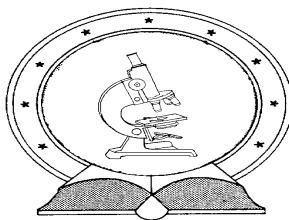


DE TTK



1949

**FELSZÍN ALATTI VIZEKBŐL SZÁRMAZÓ
RADON GÁZ
A TERMÉSZETES ÉS ÉPÍTETT KÖRNYEZETBEN**

Doktori (PhD) értekezés

Varga Klára

Témavezető:

Dr. Csige István

DEBRECENI EGYETEM
Természettudományi Doktori Tanács
Fizika Doktori Iskola
Debrecen, 2011

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Természettudományi Doktori Tanács Fizika Doktori Iskola Fizikai módszerek interdiszciplináris alkalmazásokban programja keretében készítettem a Debreceni Egyetem természettudományi doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2011. január 17.

.....
Varga Klára

Tanúsítom, hogy Varga Klára doktorjelölt 2002 - 2011 között a fent megnevezett Doktori Iskola Fizikai módszerek interdiszciplináris alkalmazásokban programjának keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult. Az értekezés elfogadását javasolom.

Debrecen, 2011. január 17.

.....
Dr. Csige István

FELSZÍN ALATTI VIZEKBŐL SZÁRMAZÓ RADON GÁZ A TERMÉSZETES ÉS ÉPÍTETT KÖRNYEZETBEN

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében
a fizika tudományágban

Írta: Varga Klára

okleveles fizika szakos középiskolai tanár

Készült a Debreceni Egyetem Fizika Doktori Iskolája

(Fizikai módszerek interdiszciplináris alkalmazásokban programja)

keretében

Témavezető: Dr. Csige István

A doktori szigorlati bizottság:

elnök: Dr. Koltay Ede

tagok: Dr. Somlai János

Dr. Csepura György

A doktori szigorlat időpontja: 2009. február 02.

Az értekezés bírálói:

Dr.

Dr.

Dr.

A bírálóbizottság:

elnök: Dr.

tagok: Dr.

Dr.

Dr.

Dr.

Az értekezés védésének időpontja: 20... .

TARTALOMJEGYZÉK

I.	
BEVEZETÉS.....	7
II.IRODALMI	
ÁTTEKINTÉS.....	8
II.1. Az élő szervezetet érő ionizáló sugárzás jellemzés.....	8
II.1.1. Sztochasztikus hatás jellemzői	9
II.1.2.Törvényisabályozás.....	11
II.1.2.1. A radonra vonatkozó nemzetközi ajánlások.....	11
II.1.2.2. A radonra vonatkozó hazai ajánlások.....	11
II.1.2.3. Magyarország és európai országok	
szabályozásának összehasonlítása.....	13
II.1.3. A radon keletkezése és jellemzői.....	14
II.1.4. A radon és leányelemeinek egészségügyi hatásai	16
II.1.5. A radon elleni védekez.....	19
II.2. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉ.....	21
II.2.1. Magyarország talajának rétegződése.....	21
II.2.1.1. A magyar medence geotermikus viszony.....	23
II.2.1.2. Felszín alatti hévíztárol.....	24
II.2.2. A mélységi vizek összetétele, jellege és	
keletkezésüket meghatározó tényezők, folyamat.....	26
II.2.2.1. A vizek radioaktivitásának geokémiai erede.....	28
II.2.2.2. A vizek ²²² Rn- és ²²⁶ Ra- tartalmának	
meghatározására vonatkozó nemzetközi mérések.....	30
II.2.2.3. Hévizek alfa- radioaktivitása	31
II.2.2.4. A hazai hévizek radioaktivitása.....	33
II.3. MÉRÉSI HELYSZÍNEK BEMUTATÁSA	35
II.3.1. Eger földrajzi fekvése	35
II.3.1.1. Az egri gyógyforrások eredete, származása,	
földtani viszonyai	36
II.3.1.2. Egri vizek radioaktivitása	38
II.3.2. Miskolctapolca földrajzi fekvése	38
II.3.2.1. A miskolctapolcai gyógyforrások eredete,	
származása, földtani viszonyai	39
II.3.3. A Nyírség és a Szatmár-Beregi síkság földrajzi fekvése	40
II.3.3.1. Júlia fürdő	41
II.4. ALKALMAZOTT MÉRÉSI MÓDSZEREK	43
II.4.1. HÉVIZEK ALFA-RADIOAKTIVITÁSÁNAK VIZSGÁLATA	
SZILÁRDTEST - NYOMDETEKTORRAL	43
II.4.1.1. Szilárdtest-nyomdetektorok	43
II.4.1.2. Nyomkeletkezési modellek	44
II.4.1.3. A nyomkeletkezés feltételei	46

II.4.1.4. A nyomüreg kialakulása és a nyomfeltárás lehetőségei	47
II.4.1.5. Vízminták össz – alfa - radioaktivitásának meghatározásához alkalmazott összefüggések	50
II.4.2. Vízminták oldott radon tartalmának meghatározása nyomdetektoros technikával (elméleti összefoglaló)	51
II.4.2.1. A Radamon felépítése	51
II.4.2.2. Az alkalmazott eszköz bemutatása	52
II.4.2.3. A vízminták Rn – tartalmának meghatározásához szükséges összefüggések	54
III.SAJÁTVIZSGÁLATOK.....	56
III.1. HÉVIZEK ÖSSZ – ALFA – RADIO-AKTIVITÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA	56
III.1.1. Vízminták gyűjtése, előkészítése.....	57
III.1.2.Mérés menete.....	58
III.2. VIZEK ²²² RN AKTIVITÁS-KONCENTRÁCIÓJÁNAK MÉRÉSE.....	59
III.2.1.Mintavételezés.....	59
III.2.2. Az egri Török fürdő Tükör- és Török medencéje vizének vizsgálata.....	60
III.2.3. A Bárány uszodában végzett mérések.....	61
III.2.4. A kórházi épület központi gyógymedencéjének vizében oldott ²²² Rn- tartalom meghatározása	61
III.2.5. A nyíregyházi Júlia fürdő vizei oldott radon-tartalmának vizsgálata.....	62
III.2.6. Miskolctapolcán a Gyógy- és Barlangfürdő vizében végzett mérések	63
III.3. A RADON GÁZ ÚTJÁNAK NYOMON KÖVETÉSE A FORRÁSTÓL A MEDENCÉKIG	64
III.3.1. A radon - forrástól a medencéig tartó - útjának vizsgálata az egri Török fürdőben lévő Török- és Tükör medencék vizében, valamint a medencéket tartalmaz helyiség légterében	64
III.3.2. Hotel Flóra szálloda fürdőmedencéi radon tartalmának vizsgálata.....	66
III.3.3. A József-forrásból a forrásvízzel a rendszerbe belépő radon gáz útjának vizsgálata	66
IV.MÉRÉSI EREDMÉNYEIM	73
IV.1.A HÉVIZEK ÖSSZ – ALFA – RADIOAKTIVITÁSA	73
IV.1.1. A vizsgált hévízkutak és azok vizeinek összehasonlító elemzése.....	73
IV.1.1.1. Talpmélység – vízhőmérséklet kapcsolata	75
IV.1.1.2. Szárazanyagtartalom kapcsolata a vízhőmérséklettel	76
IV.1.1.3. Talpmélység – szárazanyagtartalom összefüggése	77
IV.1.2. Hévízminták össz - alfa – aktivitásának vizsgálata	79
IV.1.2.1. Az össz – alfa - aktivitás a hévizek hőmérsékletének függvényében	80

IV.1.2.2. Az össz - alfa - aktivitás a vizsgált kutak talpmélységének függvényében	81
IV.1.2.3. Össz – alfa – radioaktivitás kapcsolata a víz minta szárazanyag tartalmával	82
IV.1.2.4. A vízhőmérséklet, a szárazanyag tartalom és a hévízkutak talpmélységének összefüggése	83
IV.1.2.5. A vízhőmérséklet, az össz – alfa - aktivitás és a hévízkutak talpmélységének összefüggése	85
IV.1.2.6. A vízhőmérséklet, az össz – alfa - aktivitás és a szárazanyag tartalom összefüggése	85
IV.2. A RADON GÁZ ÚTJÁNAK VIZSGÁLAT EREDMÉNYEI.....	86
IV.2.1. Az egri Termálfürdőben és a Török fürdőben végzett mérések eredményei	86
IV.2.2. A Bárány uszoda I. sz. és II. sz. forrás vizének oldott ²²² Rn aktivitáskonzentrációja	88
IV.2.3. A kórház központi gyógymedencéje vizének oldott ²²² Rn aktivitáskonzentrációja	88
IV.2.4. A nyíregyházi Júlia fürdő medencéinek oldott ²²² Rn aktivitás-konzentrációja	89
IV.2.5. Miskolctapolca, Gyógy- és Barlangfürdő vizeinek oldott ²²² Rn aktivitás-konzentrációja	90
IV.2.6. A Török fürdőben végzett mérések eredményei.....	91
IV.2.6.1. A medence vize ²²² Rn tartalmának változása a helyiség szellőzési hozamának függvényében.....	94
IV.2.6.2. A helyiség légcseréjének gázhozama függvényében a légtér ²²² Rn tartalma	94
IV.2.6.3. A ²²² Rn aktivitáskonzentráció változása a medence vizében a ²²² Rn párolgási tényezőjének függvényében	95
IV.2.6.4. A ²²² Rn aktivitáskonzentráció változása a helyiség légterében a ²²² Rn párolgási tényezőjének függvényében	96
IV.2.7. A radon útjának vizsgálata a Hotel Flóra fürdőben	97
IV.2.7.1. A párolgási sebesség, a keverőtartály és a medencék vizének ²²² Rn aktivitáskonzentrációja közötti összefüggés	99
IV.2.7.2. A medencék és a keverőtartály vizében oldott ²²² Rn aktivitáskonzentráció változása a József-forrásból való víz betáplálás hozamának függvényében	101
V. ÖSSZEFOGLALÁS.....	103
VI. SUMMARY.....	106
VII. IRODALOMJEGYZÉK.....	109
VIII. FÜGGELÉK.....	115
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	120

I. BEVEZETÉS

Természetes és épített környezetünkben számtalan veszélyforrással találjuk szembe magunkat. Ezek közé tartozik az ionizáló sugárzás is, amelynek káros egészségi hatásai elleni védekezés a sugárvédelem feladata. A lakosság természetes forrásokból eredő sugárterhelésének körülbelül a fele származik a radon gáz rövidéletű bomlástermékeinek a belégzéséből. A radon egy nemesgáz, csak radioaktív izotópjai vannak. A természetben a 222-es számú izotópja fordul elő legnagyobb mértékben. A kőzetekben (talajokban) lévő rádiumból keletkezik. Közvetlen környezetünkben leggyakrabban a talajból kiszivárgó és lakások, épületek légterében feldúsuló radonnal kerülünk kapcsolatba. Ugyanakkor kiemelkedően nagy radonkoncentrációk fordulhatnak elő földalatti munkahelyeken, bányákban, barlangokban, és egyes fürdőkben is. A mélységi vizek radontartalma gyakran igen jelentős lehet, és az ilyen vizeket közvetlenül hasznosító fürdők vizében, a vízzel érintkező zárt terek légterében is veszélyesen nagy radonkoncentrációk alakulhatnak ki.

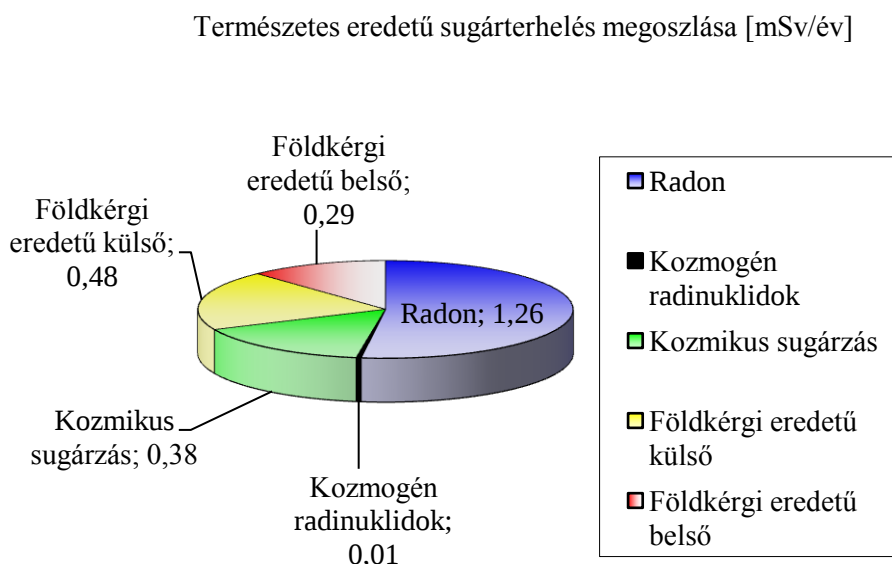
Ebben a munkában néhány hazai fürdőben (Eger, Török Fürdő; Miskolctapolca; Júlia Fürdő, Nyíregyháza) végzett vizsgálataink alapján bemutatom, hogy a radon gáz hogyan mozog a fürdölétesítmények víz- és gáztereiben, végigkövetve a radon útját a forrásoktól a kibocsátásokig. Bemutatom a sugárvédelem szempontjából fontosabb besugárzási útvonalakat, és az esetlegesen indokolt beavatkozási lehetőségeket.

Összefoglalom Szabolcs-Szatmár-Bereg-megye és Hajdú-Bihar megye hévízkútjainak össz – alfa - radioaktivitását. Ennek vizsgálata azért célszerű, mert a vizek nagy része fürdőhelyeken van, ahol szívesen töltjük szabadidőnket.

II. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

II.1. Az élő szervezetet érő ionizáló sugárzás jellemzése

Mint már a bevezetőben említettem, többféle természetes eredetű sugárzás ér bennünket. Ezek összességét háttérsugárzásnak nevezzük, amely nagyságát jelentősen befolyásolják a környezeti tényezők. Az ENSZ Atomsugárzásokat Vizsgáló Tudományos Bizottságának (UNSCEAR) 2000. évi felmérése szerint a Föld népességének átlagos sugárterhelése 2.8 mSv/év, melynek döntő többsége a természetes eredetű háttérsugárzásból származik, 2.4 mSv/év. Ennek megoszlását mutatja az 1. ábra.



1. ábra. A természetes eredetű sugárterhelés megoszlása [SO-00]

A dózisterhelés szempontjából az alapvető *primordiális radionuklidok* a ^{40}K , a ^{232}Th , az ^{238}U . Dozimetriai szempontból jelentős még a ^{232}Th , és az ^{238}U bomlási sorában található radioizotópok többsége. Egyre több helyen vizsgálják a természetes eredetű radioizotópokból származó gamma-sugárzás okozta sugárterhelést. A gamma sugárteljesítmény nagy része az ^{238}U bomlási sorában lévő ^{214}Pb és a ^{214}Bi , míg a ^{232}Th bomlási sorban szereplő ^{208}Tl és ^{228}Ac

radioizotópoktól származik. A terasztriális gamma-sugárzásból származó külső sugárterhelés népességgel súlyozott világátlagos 0.48 mSv évente. Belső sugárterhelés szempontjából a ^{222}Rn izotópon kívül a táplálékláncban mindig előforduló ^{40}K a legjelentősebb. Az élelemfogyasztással és a légzéssel a szervezetbe kerülő földkérgi radionuklidok által okozta belső évi effektív dózis 0.29 mSv. Ebből 0.1 mSv az ^{238}U és a ^{232}Th radionuklidtól származik, a többi a ^{40}K -tól [SO-00].

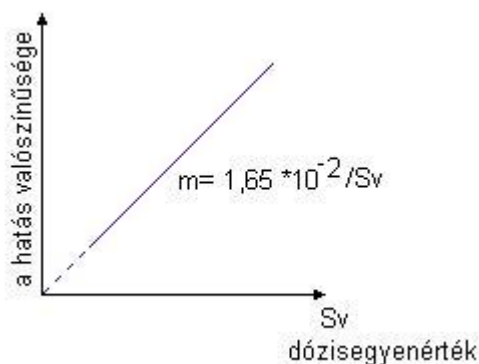
A természetes háttérsugárzás mértéke a népességen belül is jelentős eltéréseket mutat. Befolyásolja éves sugárterhelésünket a földrajzi hely, az időjárás, a lakóépületek, de még olyan szokások is, hogy hányszor szellőztetünk, nyitott ablaknál alszunk-e, hol szoktunk üldülni - tengerparton vagy hegyekben.

II.1.1. Sztochasztikus hatás jellemzői

Az élő szervezetet érő sugárzások hatása összetett. Fizikai, kémiai, majd biokémiai, legvégül biológiai változások következnek be. Ezek hatására a szövetek, szervek részleges vagy teljes elhalása következik be. Az élőlényt ért sugárterhelés következtében fellépő károsodás két nagy csoportba osztható úgy, mint determinisztikus, illetve sztochasztikus hatásra. Az alfa-sugárzás által bekövetkező kedvezőtlen változások a sztochasztikus hatással vannak összefüggésben.

A sztochasztikus hatás kis dózisú besugárzások esetén fordul elő. A sugárdózistól a megbetegedés gyakorisága és nem a súlyossága függ. Általában rosszindulatú daganatos megbetegedések formájában, de kisebb mértékben genetikai károsodásként jelentkezik.

A sztochasztikus – statisztikai valószínűség szerint megjelenő – hatások az alábbiakkal jellemezhetők: az elnyelt dózis növekedésével egyenes arányban nő a hatás valószínűsége, nincs küszöbdózis. Ez azt jelenti, hogy minden dózis mellé rendelhető egy bizonyos valószínűség. Ezért a sugárterhelés mértékét az ésszerűen elfogadható legalacsonyabb szintre kell szorítani [JU-87].



2. ábra. Sztochasztikus hatás

A végzett vizsgálatok arra az eredményre vezettek, hogy a dózis-hatás görbe lineáris (kis valószínűségek esetén csak nagy populáción végzett mérések adnak megbízható eredményeket, ezért a görbe alsó szakaszának linearitása csak feltételezés). A görbe meredeksége az összes halálos megbetegedés kockázati tényezőjét adja, 2. ábra.

Az 1. táblázatban összefoglaltam, melyik betegség milyen kockázati tényezővel fordul elő. A radon gáz lehet az oka több esetben a kialakuló tüdőráknak.

