mérni a házak lakóterében, pincékben, kutakban és a talajba fúrt lyukakban.

A gázfeláramlás dinamikájának és a meteorológiai paraméterek radontranszportra gyakorolt hatásának tanulmányozása céljából szükségessé vált a radonkoncentráció időbeli változásainak részletes tanulmányozása. A radonaktivitás-koncentrációt részben pillanatnyi mérésekkel, részben aktív szenes detektorokkal mérték.

A község területén akkor 130 darab nyomdetektoros radonmérőt helyeztek el lakóházakban (azóta már többet). Minden kiválasztott házban 18-30 napos expozíciós idővel történt a mérés.

A mért radonkoncentráció eloszlás legforróbb pontjai jó egyezésben vannak a talajban mért radon potenciál térképpel. Az eredményekben jól megmutatkozott a szoba alatti pince vagy az emelet koncentráció csökkentő hatása [17].

	átlag (Bq/m ³)
Az összes 130 lakásra	517
középső 70 lakásra	929
szélső 60 lakásra	134

3. grafikon

A mérési eredmények jól mutatják, hogy a radon a talajból származik: a legnagyobb értékeket a talajba mélyített fúrásokban, kútban, pincékben mérték. Innen továbbterjedve a lakószobákba az épület konstrukciójától, szelelő pontjainak elhelyezkedésétől függően különböző mértékben és dinamikával jut be.

d) Ez év március végén bezárták a tatabányai Egészségügyi Szakközépiskola 4 tantermét. Az ok: ezekben a helyiségekben a megengedett határértéknél nagyobb sugárterhelést mértek. Az egészségre a sugárzásnál is sokkal nagyobb veszélyt jelentő radon gáznak az elfogadott értékét mérték a szakemberek.

A nagy sugárterhelés oka, hogy 20 évvel ezelőtt az iskola és több más közintézmény építésekor olyan vörös salakot használtak fel, amely gamma-sugárzást bocsát ki azóta is folyamatosan.

A budapesti Sugárbiológiai Intézet főigazgató főorvosa kijelentette, hogy a szövetekben és sejtekben az elváltozások kialakulásához ezerszeres dózis szükséges. Az OSSKI-ban még folyik a mérések elemzése, s majd a jelentés elkészülte után kívánja az önkormányzat sugármentesíteni az iskolát és más közintézményeket. [Népszabadság; Magyar Hírlap; Népszava 1995. március 31-i száma]

I. 2. 4. 2. 2. Radonkoncentráció Magyarország karszterepein

A MTA Nukleáris Kutató Intézete 1978 óta végez radonkoncentrációra vonatkozó méréseket Magyarország különböző karsztvidékein található barlangok levegőjében, a barlangokban áramló vizekben, illetve néhány felszíni patakban. Néhány évig tanulmányozták Bükk és Aggtelek térségében a karsztvizeket. A kapott radonaktivitás-koncentráció értékeket a 7. táblázat foglalja össze [18]:

<i>Hely</i>	<i>Víz típusa</i>	<i>Radonkoncentráció kBq/m³</i>	<i>Meder anyaga</i>
BÜKK hg. föld alatti:		6 éves átlag	
Létrási vizes	patak	2,0	mészke
	tó	1,0	mészke
Miskolctapolca	patak (termásvíz)	5,0	mészke
	kút	1,4	mészke
Anna	patak	2,5	dolomit és édesvízi mészke
felszíni:		3 hónapos átlag	
Szinva	patak	1,4→6,6	mészke és rétegzett mészke
Jávor	patak	13,6	mészke
Garadna	patak	3,0	
József	patak (termásvíz)	5,1	mészke
AGGTELEK felszíni:		3 hónapos átlag	
Lófej	patak	0,4	mészke
Kistohonya	patak	1,0	mészke
Nagytohonya	patak	0,7	mészke

7. táblázat

A koncentrációk változásában bizonyos periodicitás figyelhető meg, ami főleg az évszakok váltakozásának tulajdonítható. Pl.: Nagytóhonyán és a Lófej karsztforrásnál nyáron mérték a legnagyobb koncentrációkat, és télen a legkisebbeket.

A Létrási Vizes barlangi patakban és az általa táplált tóban az időszakos váltakozás szorosan összefügg a "friss" víz jelenlétével, mint ahogyan azt a 4. grafikon mutatja.

4. grafikon

A barlang levegőjének radonkoncentrációját mérve a 8. táblázatban szereplő értékeket kapták [18].

A kapott értékek igen magasak ahhoz képest, amit a tiszta diffúziós folyamatok (tömör mészkőből van a környezete) alapján vártunk.

A legnyilvánvalóbb jelenség, ami szinte mindegyik barlangnál látható, az az éves periodicitás.

Az értékeket igen befolyásolja az is, hogy a barlangnak hány be- és kijárata van, illetve milyen a légáramlás a barlang belsejében.

A méréseket filterrel ellátott pohárba tett nyomdetektorokkal végezték.

Barlang neve	Periodicitás	Max./min.	közepes radon-koncentráció kBq/m ³
Baradla:			
Aggteleki bejárat	1	4	1,2
Vöröstó bejárat	0,5	3	2,0
Jósvafő bejárat	1*	5	3,3
7 km-es folyosó	—	1 - 5	3,5
Vass Imre:	1	5 - 7	3,5
István-lápa:			
felső rész	1	3	0,6
mélyebb rész	—	2	0,5
Szepessy:			
felső rész	1	4	0,3
alacsonyabb rész	—	3	0,8
Létrási Vizes	1	15 - 50	1,6 - 2,5
tó körül	—	50	3,7
Hajnóczy	1	5 - 6	3,5
felszíni talaj	1*	20	3,4
Anna	—	2 - 4	0,7
Abaliget	1	50	2,6
Remény	1*	2 - 5	1,4
József	1	20	5,3
Vásáros			
Cigány			
Alba Regia			
felső	1	20 - 25	1,5
alsó	—	4 - 5	2,2
Cserszegtomaj	—	3	10,6
Szemlő	1	30	2,7 - 8,4
Mátyás	1	2 - 4	2,6 - 4,3
Pálvölgy			
bejárat	1	7 - 20	0,9
középen	1	10 - 20	1,9
tó	—	2	4,2

9. táblázat

*: télen magas értékek

I. 2. 4. 2. 3. Radon a Rudas-fürdő légterében

Világszerte egyre nagyobb erőfeszítéseket tesznek a lakóhelyiségekben és munkahelyeken létrejövő radonszintek felmérésére, a radonkoncentráció csökkentését technológiák kifejlesztésére. Ilyen célból végzett vizsgálatokat 1991-1992-1993-ban az OSSKI a Fővárosi Fürdőigazgatóság megbízásából a Gellérthegy lábánál található és helyi termálfvízforrásokból táplálkozó Rudas-fürdőben.

A fürdőben használt természetes források vizének radontartalma nagy (régebbi OSSKI mérések alapján: Juventus-forrás: 126 Bq/l; Attila-forrás 211 Bq/l; Hungária-forrás 67 Bq/l). A levegőben levő radon a vízből diffundál ki. A nagy valószínűséggel magas radonkoncentrációjú helyiségekben mértek: termálfürdő, (öltöző, nagymedence — kupolacsarnok, masszázs-részleg), kádfürdő, szájuhany részleg, pedikűr-helyiség és az előcsarnok. Minden helyiségben naponta 7 mintavétel történt, így a koncentráció napi ingadozását is nyomon lehetett követni.

A mérést NP-420 típusú MÉV (Mecseki Ércbányászati Vállalat) gyártmányú, Lucas-kamrákkal felszerelt radon-mérő berendezéssel végezték. Mintavétel előtt a kamrákból kiszivattyúzták a levegőt, majd a mintavétel helyén a kamra csapját 1 m magasságban megnyitva a vizsgált helyiség levegőjével megtöltötték. Kb. 3 óra múltán mérték a beütésszámot. A mérőműszer hatásfokát és a háttérsugárzást figyelembe véve a következő eredményeket kapták [19]:

9. táblázat

WLM (working level month): munkaszínhónap = 3700 Bq/m^3 ^{222}Rn -nal egyensúlyban lévő bomlástermék-koncentrációjú levegő munkahónapig (kb. 170 óra) tartó belégzése.

Nagy radontartalmat találtak a nagymedence kupolacsarnokának levegőjében, ennek oka a magas radonkoncentrációjú víz mellett a csapok folyamatos működtetése. A vártnál alacsonyabb az érték a pedikúr-részleg kezelő helyiségében, ennek oka a jó szellőzés lehet. A napszakos ingadozásokat vizsgálva megállapítható, hogy egyes helyiségekben ez szabályos ingadozást mutat, míg máshol a radonkoncentráció rendszertelenül változik. A radonkoncentráció nagysága függ a melegvíz kifolyók és medencék jelenlététől, a helyiség zártságától és a szellőzés határfokától. Intenzív szellőzéssel a radonkoncentráció jelentős mértékben csökkenthető.

A helyiségekben mért átlagos radonkoncentráció alapján a fürdő alkalmazottainak sugárterhelése a jelenleg érvényes foglalkozási effektív dózisegyenérték-korlátot (50 mSv/év) nem haladja meg. Ezek az értékek sokkal kisebbek, mint Abano Terme gyógyfürdőjében dolgozó személyzetet érő 40-100 μ Sv/év dózisek (I. 2. 4. 1. 5.).

Ami a fürdőbe látogatókat és a pácienseket illeti, rájuk vonatkozó ilyen típusú dóziskorlát még nincsen. De kiszámítható [19], hogy rendszeres fürdőlátogatás esetén 1 év alatt (104 óra) 4 mSv/év sugárterhelést kap a látogató, ami kisebb, mint a pillanatnyilag érvényes lakossági effektív-dózisegyenérték-korlát (5 mSv/év).

Ami a fürdőbe látogatókat, és apácienseket illeti, rájuk vonatkozó ilyen típusú dóziskorlát még nincsen. De kiszámolható [19], hogy rendszeres fürdőlátogatás esetén 1 év alatt (104 óra) 4 mSv/év sugárterhelést kap a látogató, ami kisebb, mint a pillanatnyilag érvényes alkossági effektív-dózisegyenérték-korlát (5mSv)/év).

I. 2. 5. Radonkoncentráció mérése gyógyforrásokban

A gyógyvízkezelés már évszázadok óta használatos gyógyeljárás. Főleg tapasztalati ismereteken alapul, a gyógyvizekben oldott ásványi sókat, valamint a víz hidrosztatikai nyomását, felhajtóerejét, hő- és ingerhatását használják fel a fürdözések, ivókúrák és iszapos pakolások során.

A gyógyvizek forrásokból törnek a felszínre. Ezeknek a forrásoknak a hozama függ a csapadék mennyiségétől, a párolgástól, a forrás helyzetétől és szerkezetétől, valamint a felszín alatti vízkészlettől.

Ezen vizeknek azonban nemcsak gyógyító hatásuk, hanem igen nagy természetes radioaktivitásuk is van, ami annak tulajdonítható, hogy igen mélyről erednek, s míg fel nem törnek a felszínre, a kőzetekből, a talajból radioaktív elemek kerülnek a vízbe, s ott oldott formában, vegyületeikben vannak jelen.

Tudjuk, hogy a minket ért sugárzás egészségi hatásának mintegy fele a radontól és leányelemeitől származik. A radon, illetve a rövid felezési idejű leányelemei belégzéssel, vízzel a szervezetbe jutva rosszindulatú daganatot okozhatnak. Az emberek többsége azért jár gyógyfürdőbe, mert bizonyos panaszaira ott találnak gyógymódot. Azonban, ha a gyógyvíz radontartalma nagyon magas, akkor egyrészt a vízből a levegőbe diffundált radonnak belégzés során, másrészt az ivókúra során a gyomorba került radonnak és leányelemeinek egészségkárosító hatásuk is lehet.

A fent említettek miatt vizsgálataim során célom volt a kiválasztott gyógyforrások radonkoncentrációjának meghatározása, melyből bizonyos körülményeket is figyelembe véve következtetéseket vonhatunk le arra, hogy a gyógyfürdőzésnek lehet-e káros hatása az emberi szervezetre.

I. 3. RADONKONCENTRÁCIÓ MÉRÉS ELMÉLETI ALAPJAI

A természetben megtalálható három bomlási sor anya- és leányelemei között egyes esetekben radioaktív egyensúly alakulhat ki.

Radioaktív egyensúly:

Legyen $A_a(t)$: az anyaelem aktivitása a t időpontban
 $A_{l1}(t)$: az első leányelem aktivitása a t időpontban
 $A_{l2}(t)$: a második leányelem aktivitása a t időpontban
.
.
.
Ha $\forall t > t_0$ -ra
$$R + \varepsilon < \frac{A_{ln}(t)}{A_a(t)} < R + \varepsilon,$$

akkor azt mondjuk, hogy az anya- és leányelemei között radioaktív egyensúly állt be.

Három esetet különböztetünk meg:

1. Egyensúly nem alakulhat ki, ha $T_a < T_l$ (T_a : anyaelem felezési ideje; T_l : leányelem felezési ideje), hiszen akkor az anya gyorsan elbomlik.

2. Tranziens (mozgó) egyensúly:

Akkor jön létre, ha $T_a > T_l$.

Ebben az esetben a leányelem keletkezési sebessége és bomlási sebessége nem egyenlő, de arányuk egy idő után állandó [20]. Továbbá az anyaelem és leányelem aktivitásának aránya is állandó.

Pl.: anyaelem: ^{211}Pb ,

$T_{1/2}=36,1$ min;

leányelem: ^{211}Bi ,

$T_{1/2}=2,15$ min)

6. grafikon

Az aktivitás változása tranziens egyensúly esetén

1. a teljes aktivitás, ha kezdetben csak az anyaelem volt jelen.
2. az anyaelem aktivitása
3. leányelem aktivitása, ha $t=0$ időpontban csak leányelem volt jelen a vizsgált rendszerben
4. anyaelemből keletkezett leányelem aktivitása
5. $t=0$ időpontban jelenlevő és az anyaelemből keletkező leányelem együttes aktivitása

A grafikonból látszik, hogy az anya- és leányelem aktivitásai nem válnak egyenlővé, a leányelem aktivitása mindig nagyobb, mint az anyaelemé, (de a kettő logaritmusai közti különbség állandó).

3. Szekuláris egyensúly:

Feltétele: $T_a \gg T_l$, ekkor $R=1$.

Ebben az esetben a bomlási sor tagjainak aktivitása egyenlő. A viszonyokat a 6. grafikon szemlélteti. Ilyen eset fordul elő a radioaktív családokban.

1, 2, 3, 4 jelentése megegyezik az 5. grafikonnál említettekkel.

(Pl.:

anyaelem:

^{212}Rn $T_{1/2}=3,82$ nap

leányelem:

^{218}Po $T_{1/2}=3,05$ min)

Aktivitás változása a szekuláris egyensúlyban

6. grafikon

A természetes radioaktív bomlási sorokban, a sorozat első tagjának, az "őselemnek" felezési ideje több nagyságrenddel nagyobb, mint valamennyi leszármazottjáé. Ez azt jelenti, hogy az őselem valamennyi ivadékával radioaktív egyensúlyban van. Ha tehát az urán- vagy tóriumásványban, vagy nagyon régi vegyületükben valamennyi

bomlástermék keletkezésük óta együtt maradt, akkor azok aktivitása egymással egyenlő.

Nézzük, hogy ezek ismeretében a ^{222}Rn és leányelemeinek aktivitása hogyan változik t idő eltelte után! Ennek megadásában a DECAY nevű programot hívtam segítségül.

Mindenek előtt elevenítsük föl az ^{222}Rn bomlási sorát, és a leányelemek felezési idejét!

radioaktív izotóp	felezési idő
^{222}Rn	3,823 nap
^{218}Po	3,05 perc
^{214}Pb	26,8 perc
^{214}Bi	19,9 perc
^{214}Po	$1,64 \cdot 10^{-4}$ sec
^{210}Pb	22,26 év
^{210}Bi	5 nap
^{210}Po	138,4 nap
^{206}Pb	— (stabil)

10. táblázat

Ebből látható, hogy a ^{210}Pb felezési ideje a többi leányelem és az utána következő leányelem felezési idejéhez képest is nagyon nagy. Így szinte a ^{210}Pb -nél ez a bomlási sor megmarad.

Így, az általam elvégzett mérés szempontjából az a fontos, hogy a ^{222}Rn és következő 4 leányeleme között mennyi idő eltelte után áll be radioaktív egyensúly.

t idő után a megfelelő aktivitások Curie-ban:

	t=1 perc	t=10 perc	t=30 perc	t=60 perc	t=180 perc
²²² Rn	$9,998 \cdot 10^{-1}$	$9,987 \cdot 10^{-1}$	$9,962 \cdot 10^{-1}$	$9,924 \cdot 10^{-1}$	$9,776 \cdot 10^{-1}$
²¹⁸ Po	$2,032 \cdot 10^{-1}$	$8,962 \cdot 10^{-1}$	$9,956 \cdot 10^{-1}$	$9,930 \cdot 10^{-1}$	$9,781 \cdot 10^{-1}$
²¹⁴ Pb	$2,703 \cdot 10^{-3}$	$1,418 \cdot 10^{-1}$	$4,797 \cdot 10^{-1}$	$7,575 \cdot 10^{-1}$	$9,719 \cdot 10^{-1}$
²¹⁴ Bi	$3,144 \cdot 10^{-5}$	$1,786 \cdot 10^{-2}$	$1,803 \cdot 10^{-1}$	$4,912 \cdot 10^{-1}$	$9,508 \cdot 10^{-1}$
²¹⁴ Po	$3,176 \cdot 10^{-5}$	$1,786 \cdot 10^{-2}$	$1,786 \cdot 10^{-1}$	$4,911 \cdot 10^{-1}$	$9,506 \cdot 10^{-1}$

Ezen értékek alakulásának szemléltetésére egy oszlopdiagramot készítettem:

7. grafikon

A grafikonról könnyen leolvasható az aktivitások változása. A mérés elkezdése után 1 perccel a ²²²Rn aktivitása majdnem 1 Ci, míg leányelemei a ²¹⁸Po kivételével szinte elhanyagolhatóan kicsi. 10 perc elteltével a ²¹⁸Po aktivitása több, mint négyszeresére nőtt, s a ²¹⁴Pb aktivitása is nagyobb mértékben nőtt, mint a ²¹⁴Bi és a ²¹⁴Po izotópoké. 30 perc elteltével a radon és a ²¹⁸Po aktivitásai szinte teljesen megegyeznek. A mérés kezdete utáni 1 óra múlva a 4 leányelem

aktivitásai fokozatosan nőnek, s 3 óra után az aktivitások szinte teljesen azonosak, a radon és bomlástermékei között beállt a radioaktív egyensúly. A 3 óra alatt a ^{222}Rn aktivitása egy nagyon kicsit csökkent, míg leányelemeié viszont nőtt.

Teljesen zárt helyiségben a radon nemesgáz egyensúlyban van leányelemeivel, amelyek radioaktív fématomok. Ha azonban szellőzik a szoba, a radon egy része eltávozik, ilyenkor a leányelemek aktivitása kisebb, mint ami a jelenlévő radonkoncentrációnak egyensúlyban megfelelne [10]. Ezért mondják, hogy szellőztetéssel csökkenthető a radonkoncentráció értéke a beltéri levegőben.