1. táblázat. A megbetegedések kockázati tényezője

<i>Megbetegedés</i>	<i>Kockázati tényező ($10^{-2}/\text{Sv}$)</i>
Emlőrák	0.25
Tüdőrák	0.20
Fehérvérűség	0.20
Csontdaganat	0.05
Pajzsmirigyrák	0.05
Más rosszindulatú daganat	0.50
Öröklődő egészségkárosodás	0.40
<i>Összesen</i>	<i>1.65</i>

II.1.2. Törvényi szabályozás

Nemzetközi ajánlások, irányelvek határozzák meg a világ országai sugárvédelmi szabályainak nagy részét. Nemzetközi szervezetek adják ki az ajánlásokat úgy, mint United Nation Scientific Committee on Effects on Radiation Protection (UNSCEAR), International Commission on Radiation Protection (ICRP), International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). Az ICRP a legújabb eredményeket és tapasztalatokat elemezve és összesítve ajánlásokat tesz közé. Az International Atomic Energy Agency (IAEA) irányításával nemzetközi összefogásban készülnek a gyakorlati bevezetéshez nélkülözhetetlen és konkrét technikai megoldásokat is tartalmazó ajánlások. Ennek eredményeként jelentette meg 1995-ben az IAEA a biztonsági szabályzatát, illetve hazánk 1996-ban az atomtörvényt és az ehhez kapcsolódó végrehajtási rendeletet [KA-96, ICRP-65, EC-97].

II.1.2.1. A radonra vonatkozó nemzetközi ajánlások

A potenciális alfaenergia koncentráció nem más, mint az egységnyi térfogatban lévő rövidéletű radon bomlástermék atomok potenciális alfaenergiáinak összege. Mértékegysége: 1 Jm^{-3} .

Egyensúly-ekvivalens bomlástermék-aktivitáskoncentráció az az aktivitáskoncentráció, amely esetén az egymással radioaktív egyensúlyban lévő bomlástermékek potenciális alfaenergia koncentrációja pontosan egyenlő a tényleges bomlástermék keverék potenciális alfaenergia koncentrációjával. Egyensúlyi tényező az egyensúly-ekvivalens bomlástermék-aktivitáskoncentráció és a ^{222}Rn aktivitáskoncentráció hányadosa. Értéke általában 0.4 és 0.6 körüli.

A potenciális alfaenergia sugárterhelés, azaz a radon sugárterhelés a potenciális alfaenergia koncentráció és az idő szorzata.

Mértékegységei: $1 \text{ Jm}^{-3}\text{s}$, illetve $1 \text{ mJm}^{-3}\text{h}$.

A radon sugárterhelések és a sugárvédelemben dóziskorlátozásokra használt mennyiségek összehasonlítása érdekében a radon sugárterheléseket

effektív dózissá számítják. Az ICRP-65-ös számú közleménye alapján az átszámítás a következő: munkásokra: $1 \text{ mJm}^{-3}\text{h} = 1.43 \text{ mSv}$, lakosságra: $1 \text{ mJm}^{-3}\text{h} = 1.1 \text{ mSv}$.

A radonra vonatkozó ajánlott cselekvési szint lakóépületben 200 Bq/m^3 , munkahelyeken pedig 1000 Bq/m^3 . 7000 és 2000 óra tartózkodási időre vetítve, mindkét területen 0.4 egyensúlyi faktort alkalmazva 5 mSv , illetve 6 mSv becsült évi sugárterhelés adódik. A sugárterhelés becslése lakások esetén 1.1 Sv/Jhm^3 , míg munkahelyeknél 1.4 Sv/Jhm^3 dóziskonverziós tényező felhasználásával történt [ICRP-65].

Ezek aktivitáskoncentrációra vonatkoztatva lakóépületeknél $6.2 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bqhm}^{-3}$, munkahelyeknél $7.9 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bqhm}^{-3}$.

A radon és leányelemeitől származó sugárterhelés számítása a következő összefüggés alapján történik:

$$E = C_{Rn} \cdot F \cdot t \cdot D, \text{ ahol}$$

E = éves effektív dózis [mSv/év],

F = egyensúlyi faktor [dimenzió nélküli],

t = tartózkodási idő [h/év],

D = munkahelyre vonatkozó ICRP dózis – konverziós tényező, amelynek értéke: [$7.9 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bqhm}^{-3}$].

Az IAEA biztonsági szabályzatában a radon leányelemeinek koncentrációját veszi figyelembe, 0.4 egyensúlyi faktort alkalmazva. A sugárterhelés egyetlen évben sem haladhatja meg az 50 mSv értéket, valamint öt egymás utáni év átlaga sem lehet 20 mSv/év vagy annál több [IB-96].

Az Európai Unió szabályozása szintén a radon leányelemeinek koncentrációját veszi figyelembe. Munkahelyi cselekvési szintre nem ad meg határértéket, csak a dóziskonverziós tényezőt és a maximált munkahelyi sugárterhelést szabja meg, de eltérő dóziskonverziós tényezőt javasol lakásra és munkahelyre [ICRP-65, EC-97].

II.1.2.2. A radonra vonatkozó hazai ajánlások

Magyarországon a végrehajtási rendelet cselekvési szintként levegőben 1000 Bq/m^3 radonkoncentrációt állapít meg. A sugárterhelés egymás utáni öt évre összegezve nem haladhatja meg a 100 mSv effektív dózist. Ez a rendelet azt is szabályozza, hogy egyetlen évben sem lehet több az effektív dózis 50 mSv/év értékénél. A dózisbecsléshez szükséges egyensúlyi faktorra és dóziskonverziós tényezőre vonatkozó szabályok nincsenek.

Az ajánlott 0.4-es egyensúlyi faktorral és a $7.9 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bqhm}^{-3}$ (ICRP által javasolt) dóziskonverziós tényezővel számolva 1000 Bq/m^3 – es radonkoncentráció évi 6.3 mSv sugárterhelést jelent.

II.1.2.3. Magyarországi és európai országok szabályozásának összehasonlítása

Az európai országok zömében szabályozzák a lakások - és a munkahelyek légterének radontartalmát (pl. Belgium, Svédország, Németország, Írország, Svájc, stb.). Ezekben az országokban a radonra vonatkozó cselekvési szint változó, $200\text{-}3000 \text{ Bq/m}^3$ között van. A legtöbb esetben a radon aktivitáskoncentrációra van maximumszint megállapítva, de pl. Romániában munkaszint az irányadó, és csak a földalatti munkára határoztak meg küszöbértéket. Lengyelországban dóziskorlát van, míg Belgiumban, Németországban és Svédországban a földalatti munkahelyek esetén, a munkahelyen eltöltött órák száma határozza meg a megengedett radon-szintet. Több országban azt is meghatározzák, mikor, milyen időközönként, milyen eszközökkel, mennyi ideig végezhető a vizsgálat. A mérés elvégzésére több esetben szabvány leírás is van [HS-05].

Magyarországon a megengedett légtéri radontartalom 1000 Bq/m^3 . Nincs iránymutatás a mérés elvégzésének módjára, mikor, milyen módszerrel kell mérni a radon aktivitáskoncentrációt. A sugárterhelés becslésével kapcsolatban nincs útmutatás az alkalmazandó egyensúlyi faktor és dóziskonverziós tényezők értékéről. A magyar szabályozásból nem látszik, hogy

az adott radon-koncentráció adott területen milyen sugárterhelésnek felel meg. Az sem világos, milyen tényezőket kell figyelembe venni a sugárterhelés becslése folyamán.

II.1.3. A radon keletkezése és jellemzői

A természetes környezetünkben jelenlévő radon a talajokban és a kőzetekben található rádiumtól származik. A természetben előforduló három radioaktív bomlási sor mindegyikében szerepel a radon nemesgáz egy-egy izotópja: radon (^{222}Rn), toron (^{220}Rn) és aktinon (^{219}Rn). Ezek tulajdonságainak összefoglalását tartalmazza a 2. táblázat.

2. táblázat. A bomlási sorok radon izotópokkal kapcsolatos jellemzői [KO-87].

<i>Bomlási sor</i>	<i>Urán</i>	<i>Tórium</i>	<i>Aktínium</i>
Tömegszám kód	$4n+2$	$4n$	$4n+3$
<i>Kiindulási elem és felezési ideje</i>	^{238}U $4,5 \cdot 10^9$ év	^{232}Th $1,39 \cdot 10^{10}$ év	^{235}U $7,3 \cdot 10^8$ év
Rádium anyaelem és felezési ideje	^{226}Ra 1622 év	^{224}Ra 3.64 nap	^{223}Ra 11.4 nap
<i>Radon leányelem és felezési ideje</i>	^{222}Rn (radon) 3,82 nap	^{220}Rn (toron) 55,6 s	^{219}Rn (aktimon) 3,9 s
Potenciális alfa-energia a rövidéletű bomlási sorban	19,2 MeV /atom	20,9 MeV /atom	20,8 MeV /atom
<i>Stabil végmag</i>	^{206}Pb	^{208}Pb	^{207}Pb

Az *aktimon* nem eredményez jelentős sugárterhelést, mert a természetben az ^{235}U koncentrációja kicsi (a természetes urán 0.71%-a), illetve annyira rövid a felezési ideje (3.9 s), hogy nagy része már a keletkezés helyén

elbomlik. Így csekély hányada kerül a légterbe.

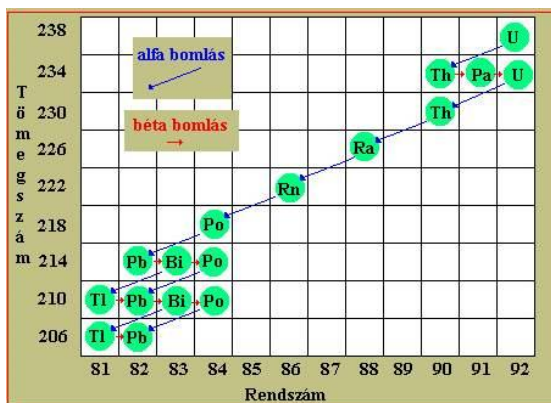
A radon 220-as izotópját (toron) két angol tudós R. B. Owens és E. Rutherford fedezte fel 1899-ben.

A *toron* által okozott egészségügyi probléma sokkal kevésbé kiterjedt és általában könnyebben kezelhető. A rövid, 55,6 másodperces felezési idő miatt nem jut el a keletkezési helyétől nagyobb távolságokra, így a zárt terekben való feldúsulása is sokkal ritkábban fordul elő. Ha a talaj, a kőzet, vagy az építőanyag ^{232}Th koncentrációja nagy, akkor az eredményezhet jelentősebb dózisterhelést.

A ^{222}Rn -t Halle-ban Friderich E. Dorn német kémikus fedezte fel 1900-ban, amelyet a rádium bomlástermékeként (rádium emanáció) nevezett meg. 1908-ban Ramsay és Gray is izolálta. Ők nitonnak nevezték el. Ezt az izotópot 1923 óta nevezik radonnak.

A radon nemesgáz, szintelen, szagtalan. Rendszáma 82, olvadáspontja -71°C , forráspontja -62°C . Különbféle szerves vegyületekben és vízben oldódik. Szilárd és folyékony halmazállapotban foszforeszkál radioaktivitása miatt.

A ^{222}Rn felezési ideje 3.82 nap, a földkéregből laza talaj esetén 1-2 m mélységből feláramolhat, sőt előfordulhat, hogy jóval mélyebbről is az ember közvetlen közelébe juthat [KA-96, KA-00]. A radon instabil elem, nincs stabil izotópjá. Bomlása alfa-bomlás. Leányelemei sorozatos bomlások eredményeként jönnek létre. Ezek szintén radioaktívak. A rövid élettartamú radioaktív izotópok, ún. bomlástermékek különböző felezési idejű alfa-, béta- és gamma-sugárzók. A ^{222}Rn az ^{238}U bomlási sorában található ^{226}Ra leányeleme. Az ^{238}U bomlási sora

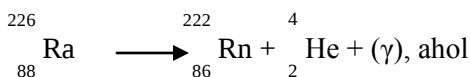


látható a 3. ábrán.

3. ábra. Az ^{238}U bomlási sora

A radon közvetlenül a kőzetekben, valamint a talajban található rádiumból keletkezik. Ezért annak mennyiségét elsősorban az anyag ^{226}Ra aktivitáskonzentrációja határozza meg [KI-03].

A ^{222}Rn a ^{226}Ra –ból alfa-sugárzással keletkezik, ennek sémája a következő:

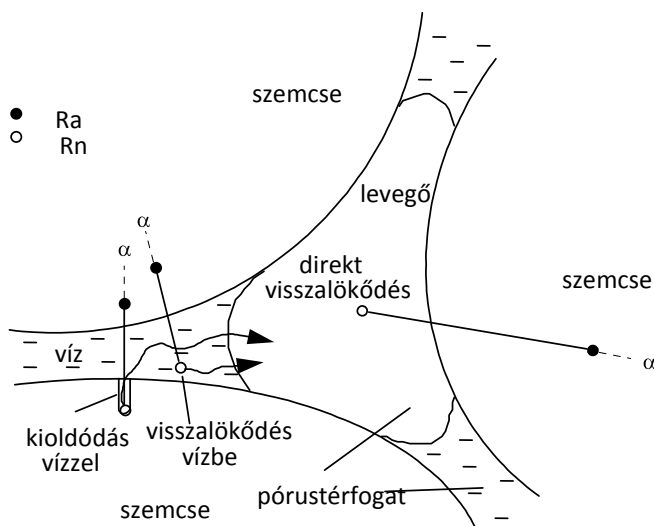


^4_2He = alfa részecske, mely kilép a rádium atommagjából,

γ = a bomlást kísérő gamma-sugárzás.

A kőzetekben és a talajokban lévő rádiumatomok a szilárd anyagokba épülnek be. A rádiumatomokból keletkező radon csak akkor tud a nagyobb földtani terekbe vagy a felszínre jutni, ha ki tud lépni a szilárd anyagból a talaj szemcséi és a kristályok pórusai közé. Az alfa-bomlás alkalmával keletkező radon atom visszalökődik az energia- és a lendület-megmaradás törvényének megfelelően. Az ilyen visszalökődő radon atom kinetikus energiája 86 keV, átlagos úthossza levegőben 63 μm , vízben 100 nm, míg közetszemcsékben - azok fajtájától függően - 20-70 nm. A rádiumatomok vagy a közetszemcsék térfogatában vagy a szemcsék felületén helyezkednek el. A radon atom vagy egy közetszemcsében vagy a szemcsék közötti pórustérben áll meg attól függően, hogy a rádiumatom hogyan helyezkedik el, illetve a visszalökődés iránya milyen. Általában azoknak a radon atomoknak sikerül a pórustérbe kilökődniük, amelyek a szemcse felületéhez közel vannak és a rádiumatom a szemcse térfogatában van. De az is előfordul, hogy azokból a rádiumatomokból kilépő radon atomoknak is csekély része jut a pórustérbe, amelyek a szemcsefelülethez közel, vagy a szemcsefelületen helyezkednek el. Ha a pórusteret gáz tölti ki, akkor nagy a valószínűsége annak, hogy a pórustérbe kijutó radon atom egy szemközti szemcsében nyelődik el. Ha viszont a pórusteret legalább részben víz tölti ki, akkor a radon atomok nagy

valószínűséggel a pórustérben lévő pórusvízben állnak meg, ahonnan diffúzióval könnyen kijuthatnak a pórusgáz fázisba. A radon atomok pórustérbe való kijutását szemlélteti az 4. ábra.



4. ábra. A ^{222}Rn -atomok kiszabadulása a kőzetszemcsékből a pórustérbe [KI-03].

A pórustérbe kijutott, és a kristályokban keletkezett összes radon atomok hányadosa az ún. radonkibocsátási tényező. Ezt a hányadost az alábbiak befolyásolják: a rádium atomok elhelyezkedése a szemcsék felületén és a szemcsék térfogatában, a kőzet víztelítettsége (a pórustér mennyire töltött vízzel), illetve a kőzet szemcseméret-eloszlása. A fentiekből következik, hogy a talajok, a kőzetek radonkibocsátási tényezője nagyon eltérhet egymástól.

II.1.4. A radon és leányelemeinek egészségügyi hatásai

Régóta vizsgálják a radon és leányelemeinek belégzéséből adódó sugárterhelés egészségkárosító hatását. Szén- és uránbányászok körében végzett epidemiológiai vizsgálatok bebizonyították, hogy nagyobb sugárterhelés esetén a tüdőrák kialakulásának valószínűsége arányos a sugárterhelés mértékével. A lakosság körében végzett hasonló vizsgálatok is ilyen eredményt mutattak

[BE-88].

A belélegzett radon nagy része kilégzésre kerül, csak egy kicsi hányada bomlik el a tüdőben. Ezzel szemben a leányelemek kötődnek a levegőben lévő aeroszol részecskékhez, így belélegezve azokat jelentős mennyiségben maradnak a tüdőben, lerakódva annak felületére. Tovább bomlanak, ezáltal roncsolják a hámsejteket. Az aeroszokok lerakódása a tüdőben függ a méretüktől, így az elnyelt dózis különböző mértékű a tüdő más-más területein. A leírtakból is látszik, hogy a szervezetre elsősorban nem a radon, hanem annak leánytermékei a veszélyesebbek [CA-00].

A természetes eredetű háttér sugárzás okozta lakossági átlag sugárterhelés 1/3-a külső, 2/3-a belső sugárterhelésként jelentkezik. Az 1.55 mSv/év belső sugárterhelés két fontos besugárzási útvonalon jön létre. Belégzés által a 0.8 része és a táplálékláncon a 0.2 része jut a szervezetbe. Ha a becslést csak a környezeti radonra (és rádiumra) vonatkoztatjuk, akkor a belégzési útvonal legalább tízszer olyan súllyal szerepel, mint a táplálkozási, amelybe az ivóvíz-fogyasztás is beletartozik.

A hazánkban jelenleg érvényben lévő MSZ 62/1-1989 számú szabványban [MSZ 62] lenyeléssel a szervezetbe kerülő ^{222}Rn és a rövid életidejű leányelemek mennyiségére vonatkozóan még nincs érvényes korlát. A szabványban a ^{226}Ra emberi szervezetbe való kerülésére vonatkozóan az éves felvételi korlát (ÉFEK) értéke a lakosságra $7 \cdot 10^3$ Bq. Ivóvizekre átlagos 43 mBq/l-es ^{226}Ra -tartalmat [SZE-99] és 730 liter/év-es személyenkénti vízfogyasztást feltételezve az éves felvétel 31.4 Bq ^{226}Ra -ra, ami az ÉFEK-nek mindössze a 0.4%-a.