II. KÖRNYEZETÜNK RADONTARTALMÁNAK MEGHATÁROZÁSA

II. 1. RADONTARTALOM MEGHATÁROZÁSI ELJÁRÁSOK

II. 1. 1. A levegő radontartalmának mérése

A lakóhelyiségek és egyáltalán a környezet radonkoncentrációinak meghatározására több módszert is kidolgoztak. Ezen módszerek között vannak olyanok, melyek szcintillációs mérés technikán alapulnak, másoknál ionizációs kamra, félvezető detektor segítségével történik a mérés. Másrészt ezeket az eljárásokat direkt és közvetett módszerek szerint is lehet csoportosítani. Direkt módszernél közvetlenül a radontól származó aktivitást, míg közvetett módszernél a leányelemeinek aktivitását mérjük.

A napjainkban használt eljárások:

a) Aktív szenen kötik meg a radont néhány napos gyűjtéssel, majd a radon α -sugárzását mérik folyadékszcintillációs mérés technikával.

A küvettában a szén egy kúp alakú műanyag tartóban van, s ezt veszi körül a szcintillációs koktél.

b) Szintén aktív szenen (kb. 10 cm átmérőjű) megkötött radon aktivitásának mérésére szolgál a GeLi szilárdtest nyomdetektor.

Ez

a detektor a szén alá helyezve méri a radon leányelemeinek γ -sugárzását.

c) Radontartalmat lehet mérni ionizációs kamra segítségével. Ezen alapul pl. az ATMOS 10, ATMOS 12 mérőberendezések működése.

ATMOS 10 működése:

A berendezés egy szűrőn és egy víztelenítőn keresztül levegőt pumpál a mérőkamrába. A szűrő megakadályozza a Rn leányelemek bejutását, a víztelenítő megszabadítja a levegőt a zavaró nedvességtartalomtól.

A berendezés mérőegysége egy impulzusszámláló ionizációs kamra. A Rn, illetve a kamrában keletkezett leányelemek bomlásából keletkező α -részecskék energiájukat a levegő molekuláinak ionizálása révén adják le. Az ionok az elektródok felé

mozogva elektromos impulzusokat keltenek, ezek amplitúdója arányos az α -részecskék energiájával. Az impulzusok amplitúdóját

mérve meg lehet határozni az α -energiát. Az ionizációs kamra impulzusait erősítés után egy analóg-digital konverter dolgozza fel,

majd az α -részecskék energiaeloszlása egy PC képernyőjén megjeleníthető. A radonkoncentráció meghatározása az előre gondosan beállított korlátok közé eső impulzusokból történik.

d) Egy, csak gázatomokat — a porszemekre ült leányelemeket nem

— áteresztő kis tartályba szilárdtest nyomdetektort helyeznek. A filmeket néhány hónapi exponálás után kimaratva a részecskék nyomainak összeszámlálásával a radonkoncentráció meghatározható. Főleg ilyen technikát használnak a lakások levegőjének radontartalom mérésére.

e) Vannak félvezető detektorokkal mérő berendezések is. Ilyen pl.: MARKUS 10. Itt egy kamrát megtöltünk levegővel, és a kamra egyik falához rögzített felületi záróréteges félvezető detektor közvetlenül méri a levegő radontartalmát.

f) Használnak szcintillációs elv alapján működő számlálókat is (pl.: LUCAS-cella). A levegőt egy belülről ZnS szcintilláló festékkel bevont kamrába pumpálják. A szcintillációs detektor az α -sugárzás

hatására fotonokat kelt, és így elektromos sugárzásokat szolgáltat. Az impulzusok nagysága arányos az azt keltő α -sugárzás energiájával. A berendezés előnye, hogy nagy a számlálási határfok.

- g)** Elektrét felhasználásával is lehet koncentrációt mérni. A radon és leányelemei által kibocsátott ionizáló sugárzás egy kondenzátort feltölt, és a töltés mérésével lehet a radonkoncentrációt megállapítani. Az eljárás hátránya, hogy elektromos eszközök (mikrosütő, rádiótelefon) torzítják az eredményeket. Ilyen módszert használnak pl. Ausztriában.

Az említett ionizációs kamrával, félvezető detektorokkal történő méréseknél a ^{222}Rn α -részecskéit energiájuk alapján meg tudjuk különböztetni a leányelemek α -sugárzásától, mert a berendezés energiafelbontó képessége annyira jó. A szcintillációs detektoroknál a felbontóképesség nem ilyen jó, kb. 10 %-os.

- h)** A radon jelenlétét kimutatni gyorsan, egyszerű eszközökkel is lehet. Például megfelelő szűrőn (néhány réteg géz) porszívó segítségével egy szoba levegőjéből adott mennyiségű levegőt átszívva, a gézen az aeroszokok fennakadnak. A hozzájuk tapadt Rn leányelemek béta-aktivitását egy GM cső segítségével meg lehet határozni. A radonkoncentráció értékére csak durva becslés adható, hiszen ahhoz, hogy a leányelemek aktivitás-méréséből a radonkoncentrációt is ki lehessen számolni, ismernünk kellene, hogy az adott helyiségben az adott időben milyen mértékben állt be a radioaktív egyensúly a radon és bomlástermékei között. Tehát ez a mérés csupán a Rn jelenlétének kimutatására, esetleg relatív változásának meghatározására alkalmas.

Az említett eljárások megfelelő hitelesítés esetén a szobák, zárt helyiségek, barlangok levegőjének radontartalmára; vízben oldott és a talajban, kőzetekben lévő radon mennyiségére megbízható adatokat szolgáltatnak.

II. 1. 2. Vizek radontartalmának meghatározása

II. 1. 2. 1. Folyadékszintillációs mérés technika

A szcintillációs detektálási módszer lényege, hogy egyes anyagokban radioaktív sugárzás hatására fényfelvillanás lép fel, vagyis a radioaktív sugárzás energiája bizonyos határfokkal fényenergiává alakul át. A fénykibocsátást nevezzük szcintillációnak. A szcintillációt egy fotoelektronsokszorozó figyeli. A szcintillációra képes anyag lehet festékréteg (ZnS, pl. LUCAS-cellában) vagy szerves, szervesetlen kristályok, és sok esetben folyadék.

A folyadékszintillációs módszer előnye egyrészt, hogy kis hatótávolságú sugárzás is nagy határfokkal okoz felvillanásokat, másrészt a szcintillátor "körbeveszi" a radioaktív anyagot, s így a detektálás térszöge 4π .

A folyadékszintillációs módszer alkalmazásakor olyan komponensek is az oldatba kerülhetnek, amelyeknek nincs szcintillációs hatásuk, sőt fotonokat nyelnek el, s így csökkentik a mérés határfokát. Ezt a jelenséget kioltásnak nevezzük. Kioltás esetén tehát a kibocsátott fény intenzitása és spektruma is változhat, s ezért befolyásolja az elektromos impulzusok amplitúdóeloszlását is.

A mérési eredményeket a háttérsugárzásokból (kozmosz sugárzás, korábbi fénybesugárzás miatti elkésett felvillanások, elektronika elektromos zajából származó impulzusok) adódó "többletimpulzus"-ok is befolyásolják.

A háttérsugárzást csökkenteni lehet például:

- a mérőhelyet vastag ólomárnyékolással látják el;
- a mérést alacsony hőmérsékleten végzik;
- nem egy, hanem két elektronsokszorozó is figyeli a mintát, s az elektronika csak azokat az impulzusokat fogadja el "igazi"-

nak,

amikor mindkét elektronsokszorozó egyszerre szólal meg (koincidencia).

Tehát a mérésnél számolni kell azzal, hogy a kioltás és a háttérsugárzás elrontja a mérési eredményeket, viszont a detektálás határfoka kis hatótávolságú sugárzásokra is igen nagy.

II. 1. 2. 2. Kibuborékoltatás

Hazánkban ez a legelterjedtebb módszer, ami sorozatmérésre is alkalmas. A buborékoltatás azt jelenti, hogy a folyadékban gázt (levegőt vagy N_2 -t) pumpálunk át.

a) A MSz (Magyar Szabvány) idevágó eljárása szerint a mérés menete a következő:

Ismert térfogatú gázmosó palackba ismeretlen ^{222}Rn tartalmú szűrt vizet töltünk, majd a palack teljes megtöltődése után a csatlakozásait légmentesen lezárjuk. Azért szükséges a palackot teljesen megtölteni vízzel, mert ha marad benne levegő, akkor a vízből radon tud kilépni a levegőbe ill. fordítva, s így a mérés elkezdéséig is változni fog a víz radontartalma. Ezek után összeállítjuk a 4. ábrán látható zárt körű rendszert.

- 1: Mintavevő gázmosó palack
- 2: Átbuborékolató gázmosó palack
- 3: CaCl_2 -os U-cső
- 4: Mérőkamra
- 5: Kétszelepes gumipumpa

5. ábra

A mérőkamrát összekapcsoljuk a vízmintával töltött és lezárt 1. gázmosó palackkal, szembe kapcsoljuk vele a nagyobb térfogatú 2. gázmosó palackot, ezenkívül beépítünk a zárt körbe egy kalcium-kloridos U-csövet és egy kétszelepes gumipumpát. Az 1. gázmosó palack csöveinek lezárását csak a kör kialakítása után nyitjuk meg, hogy a vízből ill. a vízbe ne történjen radonvándorlás a mérés megkezdéséig.

A gumipumpával a mintát átnyomjuk az 1-ből a 2-es gázmosó palackba, mivel, ha a kisebb palackban maradna a víz, nem lenne elég hely a buborékoltatáshoz, a vizet bepumpálnánk a körbe.

A kör levegőjét a pumpa segítségével folyamatosan átbuborékolatjuk a folyadékon, így mintegy "kihajtjuk" a radont a vízből. De mivel rendszerünk zárt, így a radon vissza is jut a vízbe, s kb. 10-15 perc cirkuláltatás után a körben a levegő és a víz fázis közötti állandósult arány beáll. A mérőkamrát — az őt érő háttérsugárzást előzetesen 30 perces méréssel meghatározva — lezárjuk, leválasztjuk a körről, majd a mérőhelybe helyezzük. Ezután kb. 2 órán át mérjük a radon és α -sugárzó leányelemeinek aktivitását. A mérési időközöket a mérhető impulzus- sebességhez és a szükséges statisztikus hibához szabjuk, és általában 10 percre választjuk. Az impulzusebesség-mérések befejezése után a mérőkamrát argonnal vagy öregbített levegővel intenzíven kiszellőztetjük, hogy a radont illetve szilárd bomlástermékeit eltávolítsuk. A kapott mérési adatokból a [21] leírásban szereplő képlet— amely figyelembe veszi a leányelemek feldúsulását is — alapján az aktivitás meghatározható.

A mérést befolyásoló effektusok:

- A pumpálás során a rendszerből radon szökhet ki (pl. csövek csatlakozásánál, nem jól záródó csöveknél, csapoknál).
- A zárt rendszerben a mérés megkezdése előtt van levegő, így az ebben lévő radontól származó aktivitás is hozzáadódik a vízben mért radonaktivitáshoz.
- A szcintillációs detektor hatásfoka nem 100 %-os, így a víz radontartalmának számolásakor ezzel, a mérés jóságát befolyásoló tényezővel is számolni kell.

A buborékolatásos módszer előnye, hogy kis aktivitások mérésére is nagyon alkalmas, emellett lehetőség van már nagyobb mennyiségű vízminták mérésére, nem úgy, mint a folyadékszscintillációs technikánál.

b) A buborékolatásos eljárások egy másik típusa, amikor nem zárt rendszert alkalmazunk. A vízből úgy is "kihajtható" a radon, hogy a kivezető csövet nem csatoljuk vissza a rendszerbe, így a kibuborékolatást addig kell végezni, míg a víz radontartalma nullává nem válik [22].

II. 2. AZ ÁLTALAM ALKALMAZOTT MÓDSZER LEÍRÁSA

Forrásvizek és termálvizek radonkoncentrációját vizsgáltam. A koncentrációk meghatározásához a következőkben részletezett kibuborékolatós mérés technikát alkalmaztam. A mérőkör összeállítása a 6. ábrán látható.

6. ábra

- I. PYLON AB-5, benne:
 - pumpa
 - szcintillációs mérőfej
 - fotoelektron-sokszorozó
 - adatszerző egység
- II. vízminta a gázmosó palackban
- III. CaCl_2
- IV. LUCAS-cella
- V. fotoelektron-sokszorozó
- VI. NA (nukleáris analizátor)
- VII. gázsebesség mérő
- VIII. filter

A mérőkört alkotó mérőeszközökből egy zárt rendszert állítottunk össze. A mérés elve azon alapul, hogy a PYLON-ban található pumpa segítségével a mérendő vízmintán átbuborékolgatjuk a rendszerben lévő levegőt, így a vízből mintegy "kihajtjuk" a radont.

Az átpumpált levegő a mérőeszközökön áthaladva visszajut a rendszerbe, s addig kering, míg a pumpát ki nem kapcsoljuk.

A buborékolgatás megkezdésekor a víz és a levegő radontartalma különböző volt, de a levegőnek a vízben történő átfújása során a két közeg radonkoncentrációjában állandó arány áll be (II. 4. 1.).

A mérőeszközök a radontól, illetve leányelemeitől adódó beütésszámokat mérik, melyből a levegő radontartalma meghatározható.

A mérőkör részeinek működése, funkciói:

A PYLON AB-5 egy hordozható monitor és adatszerző egység, amely különböző típusú radioaktív bomlások mérésénél használható. A PYLON AB-5 műszert a venezuelai Simon Bolívar Egyetem fizika

professzora, Sajo-Bohus László bocsátotta rendelkezésünkre itt tartózkodása alatt.

A PYLON újratölthető akkumulátorteletet, légpumpát, szcintillációs kamrát, fotoelektron-sokszorozót és a működéshez szükséges egyéb elektronikákat tartalmaz.

A pumpa 3liter/perc, illetve ennél kisebb sebességgel tudja áramoltatni a rendszerben a levegőt. A levegőáramlás sebessége a műszer hátoldalán lévő gombbal szabályozható.

A PYLON elé beépített szűrőn megtapadnak a por és füstszemcséken lévő radon leányelemek, így a műszerbe olyan levegő jut, mely elvileg csak radont tartalmaz, a leányelemeit nem. Ez a levegő a szcintillációs kamrába jut, ahol a már említett módon a ZnS réteg a becsapódó α -rész hatására fotonokat bocsát ki.

A szcintillációs kamrához csatolt fotoelektron-sokszorozó felrösíti ezen fényimpulzusokat, és elektromos impulzusokká alakítja át, amiket az AB-5 nyomtatott áramkörébe küld. Itt a mikroprocesszor integrált áramköre számolja és digitális úton jelzi ki az általunk beállított energiaintervallumba eső impulzusokat. A mérésünk során ez az intervallum 5MeV-től 6MeV-ig tart, mivel a ^{222}Rn bomlása során kibocsátott α -részek energiája ezen értékek között mozog. Így elérhető, hogy a leányelemek bomlásakor keletkező α -részeket a műszer nem számolja, hiszen ezek energiája ezen intervallumon kívül esik.

A mért fényimpulzusok és a kamrában lévő radon gáz koncentrációja között egy közvetlen kapcsolat van. Ez a kapcsolat függ a számláló hatásfokától és a műszer érzékenységétől. Ezeket az értékeket fél évente újra meg kell állapítani egy ismert koncentrációjú radongázzal végzett mérés során. A mérési eredményekből a következő formula alapján — mely részletesen [23]-ban található — számolható a háttér vagy az érzékenység:

$$\text{érzékenység} = \frac{\text{fényimpulzusok nettó száma percenként}}{\text{a radon gáz ismert koncentrációja}}$$

Számláló: az AB-5 által számolt percenkénti impulzusok számának és a háttérsugárzásból percenként adódó beütésszámnak a különbsége.

A mérés megkezdésekor erre vonatkozó méréseket nem végeztem, mert a professzor hazánkba utazása előtt a venezuelai egyetemen megtörtént a hatásfok és az érzékenység megállapítása, melyeket be is tápláltak a PYLON AB-5 memóriaegységébe.

A berendezés radon mérési módba állítva ismeretlen radontartalmú gáz koncentrációjának mérésére használható. A koncentrációt a gép Bq/m³-ben vagy pCi/l-ben adja meg, annak megfelelően, hogy melyik mértékegységet állítottuk be az AB-5-ben. Mérésünk során a Bq/m³ mértékegységet választottuk.

A mérés elkezdése előtt beprogramozható a háttérsugárzás nagysága, a számláló érzékenysége, és a mérési időtartam nagysága.

Az AB-5 a radon bomlása során keletkező α -részecskék beütésszámát méri, s ebből az alábbi képlet alapján kiszámolja, s a digitális kijelzőn kiírja a gáz koncentrációját [23]:

$$\text{koncentráció} = \frac{\text{NCPM - háttér}}{\text{műszer érzékenysége}}$$

NCPM (=net counts/min.): a percenkénti beütésszám a háttérsugárzásból adódó beütésszámmal korrigálva

A műszer 99 egymás utáni mérés során kapott koncentráció-értékeket képes elraktározni egy körben úgy, hogy az a memóriából közvetlenül előhívható. Egy intervallum esetünkben 180 perces mérésnek felel meg, ennyi idő szükséges ahhoz, hogy a radon és leányelemei között beálljon a radioaktív egyensúly, amikor a koncentráció időben állandóvá válik. A PYLON a 180. percen mért koncentrációt elraktározza, s megkezdődik egy újabb mérési intervallum, amely végén kapott koncentrációt ismét tárolja. Mindez addig ismétlődik, míg a berendezést ki nem kapcsoljuk. A mérés befejezése után a berendezést több órán át szellőztetem, hogy a benne megragadt radon és leányelemei eltávozzanak a műszerből, s ne befolyásolják a későbbi méréseket. A következőkben az AB-5 előlapján található funkcióbillentyűk feladatait részletezem:

7. ábra

1. On/off: két pozíciós forgó kapcsoló, amivel az AB-5 ki- és bekapcsolható.
2. Mode: négy állású forgó kapcsoló, mellyel megválaszthatjuk a működés módját. Ezen módok: QUASI/CONT/RADON/RATE. Mérésünkhöz a műszert radon módba állítottuk.
3. Time: 3 állású forgó kapcsoló. Radon módban e segítségével lehet a mérési időtartamot órában beállítani.
4. Recall: e gomb segítségével lehet az előző intervallumban mért és elraktározott koncentrációértéket előhívni.
5. Status: a gombot benyomva tartva a kijelzőn leolvasható a mérés kezdete óta eltelt idő (órában) és a mért beütésszám. A gomb alapállapotában a kijelzőn az éppen aktuális mért koncentráció látható.
6. Prog step: e billentyűt paraméterek programozásakor használjuk.
7. Pump: a gomb benyomásával bekapcsoljuk az AB-5 belső pumpáját.
8. Start/stop: a számolás elindítása és megállítása e gomb segítségével történik.
9. Display: a kijelző 8 digitális jelből áll, melyeket kettőspont választ el. A kettőspontok villognak, ha az akkumulátortelepet fel kell tölteni.