A WHO 1993. évi ajánlása szerint [WHO-93] az a víz alkalmas emberi fogyasztásra, melynek a fogyasztásából eredő lekötött effektív dózis évente nem haladja meg a 0.1 mSv értéket, ami a természetes forrásokból származó átlagos évi sugárterhelés mintegy 5%-a. Az elfogyasztott vizekben a ^{226}Ra , valamint a természetes urán jelentheti azokat az izotópokat, amelyeket a fenti értékelésnél célszerű figyelembe venni.

A WHO ajánlás szerinti 0.1 mSv lekötött effektív dózist, napi 2 liter vízfogyasztást alapul véve 623 mBq/l ^{226}Ra aktivitáskoncentráció meríti ki.

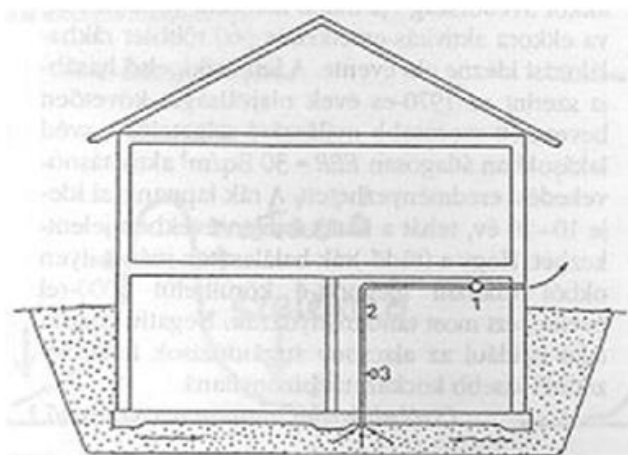
Az emberiséget érő ionizáló sugárzás biológiai hatásainak vizsgálata napjainkban is folyik. Újabb kísérletek, epidemiológiai tanulmányok és modellszámolások eredményeinek a fényében újra és újra módosítják a sugáregészségügyi ajánlásokat, és a módosítások tendenciája a felső korlátok csökkentését mutatja [KÁ-06].

II.1.5. A radon elleni védekezés

A radon a talajból, a felszín alatti, valamint a felszíni vizekből bekerül a légterbe. Itt transzportját a légáramlásokkal való advekció, illetve a keveredési diffúzió befolyásolja. Ezek eredményeként aktivitáskoncentrációja a felszín közelében mindössze 10-20 Bq/m³, míg a talajgázé ennek 1000-szerese is lehet. Több mérés eredménye azt mutatja, hogy napszaknak megfelelően is változik a külső levegő Rn-koncentrációja a talajfelszíntől számított 1-2 m magasságban. Nappal a talajfelszín a levegőhöz képest jobban felmelegszik, így a hőkonvekciós áramok nagyobbak, ezért a radonkoncentráció kisebbnek adódik, mint éjszaka. A lakásokban viszont - mivel azok zárt térnek minősülnek - feldúsulhat a radon, ezért is mérni kell a radonkoncentrációt. Minden esetben javasolt a bőséges szellőztetés, a repedések és nyílások betömése, szigetelése. Magyarországon a megengedett radonkoncentráció a lakásokban 1 kBq/m³. Amennyiben ez az érték emelkedik, úgy bonyolultabb módszerekkel védekezni kell a magasabb radonsugárzás ellen. Ennek több lehetősége van. Ezek közül megemlítek kettőt.

Pl. olyan eljárás vagy berendezés alkalmazása, amely közvetlenül az épület alatt csökkenti a levegő nyomását. Ez történhet úgy, hogy az épület legalsó padlózatán csövet vezetnek át, amelyet azután falon vagy tetőn át a szabad levegőbe vezetnek tovább. A fal közelében, vagy inkább a falon kívül ventilátor szívja ki a levegőt a talaj épület alatti legfelső rétegéből. Attól

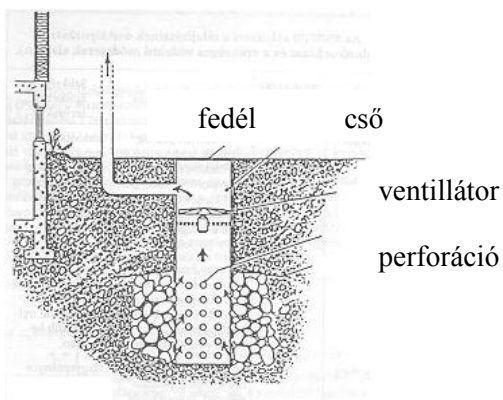
függően, hogy milyen az épület alapjának kiképzése szükségessé válhat, hogy több ponton szívják a levegőt. Ennek vázlata látható az 5. ábrán.



5. ábra. Az épület alatti nyomás csökkentése.

1. ventilátor, 2. cső, 3. nyomásmérő [FI-93]

Csökkenthető a lakásban, házban a radonszint ún. radonkúttal is. Ebben az esetben 4 m mélységű kutat fúrnak az épülettől körülbelül 10-60 m távolságban, amelyből nagyteljesítményű ventilátor szívja ki a levegőt, ezáltal meglehetősen nagy térfogatban csökken a levegő nyomása. Ezt a megoldást mutatja a 6. ábra.



6. ábra. Radon-kút [FI-93]

Ez a módszer csak ott alkalmazható, ahol az épület környezetében a talaj porózus (például esker). Ennek a módszernek nagy előnye, hogy az épületek belsejében semmiféle beavatkozásra nincs szükség [FI-93].

A légteri radontartalom mérésével úgy külföldön, mint Magyarországon nagyon sokan foglalkoztak és foglalkoznak. Hazánkban, az 1970-es években Tóth Árpád kezdett el lakótéri radon vizsgálatokat végezni. Majd az 1980-as években az ATOMKI munkatársai (Paripas et.al., 1987) a radont és bomlástermékeit mérték lakószobákban. Ők végeztek először méréseket Mátraderecskén, eredményeiket 1994-ben ismertették (Vásárhelyi et al.). Közben az 1980-as évek végén az ATOMKI és az OSSKI közösen végeztek lakótéri radonméréseket 122 házban nyomdetektoros technikával. Vizsgálták az eredményeket az építőanyag fajtája, a lakások elhelyezkedése (földszint, emelet, pincézetlen, alápincézett) alapján, sőt az évszakok szempontjából is. A RAD labor 1994 óta folyamatosan országszerte méri a lakótéri radonszintet.

Magyarországon az utóbbi évtizedekben a KFKI, az ATOMKI, az ELTE Atomfizika Tanszéke, az OSSKI és a veszprémi Egyetem Radiokémia Tanszéke végez radonméréseket. Barlangok, gyógyfürdők, lakások légterének, vizek radontartalmának, lakótéri radonszintek időbeli változásának vizsgálatát végezték el. Ugyancsak foglalkoztak hévizek, karsztvizek, ásványvizek, palackozott ásványvizek radon- és rádiumtartalmának mérésével. Ásott kutakban, fürdőkben vizsgálták a radon transzportját (Csige I., Baradács E., Hunyadi I., Hakl. J., Vásárhelyi A., 1992-napjainkig) [HÁ-06].

II.2. TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS

II.2.1. Magyarország talajának rétegződése

Magyarország területén a *földtörténeti ókorban* (570-235 millió év) hatalmas hegység terült el, amelyet a szaktudomány Variscusi-hegység néven tart számon. Ez a hegységrendszer a földtörténeti ókor végére lepusztult és elsüllyedt. A szilárd kéreg mozgása következtében lesüllyedő variscusi tönköt tengerek öntötték el. A sok millió évig tartó tengeri elöntésből néhol több száz

méter vastag üledék rakódott le. Az Alföld geológiai képződményeiből az alapkőzetet a variscusi tönk és a triász mészkő együttesen alkotják.

A földtörténeti középkor (235-67 millió év) végén kezdett felgyűrődni az Eurázsiai-hegységrendszer, amelynek egyik részét alkotják a Kárpátok.

A földtörténeti harmadkorban (67-2.5 millió év) vagy újkorban tovább gyűrődött az Eurázsiai hegységrendszer. A harmadkor közepén, a miocén-időszakban a Kárpátok által övezett terület hatalmas törésvonallal leszakadt, és megkezdődött a süllyedése. Ez a kéregben végbement törések következtében történhetett meg. A süllyedő területet többszörösen és ismételten elöntötték a harmadkor tengerei, és üledékeikkel fokozatosan feltöltötték. A beszakadás szélén, végig a törések mentén hatalmas vulkáni tevékenység kezdődött, és így alakult ki az Alföldet szegélyező vulkánok koszorúja. A földkéreg a posztvulkáni időszakban még hosszú ideig mozgásban volt. A vetődött területet újabb és újabb vetődések érték. Ennek következtében egyes darabok elsüllyedtek, mások pedig kiemelkedtek. Ezeket nevezzük sasbérceknek. A későbbi, pannon tengeri üledékek ezt a mozgalmas térszint több száz méter vastagságban feltöltötték. Az Alföld peremén található, Mezőkövesden lévő fürdőt tápláló híres Zsóry-fúrás is egy sasbércbe mélyült, illetve az egri Tükör -, a Török – és a Nagymedencei források az egyik sasbérceken belüli csúcson fakadnak.

Az utolsó tengeri feltöltés ideje a *pliocén kor* (10-2.5 millió év) pannóniai korszaka. Ekkor több száz méter vastag tengeri üledék rakódott a fentebb említett vetődésekkel szabdaltnak területekre.

A felszín jelenlegi formái a *földtörténeti negyedkorban* (2.5-0 millió év), a pleisztocénben és a holocénben alakultak ki. A pleisztocén Földünk egyik hidegkorszaka. A jégkorszakok közötti interglaciális időszakokban a jégtakaró megolvadásából keletkező hatalmas folyók óriási tömegű törmeléket mozgattak. Amikor az ősi vízfolyások a hegyek közül a síkságra, a heglábi területekre kiértek, esésük, ezáltal munkavégzésük kisebb lett. A magukkal hozott törmelék nagy részét hordalékkúpok, törmelékletők formájában lerakták, a maradékot pedig elegyengették a még mindig süllyedő Alföldön.

II.2.1.1. A magyar medence geotermikus viszonyai

A magyar medence, de elsősorban annak üledékes eredetű közettömege sajátos földtani, vízföldtani, illetve geotermikus adottságainak köszönhetően igen gazdag vízkincsekben. E vizek kisebb része természetes úton jut a felszínre hideg- és meleg vizes források alakjában, nagyobb része mesterségesen, kitermelő kutak segítségével. Hazánkban kb. 60000 db vízkút működik, ebből 1121 db hévízkútnál 30 °C a felszín feletti vízhőmérséklet.

A magyar medence pozitív geotermikus anomáliájú terület, ahol a földi hőáram átlagos értéke 90 – 110 mW/m², a reciprok geotermikus gradiens 15 - 18 m/°C, az átlagos hőmérsékletlépcső pedig 50 – 70 °C/ km. Ebből következik, hogy 1 km mélységben az átlagos vízhőmérséklet 70 °C, míg 2 – 2,5 km talpmélységű termál kutak 90 – 95 °C hőmérsékletű vizet adnak. Ezt a geotermikus anomáliát - a feltételezések és jelenlegi kutatási adatok alapján – a viszonylag kis mélységben (kb. 24 km) lévő földköpeny magma tömegétől származó konduktív és radiatív hőáramok okozzák. Ezek a hőáramok a földkérgen át a medenceüledékbe kerülnek és felmelegítik az ott található mélységi vizeket is [VI-77]. A következő 3. és 4. táblázatban a hazánkban lévő hévízkutak összesítő adatai láthatók a felhasználás módja és az előforduló vízhőmérséklet szerinti osztályozásban.

3. táblázat. Hévízkutak összesítő adatai a használat módja, a vízhozam és db-szám tekintetében [VI-77]

<i>Használat módja</i>	<i>Vízhozam (m³ / min)</i>	<i>Kutak száma (db)</i>
Fürdő	284.97	279
Ivóvíz	216.69	230
Mezőgazdaság	242.43	229
Kommunális	31.76	22
Ipari	68.70	67
Egyéb	76.51	156
Lezárva	80.99	138
<i>Összesen</i>	<i>1002.05</i>	<i>1121</i>

Mint a táblázat is mutatja, hazánkban a termálkutak vizét nagy részben fürdők, illetve a mezőgazdasági üzemek hasznosítják. Nagy jelentősége lehet ennek azért is, mert ezeknek a kutaknak a vízhozama a legnagyobb.

4. táblázat. Hévíz kutak összesítő adatai a hőmérséklet, a vízhozam és db - szám tekintetében [VI-77]

<i>Hőmérséklet (°C)</i>	<i>Vízhozam (m³ / min)</i>	<i>Kutak száma (db)</i>
30 - 34.9	258.91	345
35 - 44.9	218.85	302
45 - 59.9	204.22	223
60 - 69.9	109.44	98
70 - 79.9	72.47	62
80 -	138.16	91
<i>Összesen</i>	<i>1002.05</i>	<i>1121</i>

A táblázat adatai azt mutatják, hogy a kutak vízhőmérséklete viszonylag magas. Vannak olyan fürdők, ahol a mélyből feltörő vizet hűteni kell ahhoz, hogy fürdésre alkalmas legyen. Ilyen pl. Tiszavasvári, Nyíregyháza Sóstó, Hajdúnánás, stb. (11. és 12. táblázat).

II.2.1.2. Felszín alatti hévíztárolók

A hazánk területén található mélységi víz - készlet nagy része két földtani képződményben alakult ki:

- a triász időszaki repedezett, hasadékos, részben karsztosodott karbonátos közettömegben,
- a középső pliocén vagy felsőpannóniai vízszintes településű homok - homokkő sorozatban, ún. vízelelet - rendszert alkotva.

E regionális nagyszisztemek mellett számos korlátozott kiterjedésű lokális mélységi víz-tároló van hazánkban.

a. Triász időszaki mélységi víz-tároló rendszerek

A legfontosabb hévíztároló a földtörténeti középkor üledékein belül is a felső triász (a triász időszak utolsó harmada) időszaki mészkő és dolomit. A helyenként 4 - 5 km vastagságú karbonátos közettömeget váltakozó sűrűségű és méretű törések, hasadékok és repedések hálózata járja át, amelyek vízáramlási pályákat képeznek. A karsztos mészkőben és dolomitban felhalmozódott hévizek mennyisége elsősorban ezen repedések, törések nagyságától függ. A hegységperemeken kialakult tektonikus zónák több helyen a természetes forrásműködés színterét is jelentik (pl. a Budai Termál Vonal a Duna jobb partján).

A karbonátos kőzetekre telepített kutak általában nagy hozamúak és különböző mértékben képesek a megcsapolás után pótolni vizüket, és hosszú ideig, akár 90 – 100 évig is működhetnek. Ha van aktív vízutánpótlás, akkor a kutak működését és vízhozamát csupán az előregedésük befolyásolja. Hőmérsékletük szintén szeszélyes, mert a repedések, hasadékok mentén a víz függőleges irányban is áramolhat alig változtatva hőmérsékletét a mélységgel. Oldalirányba mozogva viszont kis távolságokon belül is nagy hőmérséklet-különbségek alakulhatnak ki [JU-87].

b. Felső pannóniai mélységi víz-tároló rendszerek

A Felső Pannon idején az ország területének közel 2/3 részén képződött nagy vastagságú, néhol 2 km - t is meghaladó agyagos, homokos, homokköves üledéksorozat. Ebben a vizet tároló porózus rétegeket félig áteresztő vagy vízzáró rétegtettek különítik el egymástól, tulajdonképpen egymás feletti emeletes tároló rendszert alkotva. Ezekben a földtani képződményekben tárolt vízkészlet 2500 km^3 – re, míg a triász időszaki karbonátos hasadékos közettömegben tárolt 50 km^3 – re becsülhető. A rétegvíz készletet 400 – 2500 méteres mélyfúrású kutak hozzák a felszínre, amelyek vízhozama pár száz és 1 – 2 ezer liter/perc között változik. A kutak nagy része 30 – 60 éve üzemel, így a

víztárolók rétegenergiája csökkent. Ennek következtében a kezdeti pozitív artézi víztermelést fokozatosan a bűvárszivattyús kitermelés váltja fel. Rétegenergiának nevezzük a folyadék vagy a gáztároló kőzetekben a földtörténeti idők folyamán elraktározott természetes energia – készletet, amelynek tényezői: a nyomás, a hőmérséklet, a gáztartalom és a víz, a gáz fizikai, - kémiai sajátosságai.

II.2.2. A mélységi vizek összetétele, jellege és keletkezésüket meghatározó tényezők, folyamatok

Hazánk felszín alatti vizei jellegükben, koncentrációjukban, valamint összetételükben különböznek egymástól. Az egyes kőzetek oldódása más-és más, ezért az egyes oldott alkotórészek különböző koncentrációban fordulnak elő a természetes vizekben. Így a vizek *jellege* is eltérő, hiszen ezt a tulajdonságukat az oldott alkotórészek egymáshoz viszonyított aránya, illetve domináns jellege határozza meg. A felszín alatti vizek jellegére nagy hatással van még a vízkörforgás, az ún. hidrológiai ciklus. A vízkörforgás kiterjed a légkörre, a vízburokra és a kőzetburokra, kb. 1 km-es mélységtől mintegy 10 km-es légköri magasságig. A hidrológiai ciklussal kapcsolatban álló kis vagy közepes mélységű víztárolók vize híg, mivel ezen a szinten aktív vízkicserélődés folyik. Ezekben a víztároló rendszerekben a víz a hidraulikus – gradiens és az áteresztőképesség függvényében áramlik. A hidrológiai ciklus során rövidebb-hosszabb időt töltenek a vizek a felszín alatt. A víz korának nevezzük azt az időt, amit a víz a felszín alatt tölt. A nagy mélységű, zárt jellegű víztárolók nem vesznek részt a vízkörforgásban, vízutánpótlást nem kapnak, így vizük erősen koncentrált. Ezek az ún. magmatikus eredetű vizek.