A berendezés rendkívül sokfajta információt szolgáltat számunkra, mindemellett kezelése egyszerű.

CaCl₂-val töltött lombik: szerepe, hogy megköti a körben a vízgőzt, így kiszűri annak zavaró hatását. A Lucas-cellát, az utána kapcsolt fotoelektronsokszorozót és a Nukleáris Analizátort (NA) azért építettük a

mérési körbe, mert a mérés megkezdésekor elképzelhető volt, hogy a méréssorozat befejezése előtt a PYLON AB-5 visszakerül Venezuelába, s így a további méréseket másik műszer segítségével kell végeznünk.

Így tehát a levegő a Lucas-cellán és egy fotoelektron-sokszorozón keresztül az NC 438 típusú Nukleáris Analizátorba is eljut. Az analizátor integrális üzemmódban a 2,315 MeV-nál nagyobb energiájú impulzusokat számlálja. A digitális kijelzőn a mérés kezdete óta eltelt idő (percben) és a 2,315 MeV-nál nagyobb energiájú — radon és leányelemeinek bomlásakor keletkező — α -részecskék beütéséből származó beütésszám olvasható le.

A mérés elkezdésekor a PYLON-t és a NA-t egyszerre kell elindítani, így a két műszerről mért adatok egyszerre történő leolvasásánál ugyanabban az időben különböző beütésszámokat olvashatunk le. Ennek magyarázata az, hogy a PYLON (kis hibával) csak a radontól származó α -részecskéket számolja, míg az NA minden α -részecskétől származó beütést, így ezek a beütésszámok mindig nagyobbak lesznek, mint a PYLON által számoltak.

A mérőeszközök működéséből és a mérőkör összeállításából adódó, mérést befolyásoló tényezők:

— A PYLON működésének leírásánál említettem, hogy a műszer elé beépített szűrő miatt a PYLON elméletileg csak a radontól származó α -részecskék beütését számlálja. Azonban az aktív térfogatban, a levegőben lévő radon állandóan bomlik, így elkerülhetetlen, hogy a számláló ne számoljon leányelemtől származó α -részecskét. Azonban ezek száma elhanyagolhatóan kicsi.

— A zárt rendszer levegője kezdetben is tartalmaz radont, aminek aktivitását a mért adat tartalmazza.

Az ATMOS 12 berendezéssel már korábbi mérések során lemérték, hogy a Neutronfizikai Labor (ahol a méréseket végeztem) levegőjének radontartalma 50-75 Bq/m³ a hőmérséklettől és a meteorológiai viszonyoktól függően. Így a körben kezdetben lévő levegő aktivitása 0,05 Bq/l körül mozog,

ami — majd a későbbiekben közölt mért koncentrációértékek mellett — szintén elhanyagolható.

— A pumpálás során radon szivároghat ki a rendszerből a csövek illesztéseinél, a gázmosó palack csapjainál. Hogy az így eltávozott radon mennyiségét a lehető legkisebbre csökkentsük, a csövek végeit bilincsekkel erősítettem rá a műszerek kivezetéseire, illetve a palackokra. A gázmosó palack csapjainál történő kiszivárgás megelőzésére a csapokat, illetve a mozgatható részeket vákuumsírral megkentem.

— A PYLON szcintillációs detektorának hatáskörét a mérés kiértékelésénél ezt a befolyásoló tényezőt is figyelembe kell venni.

Mintavételi eljárás:

A mérendő vízminta számára készítettünk egy speciális gázmosó palackot (5. ábra). A vizet lehetőleg közvetlenül a forrásból próbáltam vételezni a gázmosó üvegcsébe, hogy ne legyen szükség a víz áttöltögetésére, s így kevesebbet érintkezzen a koncentrációját befolyásoló levegővel. A palack mindkét csapját kinyitva a mintatartót megtöltöttem vízzel úgy, hogy egyáltalán ne maradjon mellette levegő, hiszen ellenkező esetben radon távozhat a vízből a levegőbe, illetve fordítva, így változhat a víz radonkoncentrációja. Ezután a csapokat elzártam. A mintavétel ideje és a mérés elkezdése között eltelt időt próbáltam a lehető legkisebbre szorítani, hogy a víz koncentrációja (a radon bomlása miatt) ne sokat változzon a mérés megkezdéséig.

Közvetlenül a mérés előtt a palackból az egyik csap kinyitásával — kiengedtem egy kis vizet (10-15 ml), hogy legyen elegendő hely a buborékoltatásra. A mérés elvégzése után a palackokat többször átmostam desztillált vízzel, hogy az esetleg benne maradt víz ne befolyásolja a következő vízminta koncentrációját.

II. 3. Mérési eredmények

II. 3. 1. Mérések során vizsgált paraméterek

1995. februárjában és márciusában egy méréssorozatot végeztem elsősorban Budapest leglátogatottabb gyógyfürdővizeinek radon-tartalmának meghatározására. Összehasonlításképpen, a mért vízminták között néhány vidéki forrásból származó víz és budapesti csapvíz radonkoncentrációját vizsgáltam.

Minden mérés során pontosan rögzítettem, hogy hol, milyen forrásból és mikor történt a mintavétel. A mérési eredményeket beoflyásolja a mintevétel ideje és a mérés kezdete között letelt idő, ezért mindig följegyeztem a mérés elindításának időpontját is. A zárt körben lévő levegő pumpálása 3 l/perc, illetve ennél kisebb sebességgel történhet. Ez a sebeség függ a vízminta mennyiségétől, összetételétől, így különböző vizeknél ez is eltérő lehet, ezért a méréseknél az éppen aktuális gázsebességet is fölírtam. Minden esetben ugyanolyan gázmosó palackot használtam, így a mintatartó térfogata az összes mérésnél 60 ml.

A mérések után a műszerekről 4 adat került leolvasásra. Mindkét műszer — PYLON AB-5 és NA — jelezte a mérés elindítása óta eltelt időt: $t(\text{min})$.

A bomlások során keletkező α -részecskék beütésszámát (N) a két berendezésről egyszerre olvastam le. A táblázatban N_{PYLON} jelzi a PYLON AB-5-ről és N_{NA} a Nukleáris Analizátorról leolvasott beütésszámokat.

A PYLONról az idő és a beütésszám leolvasásával egyidejűleg feljegyeztem az éppen mért adatokból a gép által kiszámolt radonkoncentrációt (C_e) is Bq/m³-ben.

A mért eredmények táblázatokba foglalva a következők:

II. 3. 2. Mérések során vizsgált vízminták és eredményeik CSAPVÍZ

Mintavétel helye: ELTE Neutronfizikai Labor
 Mintavétel ideje: 1995. február 20. 13¹⁵
 Minta térfogata: V_m=45 ml
 Mérés kezdete: 1995. febr. 20. 13²⁰
 Gáz sebessége: 1,9 l/min

t(min)	N _{PYLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
28	48	0	104
43	76	0	172
56	105	0	253
62	116	21	285
69	141	27	318
74	150	29	335
80	167	34	369
84	176	36	398
92	188	40	442
101	202	44	496
109	221	49	534
117	240	54	566
124	251	57	596
141	273	63	670
148	292	69	705
153	304	70	726
164	316	74	767
179	321	77	823

10. táblázat

NAGYTÉNYI ÚTI KÚTVÍZ

Mintavétel helye: Budapest, XXII. ker. Nagytényi út
 234/6 számú ház udvarán lévő kút
 Mintavétel ideje: 1995. február 21. 8⁴⁵
 Minta térfogata: V_m= 45 ml
 Mérés kezdete: 1995. február 21. 11⁰⁵
 Gáz sebessége: 2,8 l/min

t(min)	N _{PYLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
4	2	0	14
27	14	0	68
47	30	0	120
58	38	0	147
68	51	0	167
99	62	5	240
116	76	9	279
142	101	16	349
154	104	16	381
178	108	18	416
180	109	38	417

11. táblázat

HARKÁNYI VÍZ

Mintavétel helye: a minta olyan üveges ásványvízből származik,
melyet Harkányban a gyógyfürdő előtt áruznak

Mintavétel ideje: —

Minta térfogata: $V_m=45$ ml

Mérés kezdete: 1995. február 28. 9²⁵

Gáz sebessége: 2,6 l/min

t(min)	N _{PYLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
13	5	0	15
19	9	0	26
35	23	0	66
95	52	2	167
146	80	10	235
160	88	13	260
180	93	13	273

12. táblázat

Megjegyzés: Mivel a vízmintát nem közvetlenül a forrástól vettük, hanem üveges ivóvízből, így a mintavétel ideje ismeretlen.

JUVENTUS FORRÁS

Mintavétel helye: Rudas-fürdő ivókútja

Mintavétel ideje: 1995. február 27. 16³⁰

Minta térfogata: $V_m=45$ ml

Mérés kezdete: 1995. február 28. 11⁵⁰

Gáz sebessége: 2,6 l/min

t(min)	N _{PYLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
1	12	0	2
5	20	21	37
18	370	91	584
63	940	249	2529
87	1119	299	3256
103	1220	326	2691
124	1467	395	4709
174	1503	406	4844
180	1510	408	4893

13. táblázat

SUKORÓ I. forrás

Mintavétel helye:

Mintavétel ideje: 1995. márc. 1. 10⁰⁰

Minta térfogata: $V_m=45$ ml

Mérés kezdete: 1995. márc. 1. 16³⁰

Gáz sebessége: 2,4 l/min

t(min)	N _{PYLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
2	36	0	60
10	240	53	391
19	397	98	820
23	469	117	1013
34	616	154	1409
37	665	171	1570
53	841	221	2129
67	993	263	2606
77	1057	281	2891
83	1109	295	3050
95	1184	316	3375
107	1263	338	3619
126	1323	355	3913
137	1361	366	4046
147	1394	374	4162
160	1426	384	4300
173	1448	390	4408
178	1461	393	4447
179	1465	394	4454

14. táblázat

ANGELIKA FORRÁS

Mintavétel helye:

Mintavétel ideje: 1995. márc. 1. de

Minta térfogata: $V_m=47$ ml

Mérés kezdete: 1995. márc. 1. 12⁰⁰

Gáz sebessége: 2,3 l/min

t(min)	N _{PYLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
20	457	114	764
32	656	170	1360
55	950	252	2346
68	1119	298	2804
86	1314	352	3436
180	2427	420	6740

15. táblázat

GT. I. FORRÁS

1.)

Mintavétel helye: Gellért-fürdő

Mintavétel ideje: 1995. márc. 7. 14¹⁵

Minta térfogata: $V_m=45$ ml

Mérés kezdete: 1995. márc. 1. 15²⁵

Gáz sebessége: 2,2 l/min

t(min)	N _{PYLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
38	545	139	N
48	653	169	E
63	713	186	M
88	908	240	
105	1008	267	M
118	1086	288	É
135	1152	307	R
147	1198	320	T
156	1225	328	E
170	1276	342	M
176	1289	345	
179	1297	348	

16. táblázat

2.)

Mintavétel helye: Gellért-fürdő

Mintavétel ideje: 1995. márc. 8. 10⁰⁰

Minta térfogata: $V_m=45$ ml

Mérés kezdete: 1995. márc. 8. 17⁰⁰

Gáz sebessége: 2,3 l/min

t(min)	N _{PYLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
22	300	71	511
57	591	151	1429
81	737	192	1939
87	775	203	2052
103	848	223	2349
118	920	243	2558
132	965	256	2757
142	1011	268	2898
152	1041	277	2986
1645	1063	283	3104
174	1081	288	3182
179	1092	291	3218

17. táblázat

A Gellért-fürdő vizét 3 kút szolgáltatja(GT. I, GT. II., GT. III.). A vízmintákat 14 mélyen vettük ezekből a kutakból, ahová közvetlenül a forrásból jön a víz. A kutakban a víz szintje innen még kb. 4 - 5 m mélyen helyezkedik el.

GT. III. FORRÁS

Mintavétel helye: Gellért-fürdő
Mintavétel ideje: 1995. márc. 8. 10^{15}
Minta térfogata: $V_m=45$ ml
Mérés kezdete: 1995. márc. 1. 11^{00}
Gáz sebessége: 2 l/min

t(min)	N _{PYLLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
6	58	4	222
13	114	19	416
17	145	28	558
23	188	40	733
30	225	50	918
84	519	132	2019
147	693	180	2449
175	742	194	2628

18. táblázat

TISZA FOLYÓ VIZE

Mintavétel helye: Szeged
Mintavétel ideje: 1995. márc. 9. 15^{00}
Minta térfogata: $V_m=50$ ml
Mérés kezdete: 1995. márc. 10. 10^{15}
Gáz sebessége: 2 l/min

t(min)	N _{PYLLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
12	10	0	24
41	16	0	69
89	41	0	153
100	42	0	167
140	55	3	218
146	58	3	222
179	77	4	260

19. táblázat

Megjegyzés: a vízmintát kb. a víz felszínétől 20 cm-re vettem, így a radon vízből lehetséges kilépése miatt nem is vártam olyan magas értékeket, mintha a minta több méter mélyről származna.

LUKÁCS-FÜRDŐI GYÓGYVÍZ

Mintavétel helye: Lukács-fürdő ivócsarnokában lévő ivókút

Mintavétel ideje: 1995. márc. 13. 12³⁰

Minta térfogata: $V_m=45$ ml

Mérés kezdete: 1995. márc. 13. 13²⁰

Gáz sebessége: 2,4 l/min

t(min)	N _{PYLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
62	96	14	323
75	115	19	372
120	150	29	534
134	165	33	577
150	178	37	628
162	183	38	653
175	191	41	681
179	191	41	689

20. táblázat

KIRÁLY-FÜRDŐ

Mintavétel helye: Király-fürdő; a minta a medencéket feltöltő csapból származik

Mintavétel ideje: 1995. márc. 13. 18⁰⁰

Minta térfogata: $V_m=42$ ml

Mérés kezdete: 1995. márc. 13. 18⁰⁰

Gáz sebessége: 2,5 l/min

t(min)	N _{PYLON}	C _I (Bq/m ³)	N _{NA}
23	87	12	146
60	148	29	392
72	169	34	476
94	212	46	570
114	235	53	634
179	297	68	712

21. táblázat

APENTA ÁSVÁNYVÍZ

Mintavétel helye: Budapest—Kelenföld, az örmezői lakótelep közelében lévő forrás

Mintavétel ideje: 1995. márc. 17. 8⁰⁰

Minta térfogata: $V_m=45$ ml

Mérés kezdete: 1995. márc. 1. 11¹⁰

Gáz sebessége: 1,8 l/min

t(min)	N_{PYLON}	C_i (Bq/m ³)	N_{NA}
25	74	8	130
36	94	14	194
69	141	27	358
82	154	30	409
124	197	42	560
138	218	48	601
170	238	54	696
179	245	56	712

22. táblázat

ÖREG-TÓ VÍZE

Mintavétel helye: Oroszlány-Bokod mellett lévő által-ér első vízgyűjtő

Mintavétel ideje: 1995. márc. 19. 16⁰⁰

Minta térfogata: $V_m=50$ ml

Mérés kezdete: 1995. márc. 1. 10⁰⁰

Gáz sebessége: 2,1 l/min

A PYLON AB-5 memóriája lehetővé teszi, hogy nem szükséges az idő függvényében végigkísérni a beütésszámok és a koncentráció változását, hiszen a beprogramozott mérési idő végén kapott értékeket eltárolja a műszer. Így ezen minta mérésénél nem követtem végig figyelemmel a mért értékek alakulását, hanem csak a 3 óra múlva mért és elraktározott értéket hívtam elő a berendezés emóriájából. Így a $t=180$ perc múlva a mért koncentráció: $C_f=14Bq/m^3$.

SZÉCHENYI FÜRDŐ

Mintavétel helye: Széchenyi-fürdő mellett lévő ivócsarnok

Mintavétel ideje: 1995. márc. 21. 15¹⁰

Minta térfogata: $V_m=44$ ml

Mérés kezdete: 1995. márc. 1. 16³⁰

Gáz sebessége: 2,4 l/min

t(min)	N _{PYLON}	C _i (Bq/m ³)	N _{NA}
15	18	0	33
38	49	1	91
45	59	4	113
90	87	12	225
113	99	15	273
140	118	20	323
161	127	23	356
171	136	25	370
177	140	26	379
179	141	27	382

23. táblázat

Megjegyzés: A vízmintánk 1246 m mélyen lévő forrásból származik, melyben a víz hőmérséklete 76 °C.

II. 3. 3. Radon vízben oldódásának vizsgálata

Megterveztünk és elkészítettünk egy radonkamrát abból a célból, hogy segítségével megvizsgáljuk, hogy a víznél nagyobb radonkoncentrációjú levegőből a radon beleoldódik-e a vízbe, s ha igen, akkor milyen mértékben.

A radonkamrába a Mecsekből bányászott, s a paksi Atomerőműben használt urán-szurokércet tettünk. A MARCUS-10 mérőberendezést használva lemértük, hogy a kamrában lévő levegő radonkoncentrációja: 5 kBq/m^3 .

A mérés első lépéseként az előzetesen 1 napig N_2 -nel átmosott desztillált víz radontartalmát mértük (24. táblázat):

t(h)	3	6	9	12	15	18	21	24
$C_1 \text{ (Bq/m}^3\text{)}$	12	10	12	13	11	6	11	10

24. táblázat

A desztillált vízben így a mért átlagos radonkoncentráció: $C_f=11 \text{ Bq/m}^3$.

Ezt követően a desztillált vizet tartalmazó gázmosó palackot rákötöttük a radonkamrára. A rendszert egy napig magára hagyva biztosítottuk a radon szabad vándorlását a víz és a radonkamra levegője között, majd lemértük ezek után a desztillált víz radonkoncentrációját (25. táblázat):

t(min)	N_{PYLON}	$C_1 \text{ (Bq/m}^3\text{)}$	N_{NA}
44	97	14	234
57	121	21	319
79	155	31	424
108	193	41	552
128	204	44	613
139	216	48	657
147	224	50	675
179	238	54	732

25. táblázat

A gáz sebessége $2,6 \text{ l/min}$.

Láthatóan megnövekedett a desztillált vízben lévő radon mennyisége.

II. 3. 4. Mérési eredmények kiértékelés, diszkusszió

II. 3. 4. 1. A vízminták radonkoncentrációjának meghatározása a kibuborékolatott levegő koncentrációjából

A műszereinkkel nem közvetlenül a vízben, hanem a rendszer levegőjében mért radonkoncentrációt mértük (C_l).

A vízminta keresett radonkoncentrációja C_o .

A mérés beindítása előtt:

$$C_o = \frac{N}{V_v}, \quad \text{(I.)}$$

ahol N : a vízben lévő radonatomok száma;

V_v : a vízminta térfogata

Ha a gázmosó palack csapjait kinyitva megkezdjük a radon kibuborékolatását a vízből, akkor a vízben lévő radonatomok száma csökken, mert azok a tárt gáztérbe távoznak.