Összetételük szerint 10 csoportba sorolhatjuk a termálvizet. Ezek a következők:

1.Egyszerű termális vizek: oldott anyagokban és gázokban szegények, összes oldott ásványianyag-tartalmuk 1 g/l-nél kevesebb; 2. Szénsavas, savanyú vizek: 1 g/l-nél több szén-savat tartalmaznak; 3. Alkáli-hidrogén-karbonátos,

alkalikus vizek: bennük a kationok közül a nátrium-ioné, az anionok közül pedig a hidrogén-karbonát-ioné a vezető szerep; 4. Kalcium-magnézium-hidrogén-karbonátos, azaz földes-meszes vizek: a hazai langyos- és melegvíz-forrásaink jelentős része ide sorolható; 5. Keserűsós, szulfátos vizek; 6. Konyhasós, kloridos vizek: amelyekben jelentősek a nátrium- és a klorid- ionok; 7. Vasas vizek: ezek literenként 10-20 mg ferro-, esetleg ferri-iont tartalmaznak; 8. Kénés, szulfidos vizek: amelyek kémiai jellegük alapján más csoportba is besorolhatók; 9. Jódos-brómos vizek: kémiai jellegük szerint a kloridos vizekhez tartoznak, de gyógyászati szempontból külön csoportba sorolhatók, ha a jód mennyisége több, mint 1 mg/l, illetve a brómé 5 mg/l; 10. Radioaktív vizek. A rádium-elemet tartalmazó víz esetén az alsó határ 3.7 Bq/l, illetve radon tartalmú víz esetén ez 1000 Bq/l [SC-57].

A víztároló réteget alkotó kőzetek oldódásának mértéke függ a kőzet szerkezetétől, amellyel a víz érintkezik. Így a vizek jellegében tároló kőzetük szerint határozott különbségek adódnak.

A felső pannóniai rétegvizek túlnyomórészt NaHCO_3 típusúak. Összes oldott sótartalmuk 2-4 g/l között váltakozik, klorid-ion tartalmuk pedig igen kicsi, csak különleges földtani környezetben éri el az 1-2 g/l értéket (pl. Hajdúszoboszló, Tiszavasvári). Hasonló megállapítás tehető a halogénekre is.

A triász kori kőzetrétegekből jövő vizek viszont a bezáró kőzetnek megfelelően CaCO_3 és MgCO_3 típusúak. Szárazanyagtartalmuk 0.8 – 12.5 g/l között ingadozik. A mélyben lévő és a hidrológiai ciklusból kirekesztett tárolók vizében a klorid-ionok száma általában megnövekszik.

Az oldódást befolyásolja a víz mozgásának sebessége, a víz hőmérséklete és a kőzetek elhelyezkedése. Lassabban folyó vagy magasabb hőmérsékletű víz általában több ásványi anyagot old ki a kőzetekből, mint a gyorsabban folyó vagy alacsonyabb hőmérsékletű víz. Az enyhe dőlésű, lapos kőzetekből több, míg a meredek dőlésűből kevesebb a kioldódott ásványi anyag mennyisége.

A magyarországi mélységi vizekben gyakran előfordulnak oldott és szabad gázok. Ezek különféle földtani és geokémiai folyamatok eredményeként

képződnek. Leggyakrabban előforduló gázok: széndioxid, metán, nitrogén, kénhidrogén. Főként mérés technikai nehézségek miatt régebben úgy találták, hogy radon, vagy, ahogy akkor nevezték rádiumemanáció csak ritkán fordul elő a felszín alatti vizekben. Jóllehet, ma már tudjuk, a radon-gáz kisebb-nagyobb mértékben, de jelen van minden mélységi vízben.

II.2.2.1. A vizek radioaktivitásának geokémiai eredete

A termál- és ásványvizek természetes radioaktivitása általában jóval nagyobb, mint a felszíni vizeké. A felszín alatti vizek hosszú időt töltenek különböző kőzeteket és üledékeket tartalmazó vízzáró rétegek között. Ezekkel kölcsönhatásba lépnek, így jelentős mennyiségű oldott radioizotópot hoznak magukkal a felszínre kerülve. A vizek vegyi összetételét, jellegét, valamint radioaktivitását elsősorban a víztároló kőzetek típusa és a hidrogeológiai ciklussal való kapcsolata határozza meg. A kőzetek és a velük érintkező felszín alatti vizek radioaktivitásának jelentős részét a természetben előforduló ^{238}U , ^{235}U és ^{232}Th bomlási sorok elemei adják.

A Föld különböző területein a kőzetek urántartalma más- és más. A Ca^{2+} - ion sugara megközelíti az U^{4+} - ion sugarát, így bizonyos kalciumásványok izomorf módon befogják az urániont. Az uránnak van vízben oldódó vegyülete, míg a tórium és vegyületei egyáltalán nem oldódnak vízben. Így ezeknek korlátozott a vándorlása. Az uranilionok szerves (ecetsav, oxálsav, szalicilsav, stb.) és szervetlen savakkal (szénsav) erős komplexképzők. Urándúsulást főleg savas kémhatású magmás és másodlagos üledékes kőzetekben figyeltek meg, így pl. gránit magmában, agyagban, mészkőben, stb. Az uránásványok nagy valószínűséggel későn kristályosodtak ki a vulkanikus kőzetek keletkezésekor, lerakódásuk elsősorban érces repedéseiben, valamint ércfogó regionális törések mentén lehetséges. Ha ezeket redukáló hatás éri, akkor a közetszemcsék felszínén rádiumsók csapódnak ki. A bomlási sorok elemei megfelelő körülmények között radioaktív egyensúlyban vannak egymással a kőzetekben. Azonban ez az egyensúly legtöbbször megbomlik, mivel eltérnek az urán- és

bomlástermékeinek migrációs folyamatai, valamint a bomlások során keletkező radon megszökhet a kőzetből.

A víz és a vele érintkező kőzetek kölcsönhatásának következménye, hogy a radioaktív elemek megjelennek a felszín alatti vizekben. Az aktínium, a tórium, az urán radioaktív bomlásakor keletkező radioaktív elemek nem halmozódnak fel nagyobb mennyiségben a természetben. Ennek oka a radioaktív egyensúly. Azonban a radioaktív elemek migrációja következtében egyes helyeken ezek az elemek feldúsulhatnak vagy felhígulhatnak a radioaktív egyensúlynak megfelelő koncentrációkhoz képest.

A keletkezett radioaktív atomok (főleg az alfasugárzók) atomkicserélődési folyamatokban vehetnek részt az ásványok kristályrácsában lévő atomokkal. A keletkező radioaktív elemek ilyen körülmények között felhalmozódnak a kőzetek hasadékaiban. A *rádiumatomok* és más bomlástermékek atomjai (amelyek a kőzetek hasadékaiban adszorbeálódtak) diffúzió útján elmozdulhatnak a kőzet feloldása nélkül és részt vehetnek különböző ioncserélő folyamatokban is. Ezzel szemben az *urán és tórium* általában az ásványok kristályrácsához kötve fordul elő. Így nem képes migrációra csak a kőzet feloldása után, azaz az ásvány kristályrácsának elroncsolása után. A leírtakkal magyarázható az a tény, hogy sok ásványvízben a rádium és más bomlástermékeik jelen vannak, ugyanakkor az uránium, a tórium hiányzik.

A rádium általában az uránérc lelőhelyeken van jelen, de más kőzetekben is előfordul. A kőzetek rádiumtartalma más és más, a magmás kőzeteké a legnagyobb, a többi kőzeté ehhez képest kisebb. Az 5. táblázatban néhány kőzet rádium-, urán- és tórium aktivitáskoncentrációja található.

A bázisos kőzetek radioaktivitása eredetileg nagyobb, mint a savas kőzeteké. Ebben viszont a radioaktív elemek utólagos feldúsulása fokozottabb mértékű, és az elemek bizonyos ásványokhoz kötve jelennek meg, pl. az apatit-hoz, a titán-hoz, a cirkónium-hoz. A bázisos kőzetekben pedig egyenletes eloszlásúak a radioaktív elemek [EI-87].

5. táblázat. Leggyakrabban előforduló kőzetek Ra-, U- és Th-aktivitáskoncentrációja [EI-87]

<i>Kőzet típusa</i>	$^{226}\text{Ra} \left(\frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \right)$	$^{238}\text{U} \left(\frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \right)$	$^{232}\text{Th} \left(\frac{\text{Bq}}{\text{kg}} \right)$
Vulkanikus	48	48	48
Üledékes homokkő	26	15	24
Palák	40	15	41
Mészkö	16	15	5

II.2.2.2. A vizek ^{222}Rn - és ^{226}Ra - tartalmának meghatározására vonatkozó nemzetközi mérések

Az utóbbi évtizedekben és napjainkban is világszerte egyre nagyobb figyelmet fordítanak a természetes eredetű radioaktív sugárzás hatásainak vizsgálatára, a radioaktív izotópok mennyiségi és minőségi meghatározására. Mivel dolgozatomban a felszín alatti vizek radioaktivitásával foglalkozom, ezért az erre vonatkozó adatokból mutatok be néhányat. Elsősorban a ^{222}Rn - és ^{226}Ra -tartalomra térek ki.

Ezeket az adatokat tartalmazza a 6. táblázat.

6. táblázat. Vizek ^{222}Rn - és ^{226}Ra - tartalma az irodalmi adatok alapján

<i>Helyszín</i>	<i>Víz típusa</i>	$^{222}\text{Rn} (\text{Bq/l})$	$^{226}\text{Ra} (\text{Bq/l})$	<i>Irodalom</i>
Svédország	ivóvíz ásott kútból	10-300	0.001-0.09	[AK-88]
Svédország	ivóvíz fűrt kútból	213-500	-	[AK-96]
Finnország	ivóvíz	24.8	0.0037	[AS-80]
Szlovénia	termálvíz	0.05-75	< 0.51	[KO-90]
Anglia	fürdők termálvizei	-	0.37-0.53	[AN-74]

II.2.2.3. Hévízek alfa- radioaktivitása

A földfelszín alól feltörő, illetve kitermelt termálvizek által hordozott alfa-radioaktivitás általában két részből tevődik össze. Az egyik összetevő a vízben oldott, a geológiai környezetben felvett ^{222}Rn alfa-aktív nemes gáz. A ^{222}Rn 3.8 nap felezési idővel bomlik, így a geológiai környezetből hozott oldott radon a kiemelésből számított 8-10 nap múlva kb. a negyedére bomlik. A forrásvíz által szállított oldott radon mennyiségét a viszonylag rövid felezési idő miatt nehézkes meghatározni. Másik összetevő a vízben oldott ásványi anyagok hosszú felezési idejű alfa-radioaktív elemeitől származik. Ezek az ^{238}U és ^{232}Th bomlási sorokhoz tartozó alfa-aktív elemek lehetnek. Közülük az ^{238}U bomlási sorában található ^{226}Ra – nak lehet kiemelkedő jelentősége, mivel a geológiai környezetből kivett vízmintában is állandóan „termeli” a ^{222}Rn – t.

A rádiumos vizek aktivitása a hosszú életű rádium (1600 év felezési idő) jelenléte miatt időben állandónak tekinthető. A rádium többnyire az uránérccek lelőhelyeit kíséri, de más kőzetekben is előfordul. Ezt mutatja az 7. táblázat.

7. táblázat. A leggyakrabban előforduló kőzetek ^{226}Ra tartalma és aktivitás-koncentrációja [SC-57]

Megnevezés	10^{-12} gRa/g	pCi/g	Bq/kg
<i>Vulkanikus eredetű kőzetek:</i>			
porfír	6.62	6.62	240
gránit	4.08	4.08	151
bazalt	0.84	0.84	31
<i>Üledékes kőzetek:</i>			
homokkő	1.56	1.56	57
agyag	1.30	1.30	48
mészkő	1.15	1.15	42

A történelmi és az SI egységek közötti átszámításhoz kíván segítséget adni a következő összefoglaló:

1 g ^{226}Ra aktivitását nevezték el 1 Curie-nek (Ci). $1 \text{ Ci} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ bomlás / sec} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Bequerel (Bq)}$. A rádiumemanáció (^{222}Rn) történelmi egysége az „Eman”, amely 1 liter vízben oldott 100 pCi rádiummal egyensúlyban lévő radont jelent, és ez 3.7 kBq/m^3 radon aktivitás-koncentrációnak felel meg SI-egységben.

A különböző kőzetek rádiumtartalma természetesen más és más, általában az uránércké a legnagyobb, ehhez képest elenyészően kicsi a többi kőzeté. Ebből adódóan nyilvánvaló, hogy a hévizek radioaktivitása függ azon kőzetek anyagától, amelyeken áthalad.

A víz radioaktivitása a hőmérsékletével is összefügg. Melegebb víz aktivitása általában nagyobb, mint az alacsonyabb hőmérsékletű vízé, mivel a rádiumos vizek rádium sójukat a mélyen fekvő, rádiumban gazdag kőzetekből oldják ki.

Ismeretes, hogy a földkéreg, valamint a természetben előforduló vizek nagy része is mutat kis intenzitású radioaktivitást. Ezért meg kellett állapítani azt a minimális radioaktív anyagtartalmat, melynek alapján valamely vizet a radioaktív vizek csoportjába lehet sorolni. Különböző javaslatok után 1932-ben a Deutsche Balneologische Gesellschaft határozatait fogadták el. Ez alapján a rádium-elemet tartalmazó víz esetén az alsó határ 10^{-10} gRa/l (ez 100 pCi/l és SI-egységben 3.7 kBq/m^3 aktivitás-koncentrációnak felel meg). A radon tartalmú víz pedig akkor nevezhető radioaktívnak, ha literenként 29 nCi (kb. 1000 Bq) aktivitást fejt ki [SC-57]. Ezen értékek alapján sorolhatók a vizek a radioaktív vizek csoportjába.

A radon jól oldódik vízben. Biológiai hatásai miatt a gyógyászatban is jelentőséget tulajdonítanak neki. A felszín alatti vizek mindig tartalmaznak radont, hiszen ez a gáz a természetben mindenütt jelen van. A különböző vizekben a radon koncentrációja más és más. Az egyes országok földtörvényei szerint különböző az a radon-mennyiség, amely alapján a vizet radioaktívnak minősítik. Ennek az az oka, hogy azokban az országokban ahol a vizek

radioaktivitása nagyobb, ott ezt a határértéket magasabban szabták meg. Így pl. Németországban és Svédországban literenként 30 nCi, Ausztriában 10.9 nCi, Svájcban 1.8 nCi aktivitás az alsó határ. Mivel hazánkban a felszínalatti vizek radioaktivitása alacsonyabb, ezért a radon tartalom alsó határát literenként 1 nCi-ben határozták meg [SC-57].

A radonhoz kapcsolódó radioaktivitás szempontjából a következő csoportosítás tehető:

- igen gyenge radioaktivitású víz:	1.0 - 2.0	nCi/l
- gyenge radioaktivitású víz:	2.1 - 5.0	nCi/l
- közepes radioaktivitású víz:	5.1 - 10.0	nCi/l
- erősen radioaktív víz:	10.1 - 20.0	nCi/l
- igen erősen radioaktív víz:	> 20.1	nCi/l

II.2.2.4. A hazai hévizek radioaktivitása

A fenti adatok alapján néhány hazai hőforrás vize osztályozható radioaktivitása szerint. Pl. Budapesten a Rudas Fürdő forrásai az erősen radioaktív, a közepesen és a gyengén radioaktív csoportokba tartoznak. A vidéki ásvány- és gyógyvizek közül a vizsgált vizekre vonatkozóan pl. az egri termálvíz gyengén radioaktív, míg a hévízi, a Miskolc-tapolcai, a debreceni, a hajdúszoboszlói igen gyengén radioaktív, mondható [SC-57]. (A méréseket Dippold, Weszelszky Gy., Papp Sz., Szalay S., a Földtani Intézet munkatársai végezték.) A 8. táblázatban az általuk végzett vizsgálatok eredményei találhatók.

Általában megfigyelhető, hogy az alacsonyabb hőmérsékletű termálvizek radon koncentrációja nagyobb, mint a magasabb hőmérsékletű vize. Ez annak a következménye, hogy a radon oldékonysága (hasonlóan más gázokéhoz) a Henry – törvénynek megfelelően a hőmérséklettel csökken.

Előfordulnak azonban erősen radioaktív meleg vizet adó hévíz kutak is. Radon tartalomban szegényebb hévizek oldott sótartalma nagyobb, mert a nagyobb töménység a gázok oldhatóságát csökkenti.

Mivel a természetben egyéb radioaktív izotópok is előfordulnak, ezért a felszín alatti vizek radioaktivitásához ezek is hozzájárulhatnak (Pl. a β - sugárzó ^{40}K). A hazai felszín alatti vizek radioaktivitása $10^{-3} - 10^{-1}$ Bq/l között van [BE-79].

8. táblázat Néhány hőforrás vizének radon aktivitás-koncentrációja és hőmérséklete [SC-57]

<i>Helység, forrás neve</i>	<i>Radon aktivitás koncentráció</i>		<i>Víz hőmérséklet (°C)</i>
	<i>(nCi/l)</i>	<i>(Bq/l)</i>	
Budapest Rudas fürdő, Diana - forrás	22.700	840.00	-
Budapest Rudas fürdő, Rákóczi - forrás	10.850	401.00	41.0
Budapest Rudas fürdő, Mátyás - forrás	6.660	246.00	43.0
Budapest Imre – fürdő, Nagy - forrás	2.960	110.00	-
Eger, gőzfürdő forrása	2.510	92.90	-
Eger, Tükörfürdő forrása	1.870	69.20	32.2
Hévíz, tó vize	0.280	10.30	33.9
Hévíz, új 50 m-es fúrás	0.250	9.25	43.0
Debrecen, II. sz. 1038 m-es fúrás	0.008	0.30	-
Miskolc- Tapolca, termálmedence	0.350	13.00	29.0
Miskolc, Tavas-barlang vize	0.220	8.14	28.0
Hajdúszoboszló, I. sz. fúrás	0.005	0.19	70.0

(1 nCi/l = 37 Bq/l)

II.3. MÉRÉSI HELYSZÍNEK BEMUTATÁSA

II.3.1. Eger földrajzi fekvése

A város felszíni arculatát főleg az Eger - Tárkányi patak teraszos völgye és a hozzájuk kapcsolódó kisebb völgyrendszerek határozzák meg. A területet jégkorszaki terasz – kavics - maradványai képviselik. E völgsíokban helyezkedik el a város közepe 7. ábra.