Ekkor, ha x : a levegőben lévő radonatomok száma;

$N - x$: ebben a pillanatban a vízben maradó radonatomok száma

$$C_l = \frac{x}{V_l}, \quad \text{(II.)}$$

ahol V_l : rendszerben lévő levegő térfogata

és a víz radonkoncentrációja az adott pillanatban:

$$C_v = \frac{N-x}{V_v}, \quad \text{(III.)}$$

A radonnak avízből történő kilépése addig tart, míg egy bizonyos idő eltelte után a buborékban lévő levegő (így a rendszer levegője) és a buborékot körülvevő folyadék rakoncájában egyensúly nem áll be.

Eszerint: $C_v = \alpha \cdot C_l$ α : egyensúlyi állandó.

(II.) és (III.) felhasználásával:

$$\frac{N-x}{V_v} = \alpha \cdot \frac{x}{V_l}$$

$$\frac{N}{V_v} - \frac{x}{V_v} = \alpha \cdot \frac{x}{V_l}$$

$$\frac{N}{V_v} = x \left(\frac{\alpha}{V_l} + \frac{1}{V_v} \right) = C_o \quad \text{(I.) alapján}$$

x - et (II.) szerint kiküszöbölve:

$$C_o = C_l \cdot V_l \cdot \left(\frac{\alpha}{V_l} + \frac{1}{V_v} \right)$$

$$C_o = C_l \left(\alpha + \frac{V_l}{V_v} \right)$$

Ezen képlet segítségével meg tudjuk határozni a mért vizek radon-tartalmát. V_l , V_v mért mennyiségek C_l levegő radonkoncentráció meghatározás eredménye. Az α értéket szobahőmérsékleten a radon kémiai állandóiból meg lehet határozni, és az irodalomban is hivatkoznak rá.

II. 4. 1. 1. α egyensúlyi állandó meghatározása szobahőmérsékleten

Zárt rendszerben lévő víz és levegő között radon diffundál. Bizonyos idő eltelte után termikus egyensúlyban a két közeg radonkoncentráció aránya állandó lesz:

$$\frac{C_v}{C_l} = \alpha, \quad \text{ahol } C_v: \text{ a víz radonkoncentrációja} \\ C_l: \text{ a levegőben mért radonkoncentráció}$$

A termikus egyensúly feltétele két rendszer között, hogy megegyezzen a hőmérséklet, nyomás és kémiai potenciál.

Tekintsünk egy zárt rendszert, amely egyrészt V_l térfogatú, normál nyomású ($p = 10^5$ Pa) és $T = 293$ °K hőmérsékletű levegőt, másrészt V_v térfogatú vizet tartalmaz.

A vízben lévő radon atomok száma: N_v

A gáztérben lévő radon atomok száma: N_l

A levegőben található levegőmolekulák száma: N_o

Az ideális egyensúly gáztörvény alapján:

$$p \cdot V_l = N_o \cdot k \cdot T$$

$$N_o = \frac{p \cdot V_l}{k \cdot T}$$

A gáztérben lévő N_l darab radonatom parciális nyomása:

$$P_{Rn} = \frac{N_l}{N_o} \cdot p = \frac{N_l \cdot p \cdot k \cdot T}{p \cdot V_l} = \frac{N_l \cdot k \cdot T}{V_l}$$

HENRY-törvény alapján:

$$x_{Rn} = \frac{1}{\kappa} \cdot p_{Rn}$$

(IV.), ahol x_{Rn} : vízben lévő radon-
koncentráció móltörttel
kifejezve
 p_{Rn} : parciális nyomás a
gáztérben
 κ : $0,391 \cdot 10^7$ Hgmm [24] 20
°C-on és radonra
vonatkoztatva

Az x_{Rn} az atom- illetve a molekulaszámokkal kifejezve:

$$x_{Rn} = \frac{N_v}{N_v \text{ összes}} \quad \text{(V.)}$$

(IV.) és (V.) alapján:

$$\frac{N_v}{N_v \text{ összes}} = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{N_l \cdot k \cdot T}{V_l}$$

$$N_v = \frac{N_l \cdot k \cdot T}{V_l \cdot \kappa} \cdot N_v \text{ összes} \quad \text{(VI.)}$$

A víz radonkoncentrációja: $C_v = \frac{N}{V_v}$

(VI.) felhasználásával:

$$C_v = \frac{N_l}{V_l} \cdot \frac{k \cdot T \cdot N_{\text{összes}}}{V_v \cdot \kappa} = C_l \cdot \frac{k \cdot T}{\rho_{\text{víz}}^{\text{részecke}}}$$

Így:

$$\alpha = \frac{C_v}{C_l} = \frac{k \cdot T \cdot \rho_{\text{víz}}^{\text{részecke}}}{\kappa} = 0,25$$

Tehát szobahőmérsékleten az α egyensúlyi állandó 0,25, ahogy a [23] hivatkozásban is szerepel.

II. 4. 1. 2. A mérőkörben lévő levegő térfogatának meghatározása:

A mérőkörben lévő levegő térfogata a következőkből tevődik össze:

- csövekben lévő levegő térfogata ($V_{cső}$);
- CaCl_2 -t tartalmazó lombikban lévő levegő térfogata (V_{lombik});
- LUCAS-cella belső térfogata (V_{LUCAS});
- PYLON AB-5-ben lévő szcintillációs kamra térfogata (V_{sz});
- pumpa belső térfogata (V_p);
- mintatartó gázmosó palackban lévő levegő térfogata (V_{gp}).

A mérőkörben lévő csövek hosszúságát mérőszalaggal állapítottam meg. A hiba a nem teljesen pontos illesztésből és aleolvasás pontatlanságából adódik:

$$l_{cső} = 369 \text{ cm} \pm 0,5 \text{ cm} = 3,69 \text{ m} \pm 0,005 \text{ m}$$

A csövek átmérője a szabvány alapján (a hiba a gyártási pontatlanságból származik):

$$d_{cső} = 0,6 \text{ cm} \pm 0,006 \text{ cm} = 0,006 \text{ m} \pm 6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$$

Ezen adatokból a csövek térfogata:

$$V_{cső} = \left(\frac{d_{cső}}{2} \right)^2 \cdot l_{cső} \cdot \pi = 1,04^{-4} \cdot \text{m}^3 \pm 2,5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

A hibaterjedést is figyelembe véve: a CaCl_2 -ot tartalmazó lombikban lévő levegő térfogata:

$$V_{lombik} = 0,3 \text{ l} \pm 0,03 \text{ l} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \pm 3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$$

Ezt az értéket úgy állapítottam meg, hogy a lombik 1 literes volt, s a lombiknak kb. 1/3 részét töltötte ki a CaCl_2 .

A Műszer leírásában megadott paraméterek alapján

— a LUCAS-cella térfogata:

$$V_{\text{LUCAS}} = 1 \text{ l} = 10^{-3} \text{ m}^3 = 10 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

— a szcintillációs kamra térfogata:

$$V_{\text{sz}} = 27 \text{ ml} = 2,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

— a pumpa térfogata:

$$V_{\text{p}} = 154 \text{ ml} = 1,54 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

Ezek hibáit elhanyagolhatónak tekintjük.

A mintatartó lombikban lévő levegő térfogata:

$$V_{\text{gp}} = 15 \text{ ml} \pm 5 \text{ ml} = 0,15 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \pm 5 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$$

Ezt úgy állapítottam meg, hogy a mintatartó lombik térfogatából (60 ml) levontam a vízminta térfogatát (45-50 ml).

$$\begin{aligned} V_l &= V_{\text{cső}} + V_{\text{lombik}} + V_{\text{LUCAS}} + V_{\text{sz}} + V_{\text{p}} + V_{\text{gp}} = \\ &= (1,04 + 3 + 10 + 2,7 + 1,54 + 0,15) \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \pm 3,57 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 = \\ &= 18,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \pm 3,57 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 = 18,43 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \pm 3\% \end{aligned}$$

Tehát a mérőkörben található levegőmennyiséget 3 %-os hibával tudtam meghatározni.

II. 4. 2. A vizsgált vízminták radontartalma

A II. 3. 1. pontban levezetett képlet alapján $C_o = C_1 \cdot \left(\alpha + \frac{V_1}{V_v} \right)$

és a II. 2.-ben szereplő mérési eredmények alapján a vízminták radonkoncentrációja megadható.

A számolás során a 3 óra eltelte után beállt levegő koncentrációkkal számoltam, hiszen ekkorra jön létre a radioaktív egyensúly a radon és leányelemei között, s ezután a koncentráció időben állandó lesz.

a) A vízminták radonkoncentrációját a következő táblázat foglalja össze (C_1 : mérőkör levegőjének radontartalma; N_{PYLON} : a PYLON által mért beütésszám 3 óra alatt; C_v : a víz radonkoncentrációja)

vízminta neve	N_{PYLON}	C_1 (Bq/m ³)	N_{NA}
csapvíz	77	321	3,17
Nagytétényi úti kútvíz	38	109	1,56
Harkányi víz	13	93	0,54
Juventus-forrás	408	1510	16,81
Sukoró I. forrás	394	1465	16,24
Angelika-forrás	420	2427	16,57
GT. — I. forrás 1.)	348	1297	14,34
2.)	291	1092	11,99
GT. — III. forrás	194	742	7,99
Tisza folyó	4	77	0,13
Lukács-fürdő	41	191	1,69
Király-fürdő	68	297	3,00
Apenta-forrás	56	245	2,31
Öreg-tó	14	—	0,52
Széchenyi-fürdő	27	141	1,14

26. táblázat

Természetesen ezeket a C_v koncentrációértékeket nem tudjuk pontosan megmondani, csak valamekkora hibával.

A mért C_1 levegőbeli koncentráció hibája -10 % a műszer leírása alapján.