7. ábra. Eger központja és környéke (www.info-tourist.com)

Itt fakadnak a város nagy múltú gyógyfürdőit tápláló radioaktív langyos vizű karsztforrások. Az előbbinél magasabb szint az újkori, oligocén agyagból, miocén riódócitufából álló dombvonulat, mely a patak völgyeket szegélyezi. Hegyvidéki szintjét a Bükk hegység délnyugati nyúlványa (Öreg – hegy, Kis – és Nagy – Eged), a Várhegy középkori, triász mészkővonulata képviseli. 8. ábra



8. ábra. A Várhegy mészkővonulata

II.3.1.1. Az egri gyógyforrások eredete, származása, földtani viszonyai

A Bükk hegység déli lábánál és előterében több termális karsztforrás fakad (Eger, Kács, Miskolctapolca). Ezeken a természetes forrásokon kívül számos helyen mélyfúrással hozták felszínre a karsztos hévizet [AG-83]. Az egri gyógyforrások vize a hegység déli előterében mélybe süllyedt karsztos kőzetekből származik. A hideg karsztvizek e kőzetekben alakulnak át hosszú ideig tartó folyamatokon keresztül langyos, illetve termális karsztvizekké. Ezeket a termális karsztvizeket tárják fel a városban és környékén. Az egri gyógyforrások is a dél felől a vízkilépések irányába áramló forró és magas ásványi sótartalmú hévíz és a hegység felől a megcsapolási hely felé mozgó alacsonyabb hőmérsékletű és kisebb oldott sótartalmú víz keveredéséből, azok mennyiségi arányainak megfelelően alakulnak ki. A törmelékes kőzeteken keresztül, kiemelt vízzáró képződményekkel határolt karbonátos kőzetekből álló sasbércből lépnek ki, amely kapcsolatban áll az északkelet – magyarországi legjelentősebb bükki nyitott hévíztároló rendszerrel. Ezek a gyógyforrások a város belterületén, az Eger – patak mellett fakadnak. Morfológiailag az Eger – patak lapos völgytalpán, annak allúviumából törnek a felszínre. A fürdők ellátása részben a természetes források, részben a mélyfúrású kutak vizéből történik. Három forráscsoport alakult ki.

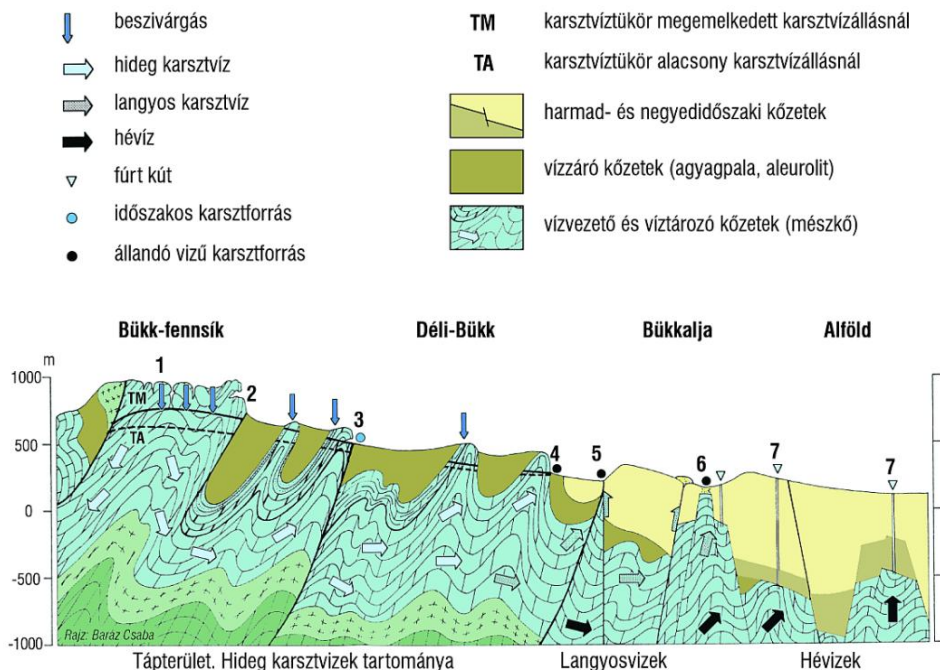
A legnagyobb forráscsoportot a Tükör -, a Török – és a Nagymedencei források alkotják. Ez a csoport a legbővebb vizű és legmagasabb hőmérsékletű. A források egy része a fürdő épületén belül, a medencék alján tör fel, míg másik része az épületen kívül. Ezek a források az egyik sasbérceken belüli csúcson fakadnak. A Nagymedencében elvégzett fúrások a nagyobb mélységre elvetett karsztos kőzetekből nyerik vizüket.

A másik forráscsoportba a versenyuszodai források tartoznak. Itt a víz a medence aljáról tör fel. A forrásterület változatos földtani felépítésű. Jellemző kőzete agyag, riolittufa, mészkő. A kis sasbérc pontos helyét és megközelítő nagyságát a természetes vízkilépések jól mutatják.



9. ábra. A Török fürdő épülete (saját fotó)

A harmadik csoportot a József - forrás adja, vizét a fedett uszoda hasznosítja. Itt nem végeztek fúrásos vizsgálatokat, de a többi forráscsoportnál adódott eredmények arra utalnak, hogy a József – forrás alatt is egy kis kiemelt helyzetű sasbérc található 10. ábra.



10. ábra. Sasbérc

II.3.1.2. Egri vizek radioaktivitása

A természetes vizek radioaktivitását a bennük oldott rádiumsók, a ^{226}Ra és bomlási termékük, a gáznemű ^{222}Rn okozza. Ezek a kőzetekből abszorpció útján erednek. A rádium a kőzetekben kis mennyiségben fordul elő, pl. mészkőben $1.15 \cdot 10^{-12} \text{ gRa/g}$.

Az egri források vizének radioaktivitása korán ismertté vált. Agyagási Dezső 1968 – ban végzett ilyen irányú vizsgálatait, valamint a radioaktivitás gyógyító hatásait bizonyító orvosi vizsgálatok alapján nyilvánították a forrásvizeket gyógyvízzé, a várost 1975 – ben gyógyhellyé [AG-83].

Az Országos Közegészségügyi Intézet 1952 és 1956 között az alábbi rádiumemanáció – tartalmat mérte az egri forrásvizekben. Az általuk mért eredményeket tartalmazza a 9. táblázat.

9. táblázat Az egri gyógyvizek rádiumemanáció – tartalma [AG-83]

<i>Forrás</i>	<i>Rádiumemanáció – tartalom ($\mu\text{Ci/l}$)</i>	<i>Mérés ideje</i>
Tükör – forrás vize	1.87	1952. 08. 28.
Tükör – forrás vizével feltörő gáz	10.25	1956. 09. 05.
Nagymedencei forrás	1.74	1952. 08. 27.
József – forrás vize	1.83	1955. 09. 03.

$$1 \mu\text{Ci} = 1 \text{ nCi} = 37 \text{ Bq}$$

II.3.2. Miskolctapolca földrajzi fekvése

Miskolctapolca (11. ábra) a természeti szépségekben bővelkedő Hejő patak völgyében, a Bükk hegység keleti részében helyezkedik el. Ötven katasztrális holdnyi területen épült ki a XIX. század végétől. A terület hidrogeológiai szempontból a Bükk hegység Répáshuta Tapolca tömb nevezetű vízföldtani egységéhez tartozik, amely a Bükk hegység legnagyobb karsztos tömbje. Jól karsztosodó középső-, felső triász mészkőből épül fel. A karsztvíz

egység egyetlen karsztforrása a miskolctapolcai, amelynek önálló hidegforrása is van.



11. ábra. Miskolctapolca [www.info-tourist.com]

II.3.2.1. A miskolctapolcai gyógyforrások eredete, származása, földtani viszonyai

Tapolca meleg forrásainak vizét emberemlékezet óta gyógyvízként használják. Már a török idők előtt is híres volt fürdőkultúrájáról, völgyeinek idegnyugtató csendjéről, mikroklímájáról. 1936-ban fedezték fel a 150 méter hosszú barlangot, amelyet 1941-ben nyitottak meg. A kupola 212 db cölöpre és az ezekre öntött vasbeton koszorúra épült. A 27-28 °C meleg forrásai eredetileg abból a forrásbarlangból törtek elő, amelynek a bejárattal szomszédos, tágas folyosóit 1957-ben barlangfürdővé alakították. Az itteni víz szívműködési zavarok, érbetegségek, vérnyomás és vérkeringési zavarok gyógyítására alkalmas. A 31 °C-os víz kalcium, magnézium-hidrogénkarbonátos, nyomokban metabórsav, metakovasav, jód, bróm és radon tartalmú. A tavi fürdőt 1969-ben építették. (Előtte volt egy régi favázás tavi fürdő, amelyet lebontva építették fel a mait.). A barlangfürdőből sziklaalagút vezet a két, kagyló alakú szabadtéri medencéhez. Az egyik medencén beton kagylóhéj képez tetőt. Itt 4-5 vastag vízsugár alatt lehet dögönyöztetni testünk izmait.

A csodálatos szépségű barlangbejáratok, kürtők és vízesések esztétikai szépséget nyújtanak, a pormentes levegő pedig a betegek gyógyulását szolgálja 12. ábra.



12. ábra. Miskolctapolca fürdői [www.info-tourist.com]

A Hejő-patak völgyének egykori csodálatos égeresekkel, forráslápokkal övezett táján már az Árpád-korban is parkerdőt alakítottak ki a szerzetesek. A mai értelemben vett parkrendszer 1937-től a város tulajdona.

II.3.3. A Nyírség és a Szatmár-Beregi síkság földrajzi fekvése

Földrajzilag Szabolcs-Szatmár-Bereg-megye igen változatos, dombság és síkság is található itt. A pleisztocén vége felé kezdődött a Nyírség és a Szatmár-Beregi síkság szétválása. A Nyírség területe lassú kéregmozgás következtében megemelkedett, emiatt az É-ÉK felől érkező vízfolyások nem tudtak bejutni a Nyírség centrumába. Ez megváltoztatta a folyók irányát. A holocénben kisebb elmozdulások terelték a folyókat a jelenlegi medrükbe. Az Alföld legkeletibb részét alkotó Nyírség kb. 78%-a tartozik a megyéhez, a Felső-Tisza-vidék kistájai közül a Rétköz teljes mértékben, a Szatmári-síknak, a Beregi-síkságnak és az Ecsedi-lápnak pedig egy-egy része tartozik a megyéhez. A megye legmagasabb pontja a Kaszonyi-hegy (240 m). A Nyírség pleisztocén rétegsora kb. 1000 milliárd m³ vizet tárol. Ebből biztosítják Nyíregyháza és környéke vízellátását. A mélyebb üledékek (pannon tengeri) termálvizét balneológiai, ipari és mezőgazdasági célokra hasznosítják. Már 800-1000 m mélységű kutakból is jelentős (55-65°C) hévizek hozhatók felszínre. Nyíregyháza egyik népszerű városi fürdőhelye a Júlia fürdő, 13. ábra.

II.3.3.1. Júlia fürdő



13. ábra. Júlia fürdő (Saját fotó)

A 6500 m² területű telken fekvő fürdő belvárosi elhelyezkedésénél fogva gyalog, a város távolabbi pontjairól tömegközlekedési eszközzel könnyen megközelíthető. A termálvizet, szaunát, úszást kedvelők igényeik szerint megtalálják a pihenést, a gyógyulást, a kikapcsolódást nyújtó szolgáltatásokat. Például a 3 db szaunát, szárazgőzt, nedves gőzt, kádfürdőt, infrasaunát, masszázst, pedikűrt, büfét, 25 m-es feszített víztükrű úszómedencét, különböző hőmérsékletű gyógymedencéket. Ezeket a medencéket és adataikat tartalmazza a 10. táblázat.

10. táblázat. A Júlia Fürdőben található medencék és azok vizének jellemzői

<i>Medence típusa</i>	<i>Hőmérséklet (°C)</i>	<i>Vízmélység (m)</i>
25 m-es úszómedence	26-28	1. 40
64 m ³ termálmedence	34-36	0. 90
14 m ³ termálmedence	38	0.90
14 m ³ hideg vizes medence	18	0. 90
12 m ³ gyermekmedence	18	0. 50
6 m ³ szauna-medence	18	0. 90
52,7 m ³ iker termálmedence szabadtéri, télen is üzemel	34-36	0. 80
10 m ³ finn szauna-medence	18	2.0

A Júlia Fürdőben lehetőség van szakorvosi (reumatológusi, ortopéd szakorvosi) beutalóval gyógykezeléseket igénybe venni. Gyógykezelések: medencefürdő, orvosi gyögmasszázs, víz alatti vízszugármasszázs, súlyfürdő, víz alatti csoportos gyógytorna.

A nyíregyházi Júlia fürdő fűt kúttal rendelkezik, amelyből felszivattyúzott víz hőmérséklete 51°C, vízhozama 180 liter/perc. A medencékhez csővezetékeken jut el a víz, természetes vízűtést alkalmaznak. A szellőztetés az egész fürdőben ventilátoros keringetéssel történik. A levegő hőmérséklete a fedett helyen általában 25-26°C. A fürdő látogatottságát fokozza az udvaron lévő meleg vizes medence, amely télen, nyáron egyaránt üzemel. A víz hőmérséklete kellemes.

.

II.4. ALKALMAZOTT MÉRÉSI MÓDSZEREK

A vízminták össz – alfa és radon tartalmának meghatározására szilárdtest-nyomdetektoros, radonmonitoros módszert alkalmaztam. Ez a módszer a kémiai feltárás nélküli vízmintában keletkező radon és bomlástermékei alfa-sugárzásának maratottonyom-detektoros mérésén alapszik. A következőkben részletesen bemutatom a módszert és a módszer alkalmazásával kapott eredményeket.

II.4.1. HÉVIZEK ALFA-RADIOAKTIVITÁSÁNAK VIZSGÁLATA SZILÁRDTEST-NYOMDETEKTORRAL

II.4.1.1. Szilárdtest-nyomdetektorok

A hévizek alfa-radioaktivitásának vizsgálata alfa-érzékeny szilárdtest-nyomdetektorral is végezhető.

Sok olyan szilárd anyag ismert (pl. csillám, műanyag, stb.), amelyben egyszerű eljárással töltött részecskéket detektálhatunk. A besugárzott vékony lemezben, illetve fóliában lefékeződő töltött részecske pályája mentén látens nyomok keletkeznek. Ezek megfelelő maratószer hatására mikroszkóppal látható méretűvé (5-10 μm) nagyíthatók. E detektor a magyar szakirodalomban a *szilárdtest nyomdetektor* nevet kapta. Ezeknek a nyomdetektoroknak a felfedezése az 1950-es években kezdődött, majd a 60-as évek végétől egyre jobban elterjedt az alkalmazásuk.

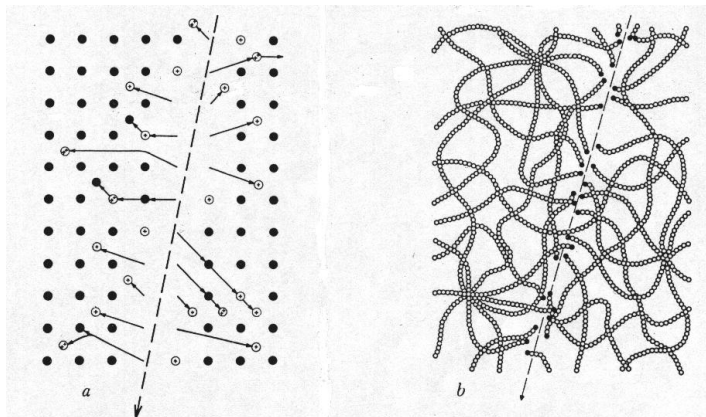
Az egyedi atomi részecskék által létrehozott lokális sugárrombolás észlelhetőségét *D.A. Young* fedezte fel, aki ezen a területen jelentős eredményeket ért el (1958, Harwell), ám munkái észrevétlenek maradtak. *E. C. H. Silk* és *R. S. Barnes* vizsgálta először a hasadványok pályáit követő, vonalszerű sugárrombolási tartományokat vékonyra hasított muszkovit csillámokban. A nyomokat transzmissziós elektronmikroszkóppal vizsgálta (1959, Harwell). Az USA-ban *R.L. Fleischer*, *R.B. Price* és *R.M. Walker* írták le 1962-63-ban, hogy a nehéz töltött részecskék pályája mentén létrejött lokális változás – primer nyom – igen stabil képződmény lehet, és több szigetelőben

létrehozható. A részecskepálya mentén a sugárrombolás következtében kémiai reakcióképesebbnek mutató anyag a maratás során eltávozik, üreges csatorna - maratási üreg, nyom – jön létre. A μm nagyságrendű maratási üregek optikai mikroszkóppal vizsgálhatók. Erre a folyamatra mondható, hogy kémiai maratással a primer nyomok „előhívhatóvá” és „fixálhatóvá” válnak. Már az 1960 – as években ezen a területen folytatódtak a kutatások az USA-ban, Strassburgban, Dubnában és Debrecenben. Debrecenben Dr. Somogyi György az ATOMKI tudományos munkatársa kezdte vizsgálni a könnyű ionok műanyagokban történő regisztrációját. Munkássága során sikerült kimutatnia alfa-részecskék és könnyű meglökött magok regisztrációjának lehetőségét és felismerni egy újszerű sajátságot, mely szerint korreláció van a nyomátmérő és a részecskeenergia között [SO-73]. A maratottnyom-detektorok „felfedezése” és fejlesztése óta egyre szélesebb körben alkalmazzák, pl. magfizikai kísérleteknél, a környezetfizika, a kozmikus sugárzás kutatása során, az űrkutatásban, stb. A nyomdetektorok felfedezését és robbanásszerű alkalmazási elterjedését R.L. Fleischer, R.B. Price és R.M. Walker foglalta össze 1975-ben egy jelentőségét azóta is megőrző nagy lélegzetű könyvben [FL-75]. A maratottnyom-detektorok felfedezése óta eltelt 50 év alatt több ezer közlemény, több könyv jelent meg ezen technika fejlesztéséről és különböző területeken való széleskörű alkalmazásairól.

II.4.1.2. Nyomkeletkezési modellek

A töltött anyagi részecskék a nyomdetektor anyag szerkezetében lokális, mikroszkopikus tulajdonságváltozásokat hoznak létre. Az anyagok nagyon eltérő fizikai és kémiai tulajdonságai miatt a nyomkialakulás mechanizmusára nincs egységes elmélet. Három különböző elméleti modellt használnak. Ezek néhány jelenséget jól leírnak, de minden fellépő jelenséget egyik modell sem tudja teljesen értelmezni. Valószínűleg mindhárom modellnek van bizonyos szerepe a nyomkialakulásban. A három modell az *ionrobbanásos elmélet*, *hőtüske modell*, valamint az *elmozdítási modell* [Fl-75, KI-84].