Az α koncentráció arány hibája 5 %, mivel a hőmérsékletet nem simrejtük pontosan (és többször a vízmintánk melegebb volt a szobahőmérsékletnél).

A mérőkörben lévő levegő térfogatának (V_1) hibája 3 %, ld. II. 3. 1. 2.

A minta térfogatának (V_v) leolvasásakor 1 % hibát követtünk el.

Ezek alapján a hibaterjedés módszerét használva a vízminták radonkoncentrációját 15 %-os hibával tudtuk megállapítani. Eza hiba kisebb

koncentrációjú vizek esetén nagyobb is lehet, mivel ekkor a háttér kivonásakor nagyobb hibát vétettünk.

A mérés során követtünk el szisztematikus hibákat:

- mintavételkor radon szökhet ki a levegőbe, míg a víz a csapból a mintatartóba nem ér;
- a mérés megkezdéséig is szivároghat ki a gázmosó palackból radon;
- mérés során a nem teljesen záró illeszkedési pontokon radon juthat ki a rendszerből.

Ezen hibák is befolyásolhatják eredményeinket.

A mért vízmintákat a minták származási helyét illetően 3 csoportba sorolhatjuk:

1.) Budapesti termálforrások (Juventus-forrás, Gellért Termál—I. forrás, Gellért Termál—III. forrás, Lukács-fürdő, Király-fürdő, Széchenyi fürdő, Apenta forrás). Ezek mind mélyről fakadó források, melyek sok ásványi anyagot tartalmaznak, és hőmérsékletük igen magas (e tulajdonságaik adják gyógyhatásukat). Így az átlagosnál nagyobb radioaktivitást várunk bennük.

2.) A Velencei-tó mellett található Sukorói hegy két, egymástól kb. 2 km-re fekvő természetes forrása (a Sukoró I. és az Angelika-forrás).

3.) A fennmaradó vízminták egyikében sem volt várható hogy magas radontartalmat mérjünk. Ezen vizeket az átfogóbb vizsgálódás kedvéért mértük (csapvíz, Nagytétényi úti kátvíz, Harkányi víz, Tisza vize, Öreg-tó).

A csapvíz radonkoncentrációjának értékéhez jó összehasonlítási alapot adnak a már mások által korábban elvégzett mérések. Ezen mérési eredményeknek nagy lehet a szórása. Összehasonlító értéknek számíthat a mért értékek átlaga; illetve az egyes országokban meghatározott egészségügyi korlátok. Erre vonatkozó vizsgálatokat végeztek Svédországban, ahol a csapvízben mért átlagos radonkoncentráció 38 Bq/l volt [10]. Ausztriában 0,122 Bq/l-ben maximalizálták az ivóvízben megengedhető radontartalmat. Ennek ellenére Ausztria egyes területein a kútvízben akár 100 Bq/l-t is mértek [12]. Nagy-Britanniában a csapvízben mért radon értékek mindegyike alacsony volt, a legtöbb

0 - 2 Bq/l közé esik [14], a javasolt határértékük 100 Bq/l. Az Egyesült Államokban az ivóvízben megengedett radonkoncentráció 3,7 Bq/l.

Az általunk mért csapvíz radonkoncentrációja 3,17 Bq/l, ami várakozásunkhoz képest kicsit magasnak adódott.

[21] alapján az ivóvízben oldott ^{226}Ra -tól származó radon megengedhető, maximális koncentrációja 0,11 Bq/l. A radon a vízben nemcsak a benne oldott rádiumtól származhat, hanem a vízbe a környezetéből is beleoldódhat.

Találtunk a csapvaznál alacsonyabb és magasabb aktivitású vizeket is.

Kis aktivitást mutat a harkányi, Nagytétényi úti, Öreg-tóból származó és a Tiszából vett vízminta. Ezen vizek radonkoncentrációja 0,1 - 1 Bq/l között változik.

Az Öreg-tó és a Tisza vizében nem vártunk magas értékeket, hiszen nem mennek keresztül mélyen fekvő kőzeteken, így nem várható bennük rádiumtól származó vízben oldott radon.

A harkányi vízben lehet, hogy volt radon, de több, mint 14 napig állt az üvegben, így a környezetéből beleoldódott radongáz elbomlott. A kapott kis koncentrációérték alapján arra következtethetünk, hogy ebben a vízben nincs rádium.

Budapest lakosságát mára már szinte teljesen vezetékes vízzel látják el, néhol azonban még mindig vannak fűrt kutak. Egy ilyen, a Dunához közeli fűrt kútból (Nagytétényi út 234/6) származó minta mért koncentrációja a csapvíz koncentrációjának nagyságrendjébe esett.

Mértünk olyan vizeket is, melyek aktivitása csak kicsit, vagy akár egy nagyságrenddel is nagyobb volt, mint a csapvízé. Ezen mintákat a mintavétel helye alapján két csoportra bonthatjuk:

- budapesti termálvizek;
- Velencei-hegységben található természetes forrásvizek.

A budapesti termálvizek aktivitásának magas értékeket vártunk, hiszen ezen vizek mélyről származnak, és hőmérsékletük is magasabb a szobahőmérsékletnél. Mindezek ellenére mégis a következő 4 helyről (Lukács-fürdő, Széchenyi-fürdő, Király-fürdő, Apenta-forrás) származó minták aktivitása a csapvízben mérttel nagyjából azonosnak adódott.

A Széchenyi-fürdőből a minta 1246 m mélyről eredő forrásból származik, melynek hőmérséklete $^{\circ}\text{C}$ 76. E magas hőmérséklet hatására a gázmosó palack tömitései meglazultak, s nagy valószínűséggel már a mérés megkezdése előtt radon tudott kiszivárogni a mintatartóból.

A II. 4. 1. 1.-ben szereplő α egyensúlyi állandó levezetésekor azt találtuk, hogy α függ a T hőmérséklettől, s mivel

$$\alpha = \frac{C_v}{C_l} = \frac{k \cdot T}{\kappa} \cdot \rho_{\text{víz}}^{\text{részecské}}$$

így magasabb hőmérsékleteken a levegőben mért koncentráció nő, tehát a radon nagyobb mértékben lép ki a vízből a körülötte lévő gáztérbe.

A Lukács-fürdőben a vízmintát az ivókútból vettük. Már a mintavétel során sok radon szabadulhatott ki a levegőbe, hiszen a vizet igen messziről tudtuk csak a palackba engedni.

A Király-fürdő a vizet a Lukács-fürdő 1.-2. kútjából kapja néhány száz méter hosszú csövön keresztül. A víz átvezetése során és a medence csapjáig való eljutása során sok radon elbomlik, s itt nagy mértékű lehet a radongáz kiszivárgása e folyamatok során, ami okozhatja a mért kis koncentrációt.

A Gellért-fürdő, Rudas-fürdő vizei közsimerten nagy radontartalmú vizek. Ennek magyarázata, hogy mélyről — urán és rádium tartalmú kőzeteken keresztül — tör a felszínre a víz. Ezen források törésvonal mentén fekvő termálforrások. A mért mintákban a csapvízben mérttől egy nagyságrenddel nagyobb aktivitás mutatkozott. Az OSSKI más módszerrel, más mintavételi eljárás során tíz nagyságrenddel nagyobb értékeket kapott (pl.: Juventus-forrás 126 Bq/l) [19].

Mérésünk során egy igen érdekes felfedezésre jutottunk. A Velencei-hegységben, egymástól 2 km-re lévő két hidegvízű forrásból — Sukoró I. és Angelika-forrás származó minták aktivitásai a mérési hibán belül is megegyeztek. A Velencei-hegység a többi magyarországi hegységhez képest uránban és rádiumban gazdagabb, s feltehetően ezen forrásokban a sok radon a fenti kőzetekből oldódik ki. Az elmondottak alapján előfordulhat, hogy ezen a térségen belül bárhol hasonlóan nagy aktivitásokat mérhetnénk, így érdekes lenne a jövőben koncentrációra vonatkozó méréseket végezni ezen a területen található vizekben.

b) Mérésem másik része arra vonatkozott, hogy megnézzem, nagyon magas radonkoncentrációjú gázból oldódik-e radon a szinte radon nélküli desztillált vízbe. A magas radonkoncentrációjú levegőt urántartalmú földdel töltött radonkamra biztosította.

Az alacsony radontartalmú vizet így állítottuk elő, hogy a desztillált vizet N_2 -nel átmostuk. Ezen eljárás után a desztillált víz kezdeti koncentrációját a II. 4. 1. alapján meghatározva kaptuk, hogy:

$$C_{v1} = 0,41 \text{ Bq/l} \pm 0,002 \text{ Bq/l}$$

A radonkamrában lévő levegő koncentrációja $6 \pm 2 \text{ kBq/m}^3$. A hiba abból adódik, hogy ezt az értéket a mérésünk előtt két héttel mértük, s ennyi idő alatt változhatott a radonkamra levegőjének aktivitása.

A desztillált vizet tartalmazó gázmosó palackot összenyitottuk a radonkamra levegőjével. A víz koncentrációja mintegy ötszörösére nőtt:

$$C_{v2} = 2,004 \pm 0,3 \text{ Bq/l}$$

Az előző részben (II. 4. 1. 1.) tárgyalt egyensúlyi C_l/C_v arány ezen két értékből számolva $3 \pm 0,8$, amely közel áll a számolt 4-hez.

Ebből megállapítható, hogy a radon nemcsak nagy koncentrációjú vízből tud levegőbe vándorolni, s ezzel befolyásolni például a lakások levegőjének radontartalmát, hanem nagy aktivitású levegő igen nagy mértékben növeli a vele szabadon érintkező folyadék radontartalmát.