Ionrobbanásos elmélet: a töltött részecske pályája mentén az atomokat ionizálja, így egy pozitív ionokkal töltött szűk csatorna alakul ki. Az ionok az erős elektromos tasztítás miatt rövid idő alatt szétrepülnek, valamint maguk is számos iont keltve és helyükről kidobva rácsdefektust hoznak létre. Ez a nyomkeletkezés *ionrobbanásos (ion explosion spike) elmélete*, 14. ábra.



14. ábra. (a) ionrobbanásos modell kristályokban, (b) nyomkeletkezési modell műanyagokban [F1-75]

Hőtűske (thermal spike) modell: nehéz töltött részecskék valamilyen anyagon történő áthaladásukkor energiájuk jelentős részét az anyag atomjainak ionizálása és gerjesztése következtében elveszítik. Az energiavesztés kis részéért az atomokkal, atommagokkal történő rugalmas ütközés a felelős. A közben átadott energia szinte teljesen hőenergiává alakul, így a részecskék pályája mentén a szilárd anyag tranziens hőlökést szenved. Ez a modell feltételezi, hogy a szilárd anyag károsodását az erős lokális felmelegedés okozza, ami fázis átalakításokat idéz elő az anyagban. Ennek az elméletnek viszont az a hiányossága, hogy nem tudja magyarázni: miben különbözik a károsodott és az érintetlen tartományok szerkezete a nem kristályos anyagban, így pl. az üvegben. Az elmélet hiányossága továbbá, nem talál összefüggést a tapasztalt érzékenység és az olvadási, lágyulási valamint transzformációs hőmérséklet között.

Elmozdítási (displacement spike) modell: mely szerint a beeső töltött részecske és a kristályrács atomjai között végbemenő rugalmas ütközés következtében alakulnak ki a nyomok.

A három elképzelés közül jelenleg a legtöbben a nyomkeletkezés ionrobbanásos elméletét fogadják el, főleg a szervesetlen kristályos detektoranyagokra vonatkozóan.

A legérzékenyebb szilárdtest nyomdetektor anyagok a szerves műanyagok, főleg a cellulóz- és polikarbonát származékok. Ezek képesek az alfa-részecskék nyomait is regisztrálni. Ezekben az anyagokban a nyomképződés magyarázata a következő. A beeső töltött részecske pályája mentén a hosszú polimer láncokban a kémiai kötések felszakadnak és igen reakcióképes szabad vegyértékek keletkeznek. A radiolitikus bomlási termékek oldódási sebessége nagyobb, mint a károsodást nem szenvedett polimeré.

II.4.1.3. A nyomkeletkezés feltételei

- Az ionizált csatornán belüli Coulomb – taszításnak felül kell múlnia az atomrácsot összetartó erőket.
- A pozitív ionokkal töltött csatorna 10^{-13} s alatt ne rekombinálódjon, ugyanis kb. ennyi idő szükséges a rácspontokból való ioneltávozáshoz.
- A már kialakult sugárrombolt tartományok tartós fennmaradásához kis lyukmozgékonyosságú detektoranyag szükséges, mivel a nyomok nagy lyuksűrűségű helyek. Ez a követelmény a szigetelők nagy részét kizárhatja a szilárdtest nyomdetektor anyagok sorából.
- A feltárható sugárrombolt tartományoknak atomi méretekben folytonosnak kell lenniük, azaz a részecskepálya mentén az atomonkénti átlagos ionizáció $n \geq 1$. Az n értékét a detektálandó részecske paraméterei és a detektoranyag ionizációs energiája szabja meg. Ebből adódik, hogy különböző szilárdtest nyomdetektorok detektálási küszöbe eltérő.

II.4.1.4. A nyomüreg kialakulása és a nyomfeltárás lehetőségei

Nyomfeltáráson a pályamenti sugárrombolt tartománya olyan megváltozását értjük, amely a primer, latens nyomot „felerősíti” és stabilizálja, s a kísérleti vizsgálatok számára jól megfigyelhető képződménnyé, szekunder nyommá alakítja. Ilyenek lehetnek például:

- A környező anyagtól optikailag megkülönböztető új fázisú anyagréteg kialakítása a sugárrombolt terület mentén. Pl. a magfizikai emulzióknál alkalmazott nyomelőhívásnál is ezt a technikát használják fel.
- A töltött részecskék által szétrombolt anyagcsatornák elektrondiffrakciót okoznak, és így transzmissziós elektronmikroszkóppal észlelhetők. A módszer hátránya, hogy elvi és technikai okok miatt nem alkalmazható minden detektoranyagnál, nagy nyomsűrűséget kíván, továbbá egyszerre csak kis nyomrészletek vizsgálatára alkalmas.
- A gyakorlati alkalmazások több mint 90 %-ban használt kémiai maratás során a sugárrombolt tartománnyal reakcióba lép a primer nyomba behatoló reagens, és az így kialakuló nyomüreg geometriai méreteit fokozatosan megnöveli. E módszert először 1962-ben alkalmazták, és azóta sok különböző dielektrikumra sikerült többé-kevésbé alkalmas nyom-maratószerrel találni.

A maratási technika sajátosságai: a nyommaratási technika alkalmazásának következtében a szilárdtest nyomdetektorok számos olyan tulajdonsággal rendelkeznek, amelyekkel más típusú nyomdetektornál nem találkozunk. A szilárdtest nyomdetektorok felületi detektorok, mely azt jelenti, hogy – bár primer nyomok a detektor egész térfogatában egyformán létrejöhetnek – kimaratható nyomüregeket közvetlenül csak a detektor felületét átszelő részecskepályák esetében kapunk, ahol a maratószer a sugárrombolt zónákkal reakcióba tud lépni. A maratás még a maratószerrel közvetlenül érintkező felületeket átszelő nyomoknál sem egyformán hatásos, amely azt mutatja – egyezően a kísérleti adatokkal –, hogy a szilárdtest nyomdetektorok praktikusán küszöb detektoroknak tekinthetők. Ez a tény azt jelenti, a kimaratható nyom csak egy adott küszöbértéknél nagyobb kritikus sugárrombolás jelenléte esetén kapható. A nyomüreg kialakulása a

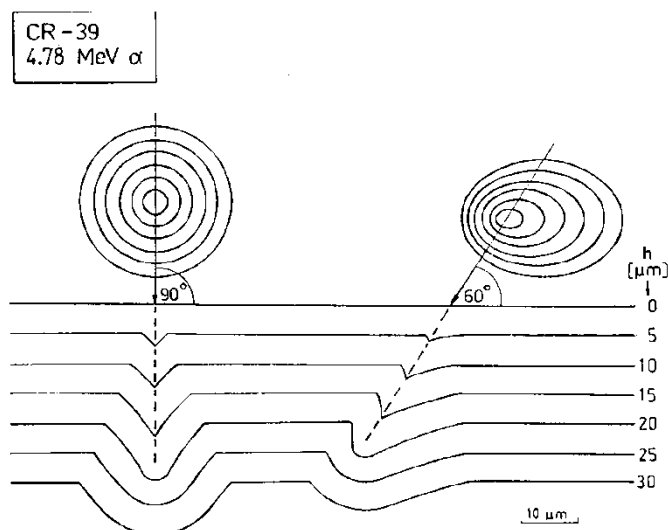
részecskepálya és a detektorfelület által bezárt szögtől is függ. Ha a részecske az ún. regisztrációs határszögnél kisebb szögben lép be a detektor felületére, akkor kimaratható nyomüreg már nem alakul ki. Ennek következtében 2π geometriában történő besugárzások esetén a regisztrációs hatásfok nem egységnyi.

A besugárzás alkalmával kialakult latens nyom kémiai maratás következtében 8-10 μm átmérőjű üreggé növekszik. A nyomüreg kialakulásának feltétele, hogy a primer sugárrombolt tartomány mentén a maratási sebesség (v_T) nagyobb legyen, mint a detektorfelület maratási sebessége (v_B).

A nyomüregek sok információt adnak. A magfizikai emulzió, a buborékkamra, a ködkamra esetében az atomi részecskékre jellemző információt az egyes detektorok érzékeny térfogatában létrehozott ezüstháloidszemcsékből, buborékokból vagy ködcseppekből álló fonalak hordozzák. Ezek szerepét a szilárdtest nyomdetektoroknál a maratási üregek veszik át. Meghatározható a *nyom átmérője* 100-1000 – szeres nagyítású mikroszkóppal, mozgó szálereszttel ellátott mérőokulár segítségével, stb. Továbbá meg lehet határozni a *nyom hosszát*. Ez viszonylag bonyolultabb feladat, ugyanis két esetet kell figyelembe venni. Egyik kiskúpszögű ($v_T \gg v_B$), másik nagykúpszögű ($v_T \geq v_B$), ismert belépési szögű nyomok.

A kémiai maratás során kialakuló nyomüreg végső jellegét számos tényező befolyásolja. Így pl. a detektáló részecske jellemzői (A , Z , E) és belépési iránya (ha a belépési szög kisebb, mint 90° , akkor az üreg ferdekúp és a bemeneti nyílása ellipszis alakú, a detektoranyag természete, kristályorientációja, a maratószer összetétele, koncentrációja, hőmérséklete, a hívási idő hossza, stb.

A kémiai maratás során kialakuló nyomüreg metszeti és felülnézeti képe látható a 15. ábrán eltérő beesési szögek esetén.



15. ábra. A kémiai maratás során kialakuló nyomüreg metszeti és felülnézeti képe eltérő beesési szögek esetén. A szimuláció a ^{226}Ra 4.78 MeV energiájú alfa-részekre történt. [SO-90]

Az optimális maratási időt a részecskék fajtája, energiája és fluxusa együttesen határozza meg. Hasadványok detektálásánál kis nyomsűrűség esetén nem kell pontosan meghatározni a maratási időt. Ellenben nagy nyomsűrűség esetén igen, mert az összes nyom nagyjából azonos idő alatt jelenik meg. A maratási idő növelése következtében a nyomok átmérője növekszik, és a nyomok egymásba érhetnek, mely nehezíti a nyomszámlálást [SO-73].

Az optimális maratási körülmények megvalósítására egyelőre nincs általánosan alkalmazható szabály. A különböző anyagú detektorok maratószereinek megválasztása rendszerint empirikus úton történik. Maratószerként üvegekre és ásványokra általában fluorsav, míg műanyagokra NaOH, illetve KOH vizes vagy alkoholos oldatát alkalmazzák.

A szilárdtest nyomdetektorok eltérő környezeti paraméterek között is alkalmazhatók, pl. kozmikus háttérsugárzás, - 40 °C – 80 °C közötti hőmérsékleteken, nagy páratartalom esetén is. Az expozíció és a maratás közötti hosszú időn keresztül raktározódnak a latens nyomok, az előhívott detektorok

pedig megfelelő tárolással tulajdonképpen örökéletűek. A szerves polimerekből készült szilárdtest nyomdetektorok nagyon alkalmasak a környezeti alfa-sugárzással járó jelenségek vizsgálatára, mivel az alfa-részecskéknél kevésbé ionizáló béta, gamma és fénysugárzással szemben gyakorlatilag érzéketlenek. A nyomdetektorok alkalmazása - egyszerűsége, viszonylagos olcsósága, illetve az előbb leírt tulajdonságai miatt- népszerűvé vált az elmúlt 50 évben.

II.4.1.5. Vízminták össz – alfa - radioaktivitásának meghatározásához alkalmazott összefüggések

A vízminták össz – alfa - radioaktivitásának meghatározásához ismerni kell a nyomsűrűséget, az alfa-részecskék hatótávolságát, a detektorlemezbe való belépésének szögét, illetve az expozíciós időt. Ezek részletezését a Saját vizsgálatok című fejezetben mutatom be.

A tabletták össz – alfa - radioaktivitását a következő összefüggés alapján határoztam meg:

$$C_{\alpha SA} = \frac{\rho}{T_{\exp} \frac{R_{\alpha}}{4} \cos^2 \Theta_c}.$$

A minta össz-, vagy specifikus aktivitását, a $C_{\alpha SA}$ tartalmat [Bq/mg] egységben kapjuk, ha a $T_{\exp}$ időt másodpercekben, az alfa részecskék mintában való hatótávolságát, R_{α} [mg/cm²] egységben számoljuk. A detektálás kritikus szöge $\Theta_c \approx 21^\circ$. A nyomdetektor az összes α – aktív elemtől eredő nyomot regisztrálja. A természetes eredetű transzurán elemek bomlásakor tipikusan 4.5-6.0 MeV energiájú α -részecskék keletkeznek, s az ezekhez tartozó átlagos hatótávolság $R_{\alpha} = 4\text{-}7$ mg/cm², azokra a könnyű elemekre (H,...Ca), amelyek a vízmintákból nyerhető szárazanyag fő összetevői [LI-80]. Az aktivitás számításánál $R_{\alpha} = 4$ mg/cm² átlagos hatótávolságot alkalmaztam.

A vízminta össz – alfa - radioaktivitását a szilárd tabletták specifikus aktivitásának ($C_{\alpha\text{SZA}}$) és a minták szárazanyagtartalmának (SZA) szorzata adja:

$$C_{\alpha\text{VÍZ}} [\text{Bq/l}] = C_{\alpha\text{SZA}} [\text{Bq/mg}] \cdot \text{SZA} [\text{mg/l}]$$

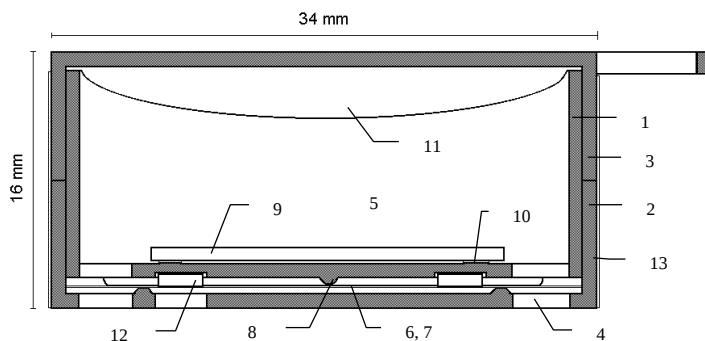
II.4.2. Vízminták oldott radon tartalmának meghatározása nyomdetektoros technikával (elméleti összefoglaló)

II.4.2.1. A Radamon felépítése

Környezeti radon koncentráció mérésére a maratottnyom-detektoros módszer jól alkalmazható, ezért nagyon elterjedt eljárás. Az 1990-es évek elején az MTA Atommagkutató Intézetének Radon Csoportja – OMFB kutatási szerződés keretében - kifejlesztett egy ilyen mérésekre alkalmas, kisméretű radonmonitort, amit Radamon márkanévvel láttak el [CSI – 01].

A Radamon egy 18 mm magasságú, 35 mm külső átmérőjű üreges plastik henger, amely egy 1-2 cm² területű, CR-39 (allil – diglikol - karbonát) típusú, alfa-sugárzásra nagyon érzékeny polimer nyomdetektort tartalmaz. A részecskenyom pályája menti v_T maratási sebességnek és a roncsolásmentes detektoranyag adott hőmérsékleten történő v_B maratási sebességhez viszonyított, $S = v_T / v_B$ hányadosa a nyomdetektor érzékenysége. Egy detektor annál érzékenyebb, minél kisebb ionizáló képességű részecskéket képes detektálni.

A Radamon felépítése a 16. ábrán látható.



16. ábra. A Radamon részei és felépítése [CSI-90]

A doziméter ház (1), az alaplapp (2) és a fedőlap (3) magas fényű, fekete színű műanyagból készül. A bemeneti nyílás (4) biztosítja a minta és az érzékeny térfogat közötti gázcserét. A Radamon érzékeny térfogata (5) 7 cm^3 . A papír szűrőfólia (6) a levegőben lebegő szilárd aeroszolk és a radon bomlástermékek, míg a polietilén szűrőfólia (7) a toron leválasztására szolgál. A távtartó borda (8) funkciója a detektor felület-térfogat arányának növelése. A CR-39 nyomdetektor (9) kétoldalú ragasztóval (10) rögzíthető az alaplaphoz. A kupola (11) 0.3 mm-es speciális görbületű réz lemez, ami biztosítja a nyomdetektor felületén az egyenletes nyomsűrűséget. TL detektorok (12) beszerelése is lehetséges a külső gamma dózisteljesítmény egyidejű mérésére. Összeszerelés után az alap- és fedőlapot ragasztószalaggal (13) körberagasztjuk azért, hogy az érzékeny térfogat és a környezet között gázcsere csak a szűrőfólián keresztül jöhessen létre.

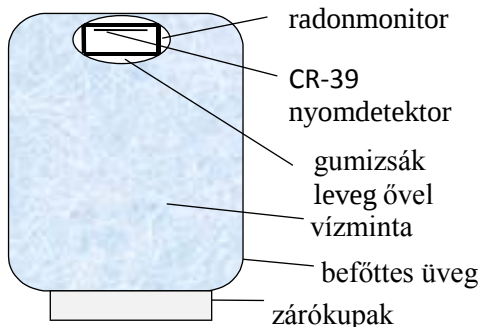
1991-ben az NRPB (National Radiation Protection Board, Chilton, Uk) radonkamrájában történt a Radamon kísérleti kalibrációja, amely szerint TASTRAK detektornál, standard maratás mellett $1 \text{ nyom/mm}^2 / 30 \text{ nap}$ (84 ± 6) Bq/m^3 légtéri radon aktivitáskoncentrációnak felel meg. Ezt a kalibrációs faktort használva a Radamon kiválóan szerepelt az 1995-ös és 1998-as EU (CEC) összeméréseken [CSI-01].

II.4.2.2. Az alkalmazott eszköz bemutatása

A vízminták ^{226}Ra és ^{222}Rn - tartalmának szilárdtest nyomdetektorral történő meghatározását Radamon segítségével végeztem. Ezt az eszközt mutatja a 17. ábra.

A Radamont egy $15 \text{ }\mu\text{m}$ vastagságú gumizacskóba zártam a lehető legszorosabban, hogy nagyon kevés levegő maradjon a gumizacskóban. Majd ezt egy 0.72 dm^3 térfogatú, vízmintával színültig megtöltött üvegedénybe tettem, és azt légmentesen lezártam. Az expozíció ideje alatt az üveget kupakkal lefordítva tároltam. Az - állandó hőmérsékletet biztosítva - expozíciós idő 12-60 nap volt.

A Radamonban lévő ^{222}Rn rövid életű, alfa - bomló bomlástermékeiből (^{218}Po , ^{214}Po) keletkező alfa-részecskéket a CR-39 nyomdetektor rögzítette.



17. ábra. Kísérleti elrendezés a vízmintában lévő radon és rádium szilárdtest nyomdetektorral történő mérésére

Az expozíciós idő lejártá után a nyomdetektor lemezeket a standard maratási eljárásnak vettem alá. 6.25 mol/dm^3 koncentrációjú NaOH oldatban 70°C -on 5 óráig marattam azokat. A közel $10 \mu\text{m}$ átmérőjű alfa nyomokat optikai mikroszkóppal számoltam le. A háttér meghatározásánál és kis nyomsűrűség esetén 1 cm^2 –es felületet számoltam le. Nagyobb nyomsűrűségeknel pedig csak akkora felületet, amelyen kb. 3 %-os statisztikus hibát adó 1000 db körüli nyomot észleltem. A nyomsűrűséget $[\text{nyom/cm}^2]$ -ben határoztam meg. Az, hogy a kapott nyomsűrűség a víz minta ^{222}Rn - vagy ^{226}Ra -tartalmát reprezentálja –e, az expozíciós idő hosszától, valamint a minta előkészítésétől függ.

A mérési és számítási adatok alapján elmondhatjuk, hogy az alkalmazott befőttes üvegek mérete a mérések szempontjából megfelelőek. Kis víztérfogat esetén a kísérleti adatok szórása növekszik, ugyanis a Radamonon kívüli, nem elég jól reprodukálható levegőtérfogat rontja a mérés pontosságát [BA-02].

II.4.2.3. A vízminták Rn - tartalmának meghatározásához szükséges összefüggések

A vízminták radontartalmának kiszámításához több összefüggés alkalmazása szükséges [BA-02].

A vízminták Ra - tartalmának kiszámítása az alábbi összefüggéssel történt:

$$C_{Ra} = \frac{1}{G} \rho_{Ra} \frac{\lambda}{\lambda T_{Ra} + e^{-\lambda T_{Ra}} - 1}, \text{ ahol}$$

C_{Ra} = Ra – tartalom,

G = a módszer érzékenysége,

ρ_{Ra} = a nyomsűrűség,

T_{Ra} = expozíciós idő,

λ = a radon bomlási állandója.

A vízminták Rn - tartalmát a következőképpen számoltam:

$$C_{Rn} = \left(\frac{1}{G} \rho_{Rn} - T_{Rn} C_{Ra} \right) \frac{\lambda}{1 - e^{-\lambda T_{Rn}}}, \text{ ahol}$$

C_{Rn} = Rn - koncentráció,

ρ_{Rn} = a nyomsűrűség,

T_{Rn} = expozíciós idő,

G = a módszer érzékenysége,

λ = a radon bomlási állandója.

A nyomsűrűséget a következő formula adja:

$$\rho = \beta \int_0^T C_{Rn}(t) dt, \text{ ahol}$$

ρ = a nyomsűrűség,

β = a Radamon levegőben lévő radonra vonatkozó érzékenysége,

C_{Rn} = Rn - koncentráció,

T = expozíciós idő.

A módszer érzékenysége így határozható meg:

$$G = \frac{\beta}{L(T) + V_A / V_w}, \text{ ahol}$$

G = a módszer érzékenysége,

β = a Radamon levegőben lévő radonra vonatkozó érzékenysége,

L = Ostwald tényező,

V_A = levegő térfogata,

V_w = víz térfogata.

III. SAJÁT VIZSGÁLATOK

III.1. HÉVIZEK ÖSSZ – ALFA - RADIOAKTIVITÁSÁNAK MEGHATÁROZÁSA

Magyarország különböző mélységű rétegei igen gazdagok termálvizekben. Ezek fő felhasználási területei jelenleg az egész évben működő gyógyfürdőkben, vagy csak a nyári szezonban nyitva tartó strandokon belneoterápiai igényeket elégítenek ki a gyógyulni és pihenni vágyó emberek szolgáltatában. Hazánkban található híresebb fürdők jó része (Hévíz, Eger, Budapest Rudas fürdő, stb.) már a történelmi időkből is jól ismert, más részük a XX. század első évtizedeiben került kiépítésre. Az 1950-es években megnőtt vízigény kielégítésére és ivóvíz-ellátási, valamint szénhidrogén kutatási célokból számos helyen mélyfúrást végeztek. Ezekből több, ipari szempontból meddő fúrást vízkitermelésre kiképezve átadtak a helyi közösségeknek hasznosításra. Mind gyógyászati, mind a népességet érő környezeti hatások jobb megismerése céljából fontos ezeknek a széleskörűen felhasznált termálvizeknek a nagyérzékenységű nukleáris analitikai módszerekkel való vizsgálata. Ezt elősegítendő az ATOMKI - ban a MÁFI Kelet-Magyarországi Területi Földtani Szolgálatával együttműködve elvégeztem szűkebb régiónk, azaz Szabolcs-Szatmár-Bereg- megye és Hajdú-Bihar-megye jelentősebb hévizeinek ilyen jellegű vizsgálatát. Összességében 31 db. hévízkút vizét elemeztem.

Azon hévízkutak többsége, ahonnan a vízmintát gyűjtöttem strandok melegvíz ellátását szolgálja, néhány helyen (Fehérgyarmat, Gemzse, stb.) ezeket az energiaforrásokat üvegházak, fóliasátrak fűtésére is használják. A 11. és 12. táblázatban a két megyében vizsgált hévízkutak fizikai és geofizikai adatait tüntettem fel. A táblázatokat és azok adatainak elemzését a Mérési eredményeim című fejezetben mutatom be.

A 18. ábrán található azok a települések, ahonnan a vízmintákat gyűjtöttem.



18. ábra. A vizsgált hévízminták származási helye

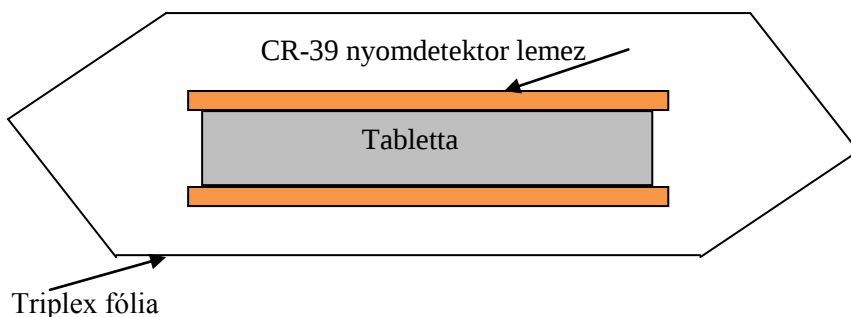
III.1.1. Vízminták gyűjtése, előkészítése

A vízmintákat a helyileg illetékes vízügyi igazgatóságok segítségével, a fürdők és strandok üzemelése idején, működő kutakból 5 literes műanyag kannákba gyűjtöttem. A vízminták fűrt, szűrözött kutakból, nem gáztalanított vizekből valók.

A szárazanyagtartalom meghatározásához általában 300-350 ml vízmintát pároltam be. Ebből kb. 400-800 mg szilárd ásványi tartalmat nyertem. A bepárlási maradék tömegét analitikai mérleggel elérhető pontossággal állapítottam meg. A kristályos anyagot Achát mozsárban homogenizáltam, és 10 mm átmérőjű, kb. 1-1.3 mm vastagságú tablettákat préseltem belőle. Ezek a tabletták szolgáltak vizsgálandó mintául a vizek nyomdetektoros össz - alfa-radioaktivitásának mérésénél.

III.1.2. Mérés menete

Az előkészített tabletták mindkét oldalára kontaktgeometriában, (15 X 15) mm² területű alfa-érzékeny CR-39 típusú, alfa-sugarakra érzékeny nyomdetektor lemezt helyeztem. Az így nyert ún. szendvicseket triplex fóliába - lehetőleg légmentesen - lehegesztve szobahőmérsékleten exponáltam. Az elkészített és fóliába zárt szendvicset mutatja a 19. ábra.



19. ábra. A vízmintából készült tabletta CR-39 nyomdetektorok közé téve és triplex fóliába csomagolva (szendvics)

Az exponálás során a mintában keletkező alfa-sugárzás - elérve a detektoranyagot - energiáját fokozatosan elveszti, miközben kezdeti energiájával arányos pályaszakaszt fut be. A részecskepálya mentén vékony, kb. 50-100 Å átmérőjű sugárrombolt csatorna alakul ki. Az expozíciós idő lejártá után a szendvicseket szétszedtem, és a nyomdetektor lemezeket 20 %-os NaOH oldatban 70 °C-on, 6 óráig marattam. A kémiai maratással létrehozott nyomüregek megfelelő nagyítású optikai mikroszkóppal jól észlelhetők és számlálhatók voltak. A szilárdtest-nyomdetektorok kiértékelése az autoradiogram területén megjelent nyomok leszámolását jelentette, ugyanis nyomok csak a detektorfelületen jelennek meg, gyakorlatilag zavaró háttér nélkül. A tabletta által lefedett részt karcolással megjelöltem a nyomdetektor lemezen, és az ezen a területen kialakult nyomokat számoltam meg. Háttérrel a kontakt autoradiográfiára előkészített lemezek közül véletlenszerűen kiválasztott háttér detektorokon mértem mind az expozíció kezdete előtt, mind az expozíciós

idő lejártá után (a háttér detektorokat együtt tároltam és marattam az exponált detektorokkal). A 45. és a 46. oldalon leírt összefüggések alapján számítottam ki a vízminták össz – alfa – aktivitását.

III.2. VIZEK ^{222}Rn AKTIVITÁS-KONCENTRÁCIÓJÁNAK MÉRÉSE

III.2.1. Mintavételezés

A vízmintákat az egri Termálfürdőben lévő I., II. és III. sz. medencék, a Török fürdőben található Török és Tükör medencék, valamint a Török-fürdő Pezsgő medencéjének vizéből vettem, a vízfelszíntől kb. 50 cm mélyen. Gyűjtöttem vízmintát a Török fürdő melletti kórházi épület központi gyógymedencéjéből, a Miskolctapolcai Barlangfürdő medencéiből, és a nyíregyházi Júlia fürdőből is. Céлом a medencék vizében oldott ^{222}Rn aktivitás-koncentrációjának mérése volt. Az előre kódolt Radamont (20. ábra) elhelyeztem a gyűjtött vízmintát tartalmazó 0.72 dm^3 térfogatú befőttes üvegekben, majd azokat állandó hőmérsékleten tartottam az expozíciós idő végéig. Az előkészített mintákat mutatja a 20. ábra.

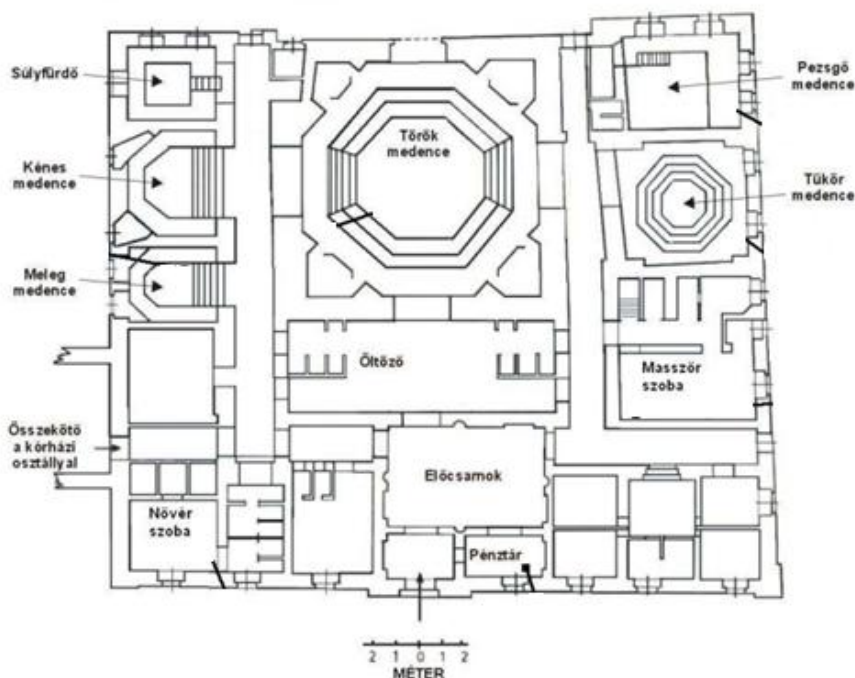
A Radamonban elhelyezett nyomdetektor lemezt elláttam egy kóddal, ugyanezt a kódot felírtam a befőttes üveg tetejére is. Természetesen feljegyeztem melyik kód, melyik vízmintához tartozik. Erre azért volt szükség, hogy az expozíciós idő letelte után történő maratás és nyomszámlálás alkalmával tudjam, melyik lemezről, vízmintáról van szó. A nyomsűrűség meghatározásánál figyelembe kellett vennem a nyomdetektor lemezen lévő háttérnyomokat. Ezt úgy határoztam meg, hogy megmarattam (ugyanolyan körülmények között, mint a besugárzott lemezeket) a felhasználandó lemezből néhány cm^2 – nyit, megszámloltam rajta a nyomokat. Az így adódó nyomszámot levontam a vízminta által besugárzott lemezen leszámolt nyomszámból. Ezek után meghatároztam a nyomsűrűséget és a víz oldott ^{222}Rn -tartalmát a 49 oldalon lévő képlet felhasználásával.



20. ábra. A Radamon és az előkészített vízminták

III.2.2. Az egri Török fürdő Tükör- és Török medencéje vizének vizsgálata

Egerben a Török fürdő Tükör- és Török medencéjének vizét vizsgáltam, míg a Termálfürdő I. sz., II. sz. (gyermekmedence) és III. sz. (felnőttmedence) medence vizének oldott ^{222}Rn aktivitáskoncentrációját határoztam meg. A 21. ábrán bemutatom a Török fürdő alaprajzát, amely mutatja a mérési helyeket. Mindegyik medencénél több helyről vettem mintát. A mintavételezés helyét és a mért radontartalmat tartalmazza a 15. táblázat a 82. oldalon. A több helyről vett vízminták vizsgálatára azért volt szükségem, mert kíváncsi voltam, változik-e a víz ^{222}Rn aktivitás-koncentrációja a vízbetáplálási helyektől távolodva.



21. ábra. Török fürdő alaprajza

III.2.3. A Bárány uszodában végzett mérések

Megmértem a Bárány uszoda forrásainak vizében lévő ^{222}Rn koncentrációt. A vízmintákat a medence alján a lezárt fúrák mellett a kavicsos szűrőrétegen keresztül feltörő forrásvízből vettem. Ekkor a medencéből le volt eresztve a víz. Az itt elvégzett mérések a feltörő forrásvizek oldott ^{222}Rn koncentrációjának vizsgálatára irányultak. A 16. táblázat a Bárány uszodában történő mérési helyeket és eredményeket foglalja össze a 83. oldalon.

III.2.4. A kórházi épület központi gyógymedencéjének vizében oldott ^{222}Rn - tartalom meghatározása

A Török fürdő mellett lévő kórházi épület központi gyógymedencéjének vizében oldott Rn - tartalom meghatározásához is vettem vízmintát. A

mintavételezés előtt két nappal töltötték fel a medencét, mely 60 m^3 térfogatú. Folyamatosan táplálja a medencét a Török fürdő Tükör medencéje alatt lévő forrás. A betáplálás vízhozama kb. $12 \text{ m}^3/\text{h}$, azaz a medence vize átlagosan 5 óránként teljesen kicserélődik. A medence 10 különböző pontjáról vettem a mintákat. Öt mintavételezési pont a medence aljától kb. 10-20 cm-re volt a beömlő nyílások fölött, a további öt mintát pedig a vízfelszín alatt kb. 10-20 cm távolságban vettem, a medence különböző helyéről, a peremétől kb. fél méterre. A vízminták oldott ^{222}Rn aktivitáskoncentrációjának meghatározását szintén a Radamon típusú maratottnyom - detektoros radondetektorral végeztem. A mérések helyét és eredményét rögzítettem a 17. táblázatban a 83. oldalon.

III.2.5. A nyíregyházi Júlia fürdő vizei oldott radontartalmának vizsgálata

A nyíregyházi Júlia fürdő vizeiben oldott ^{222}Rn aktivitáskoncentrációjának mérését szintén helyszíni mintavételezéssel, maratottnyom - detektoros mérési technika alkalmazásával végeztem. A mintavételezés a mélyfúrásból a kigázosítás előtti részen egy mintavevő csapból vett mintákból történt. Három egymás utáni alkalommal 10-10 liter mintát engedtem a csapból egy vödörbe, amelyekből a méréshez szükséges térfogatú mintát vettem. Összesen 13 különböző helyről gyűjtött vízminta ^{222}Rn aktivitáskoncentrációját határoztam meg. A vízminta nyerési helyei között volt külső és belső meleg vizű medence, hidegvizű úszómedence, valamint meleg vizű gyermekmedence. A medencékben a mintákat a vízfelszín alatt kb. 50 cm-re vettem, és a medencék széleinél, illetve a közepénél. Az így begyűjtött vízből a helyszínen készítettem el a méréshez alkalmazott mintákat.

A vízmintákat az alábbi helyekről gyűjtöttem, és a következő radontartalmakat kaptam, 18. táblázat a 84. oldalon.

III.2.6. Miskolctapolcán a Gyógy- és Barlangfürdő vizében végzett mérések

11 db vízmintát vettem, 3 db-ot a forrásból, 1-1 db mintát az I. sz. gyógymedence be- és kifolyó nyílásánál, 1-1 db. mintát a II. sz. gyógymedence lépcsőjénél, illetve a medence közepénél, a felszín alatt kb. 50 cm-re, 1 db. mintát a régi barlangi résznél a kifolyónál, 1db.-ot pedig a dögönyöző medencében. Az új barlangi rész kifolyó- és befolyó nyílásának közelében is gyűjtöttem vízmintát. A helyszíni mintavételezés és a minták mérésre történő előkészítése, illetve kiértékelése ugyan úgy történt, mint az előző mintáknál.

A 19. táblázat mutatja a mérési helyeket és eredményeket a 85. oldalon.

Az általam is alkalmazott maratottnyom - detektoros módszer viszonylag egyszerű, jól alkalmazható technika. Előnyei a következők:

- A mérésekhez szükséges víz minta mennyisége maximum egy liter.
- A mérések elvégzése kémiai feltárás nélkül történik, roncsolásmentes technikával.
- Terepen gyűjtött, akár nagyszámú minta esetén is kiválóan alkalmazható, mert viszonylag olcsó, kicsi a helyigénye.
- A vízben oldott rádium- és radon tartalom mennyisége egyaránt meghatározható.
- A víz minták rádium és radon aktivitáskoncentrációja kb. 10 % pontossággal határozható meg.

Alkalmazásánál a következőkre kellett figyelni:

- A befőttes üvegek víz mintával történő feltöltésénél vigyázni kellett arra, hogy a lehető legkevesebb levegő maradjon az üvegekben azok lezárásakor. A bent maradó levegőbuborék térfogata hozzáadódik a levegőtérfogathoz, és ez csökkenti az érzékenységet.
- Mindenképpen biztosítani kellett a lezárt üvegek szivárgásmentességét ahhoz, hogy a mérések megbízhatóak legyenek.
- Mivel a kalibrációs tényező hőmérsékletfüggő, ezért biztosítani kellett az állandó hőmérsékletet az expozíciós idő alatt.

- A maratott lemezen kialakult nyomok leszámolásánál ügyelni kellett arra, hogy minden nyomdetektor lemezen kb. ugyanazon mérettartományba eső nyomokat számolják le.

III.3. A RADON GÁZ ÚTJÁNAK NYOMON KÖVETÉSE A FORRÁSTÓL A MEDENCÉKIG

A vizsgált források vizének radontartalma általában magasabb, mint az általuk táplált medencéké. Vannak olyan fürdők, ahol ezek az értékek elérik a 10-15-ös nagyságrendet (Júlia fürdő, Miskolctapolca).

Következő tapasztalat az volt, hogy ahogy távolodunk a forrástól, egyre csökken a medencék vizében az oldott ^{222}Rn aktivitáskoncentráció.

Dolgozatom következő részében e két utolsó megállapításra kerestem a választ.

III.3.1. A radon - forrástól a medencéig tartó - útjának vizsgálata az egri Török fürdőben lévő Török- és Tükör medencék vizében, valamint a medencéket tartalmazó helyiség légterében

A természetes és az épített környezetben ki vagyunk téve különféle sugárzásnak, így a radon eredetű sugárzásnak is. Pihenésként, valamint gyógyászati célból megfordulunk gyógyfürdőkben, gyógyüdülőkben. Ezek levegője, vize tartalmaz ^{222}Rn -gázt. Ebből adódóan valamennyi sugárterhelés ér bennünket. Ennek becsléséhez nyomon kell követnünk a forrásokból a vízzel együtt kiáramló ^{222}Rn -gáz útját a forrásoktól kezdve egészen a külső környezetbe való kibocsátásig.

A ^{222}Rn -gáz útjának vizsgálatára egy matematikai modellt alkalmaztam, melyet az ATOMKI Radon Csoportja dolgozott ki. Az alábbi differenciálegyenletekkel írhatjuk le a zárt helyiségben lévő medence vizében, és a helyiség légterében lévő ^{222}Rn -gáz aktivitáskoncentrációjának időbeli megváltozását:

$$\frac{dC_m}{dt} = \frac{q_f}{V_m} (C_f - C_m) + \frac{q_g}{V_m} (C_g - C_b) - \frac{A_m}{V_m} j - \lambda C_m$$

$$\frac{dC_l}{dt} = \frac{A_m}{V_l} j + \frac{q_g}{V_l} C_b + \frac{q_{sz}}{V_l} C_k - \frac{q_{sz} + q_g}{V_l} C_l - \lambda C_l,$$

ahol:

$C_m = {}^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció a medence vizében,

$C_f = {}^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció a forrás vizében,

$C_g = {}^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció a gázbuborékokban a medencébe való belépéskor,

$C_b = {}^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció a gázbuborékokban a medencéből való kilépéskor,

$C_l = {}^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció a helyiség légterében,

$C_k = {}^{222}\text{Rn}$ -aktivitáskonzentráció a külső levegőben,

V_m = a medencében lévő víz térfogata,

A_m = a medencében lévő víz felszíne,

V_l = a helyiség légtérfogata,

q_f = a forrás vízhozama, q_g = a forrás gázhozama,

q_{sz} = a helyiség szellőzésének gázhozama,

k = a párolgási sebességet jellemző állandó,

L = a ${}^{222}\text{Rn}$ megoszlási hányadosa a víz-levegő határfelületen (Otswald tényező),

λ = a ${}^{222}\text{Rn}$ bomlási állandója.

A modellszámítás során több feltételezést tettünk.

1. Feltételeztük, hogy a medence vizének radon-tartalmával egyensúlyban van a medencéből a vízfelszínen kilépő buborékokban lévő gázelegy radon-tartalma az Otswald-féle megoszlási tényező szerint: $C_l = C_m/L$.
2. Azt is feltételeztük, hogy a radonnak a medence vizéből a légterbe való párolgási sebessége arányos a víz és a légkör radon-tartalmának különbségével. A légter radon-tartalmát a megoszlási tényezővel korrigáltuk: $j = k(C_m - LC_l)$.

A radon levegő és víz közötti megoszlási tényezője függ a hőmérséklettől. Ezt az alábbi összefüggéssel adtuk meg: $L(T) = 0.425\exp(-0.05T) + 0.104$, ahol T a

medence vizének hőmérséklete. A radon párolgási sebességét (k arányossági tényező) a medence vízfelszínének környezetében a víz és a levegő keveredése határozza meg. Mivel a keveredés mindig jelen van, ezért a k értékét a modellszámításokban a mérési adatokat figyelembe véve becsültük.

A fenti differenciálegyenletekben előforduló mennyiségek között több is van, amely időben jelentősen változhat, és maga után vonja a radon-gáz aktivitáskonzentrációjának lényeges időbeli változását is. Ilyen például a ^{222}Rn -aktivitáskonzentráció változása a helyiség légterében (C_l), melyet nagyban befolyásol a helyiség szellőztetésének gázhozama (q_{sz}). A differenciálegyenletek stacionárius megoldásával foglalkoztunk, mert csak a hosszú idejű átlagos légtéri radon aktivitáskonzentráció mérési eredményeit ismertük. Így egy kétismeretlenes lineáris egyenletrendszeret kaptunk a medence vizének és a légtér radon-tartalmának meghatározására.

$$\frac{q_f}{V_m} C_f - \frac{q_f}{V_m} C_m + \frac{q_g}{V_m} C_g - \frac{q_g}{V_m} C_b - \frac{A_m}{V_m} j - \lambda C_m = 0$$

$$\frac{A_m}{V_l} j + \frac{q_g}{V_l} C_b + \frac{q_{sz}}{V_l} C_k - \frac{q_{sz} + q_g}{V_l} C_l - \lambda C_l = 0$$

$$j = kC_m - kLC_l$$

$$C_b = \frac{1}{L} C_m$$

$$q_f C_f - q_f C_m + q_g C_g - \frac{q_g}{L} C_m - A_m k C_m + A_m k L C_f - \lambda V_m C_m = 0$$

$$A_m k C_m - A_m k L C_l + \frac{q_g}{L} C_m + q_{sz} C_k - q_{sz} C_l - q_g C_l - \lambda V_l C_g = 0$$

$$\left[q_f + \frac{q_g}{L} + A_m k + \lambda V_m \right] C_m + \left[-A_m k L \right] \bar{C}_l = q_g C_g + q_f C_f$$

$$\left[A_m k + \frac{q_g}{L} \right] C_m + \left[A_m k L - q_{sz} - q_g - \lambda V_l \right] \bar{C}_l = -q_{sz} C_k$$

Bevezetve a következő jelöléseket, egyszerűbb alakban kapjuk az előbbi egyenletrendszeret.

$$a_{11} = q_f + \frac{q_g}{L} + A_m k + \lambda V_m = a_{21} + q_f + \lambda V_m$$

$$a_{12} = -A_m k L$$

$$b_1 = q_g C_g + q_f C_f$$

$$a_{21} = A_m k + \frac{q_g}{L}$$

$$a_{22} = -A_m k L - q_{sz} - q_g - \lambda V_l$$

$$b_2 = -q_{sz} C_k$$

Az előbbi összefüggéseket felhasználva az alábbiakat kapjuk:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 = b_1 \longrightarrow x_2 = \frac{1}{a_{12}}(b_1 - a_{11}x_1)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 = b_2$$

$$a_{21}x_1 + a_{22} \frac{1}{a_{12}}(b_1 - a_{11}x_1) = b_2$$

$$a_{21}x_1 + \frac{a_{22}}{a_{12}}b_1 - \frac{a_{22}}{a_{12}}a_{11}x_1 = b_2$$

Átrendezve az egyenletet:

$$\left[a_{21} - \frac{a_{22}}{a_{12}}a_{11} \right] x_1 = b_2 - \frac{a_{22}}{a_{12}}b_1$$

$$x_1 = \frac{b_2 - \frac{a_{22}}{a_{12}}b_1}{a_{21} - \frac{a_{22}}{a_{12}}a_{11}}$$

$x_1 = C_m$, a medence vizének ^{222}Rn – tartalma,

$x_2 = C_l$, a légtér ^{222}Rn – tartalma.

Az ismert paraméterek értékének behelyettesítésével számoltam ki a medence vizének és a légtérnek radon-tartalmát a párolgási sebességet jellemző állandó (k), illetve a helyiség szellőzési gázhozamának (q_{sz}) függvényében. A számítások eredményét a Mérési eredményeim című fejezetben mutatom be.

III.3.2. Hotel Flóra szálloda fürdőmedencéi radon tartalmának vizsgálata

Mivel korábbi méréseinknél azt tapasztaltuk, hogy a források vizének ^{222}Rn -aktivitáskoncentrációja magasabb a fürdőmedencék vizének radon tartalmánál, ezért újabb mérést végeztünk.

Vizgáltam a Hotel Flóra szálloda fürdőmedencéiben, illetve az ezeket a medencéket tápláló József – forrás vizében oldott ^{222}Rn -aktivitáskoncentrációt. A vízmintákat szintén 0.72 literes üvegekbe gyűjtöttem. A többi méréshez hasonlóan készítettem elő a méréshez a mintákat. A medencék esetén a ^{222}Rn -aktivitáskoncentráció meghatározásához a mintákat a vízfelszín alatt 0.5 méterre vettem, míg a medencékbe beáramló vizek esetén a medencék alján elhelyezkedő beömlő nyílások fölött kb. 0.1 méter magasan. A József – forrás vizének vizsgálatához a gépházba beérkező csőre szerelt mintavevő csapból vettem a vizet. A csőben lévő vizet kiengedtem (ami a forrás és a mintavevő csap között van), hogy a mintavételezés valóban a forrásból kifolyó vízből történjen. Három egymás utáni alkalommal 10-10 liter vizet engedtem egy-egy vödörbe, és ezekből készítettem el a vizsgálandó vízmintákat.

III.3.3. A József-forrásból a forrásvízzel a rendszerbe belépő radon gáz útjának vizsgálata

Mérési eredményeink alapján elmondhatjuk, hogy a medencékben a vízfelszíntől 0.5 m mélységben átlagosan 7.5 kBqm^{-3} a ^{222}Rn aktivitáskoncentráció, mely jóval kevesebb, mint a József-forrás vizének radon tartalma. A medencék vízcserélő berendezéssel ellátottak. A medencékben és a

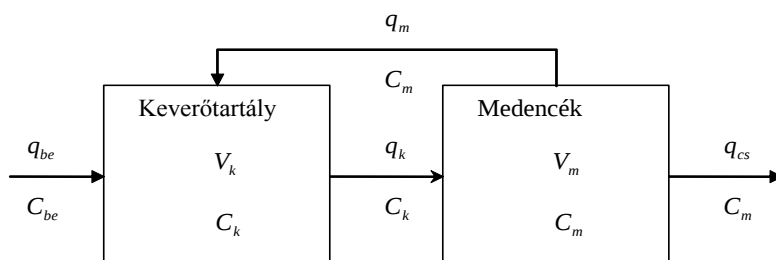
vízforgató rendszerben együttesen kb. 90 m^3 térfogatú víz van. A rendszerbe betáplált víz hozama naponként 8 m^3 . A két medence együttes térfogata 76 m^3 .

Mi lehet az oka annak, hogy a forrás vizének radon tartalma közel 10-szerese a medence vize radon tartalmának? Egyik oka lehet a ^{222}Rn radioaktív bomlása. Ha veszteségként csak a radon bomlását vesszük figyelembe, akkor a

$$C = \left(\frac{q}{V} / \frac{q}{V} + \lambda \right) C_{be} \text{ képlettel kiszámolva a víz radon tartalmát, arra } 22 \text{ kBqm}^{-3} -$$

t kapunk. Ez pedig nem felel meg a mért értékeknek, hiszen azok ennél kisebbek a medencék vizeiben is és a medencék alján a beömlő nyílásoknál is. Másik ok lehet a medencékben lévő víz felszínén történő párolgási veszteség.

Matematikai modellt dolgoztunk ki a József-forrásból a forrásvízzel a rendszerbe belépő radon gáz útjának vizsgálatára. Egy két tárolóból álló kompartment-moddellel dolgoztunk, amely egy keverőtartályból és a medencékből áll. A modell vázlata látható a 22. ábrán.



22. ábra. A keverőtartályból és a medencékből álló kompartment-modell vázlata

A medencékben és a keverőtartályban lévő víz ^{222}Rn aktivitáskoncentrációjának időbeli változását két differenciál-egyenlettel írhatjuk le:

$$\frac{dC_k}{dt} = \frac{q_{be}}{V_k} C_{be} - \frac{q_k}{V_k} C_k + \frac{q_m}{V_k} C_m - \lambda C_k ,$$

$$\frac{dC_m}{dt} = \frac{q_k}{V_m} C_k - \frac{q_{cs} + q_m}{V_m} C_m - \frac{A_m}{V_m} j - \lambda C_m ,$$

ahol:

C_m = a medencék vizében a ^{222}Rn aktivitáskoncentráció,

C_{be} = a József-forrás vizében a ^{222}Rn aktivitáskoncentráció,

C_k = a keverőtartály vizének ^{222}Rn aktivitáskoncentrációja,

V_m = a medencékben lévő víz térfogata,

A_m = a medencékben lévő víz felszíne,

V_k = a keverőtartályban lévő víz légtérfogata,

q_{be} = a József-forrásból betáplált víz hozama,

q_{cs} = a csatornába kiengedett víz hozama, $q_{cs} = q_{be}$,

q_m = a medencékből visszaforgatott víz hozama,

q_k = a keverőből a medencékbe áramoltatott víz hozama, $q_k = q_{be} + q_m$

k = a párolgási sebességet jellemző állandó,

λ = a ^{222}Rn bomlási állandója.

A modellszámításnál feltételeztük, hogy a radonnak a medence vizéből a légtérbe való párolgási sebessége arányos a víz és a légkör radon-tartalmának különbségével. A légtér radon-tartalmát a megoszlási tényezővel korrigáltuk:

$j = k(C_m - LC_l)$. A radon levegő és víz közötti megoszlási tényezője függ a hőmérséklettől. Ezt az alábbi összefüggéssel adtuk meg:

$L(T) = 0.425\exp(-0.05T) + 0.104$, ahol T a medence vizének hőmérséklete. A radon párolgási sebességét (k arányossági tényező) a medence vízfelszínének környezetében a víz és a levegő keveredése határozza meg. Mivel a keveredés mindig jelen van, ezért a k értékét a modellszámításokban a mérési adatokat figyelembe véve becsültük.

A felírt differenciálegyenlet-rendszerben szereplő mennyiségek közül több változhat időben, mely maga után vonja a vízben oldott ^{222}Rn aktivitáskoncentráció jelentős mértékben történő változását az idő függvényében. Mivel ezeket a változó mennyiségeket nem ismertük, ezért az

egyenletrendszer időtől független megoldását vizsgáltuk. Így egy két ismeretlenes lineáris egyenletrendszerhez jutottunk, mely segítségével meghatározhattam a keverőtartály vizében és a medencék vizeiben a ^{222}Rn aktivitáskonzentrációt. Ezt a számítást a k párolgási sebességet jellemző állandó függvényében végeztem el, mivel ez a legkevésbé ismert paraméter.

$$\begin{aligned}\frac{q_{be}}{V_k} C_{be} - \frac{q_k}{V_k} C_k + \frac{q_m}{V_k} C_m - \lambda C_k &= 0 & j &= kC_m - kLC_l \\ q_k &= q_{be} + q_m, \\ q_{cs} &= q_{be}, \quad q_k = q_{cs} + q_m\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{q_k}{V_m} C_k - \frac{q_{cs} + q_m}{V_m} C_m - \frac{A_m}{V_m} j - \lambda C_m &= 0 \\ \frac{q_k}{V_m} C_k - \frac{q_k}{V_m} C_m - \frac{A_m}{V_m} kC_m + \frac{A_m}{V_m} kLC_l - \lambda C_m &= 0 \\ \frac{q_{be}}{V_k} C_{be} &= -\frac{q_m}{V_k} C_m + \frac{q_k}{V_k} C_k + \lambda C_k \\ \frac{A_m}{V_m} kLC_l &= -\frac{q_k}{V_m} C_k + \frac{q_k}{V_m} C_m + \frac{A_m}{V_m} kC_m + \lambda C_m \\ \frac{q_{be}}{V_k} C_{be} &= -\frac{q_m}{V_k} C_m + \left[\frac{q_k}{V_k} + \lambda \right] C_k \\ \frac{A_m}{V_m} kLC_l &= \left[\frac{q_k}{V_m} + \frac{A_m}{V_m} k + \lambda \right] C_m - \frac{q_k}{V_m} C_k\end{aligned}$$

Egyszerűbbé válik az előbbi egyenletrendszer, ha bevezetjük az alábbi jelöléseket:

$$\begin{aligned}a_{11} &= -\frac{q_m}{V_k}, & a_{12} &= \frac{q_k}{V_k} + \lambda, & a_{21} &= -\frac{q_k}{V_m} \\ a_{22} &= \frac{q_k}{V_m} + \frac{A_m}{V_m} k + \lambda, & b_1 &= \frac{q_{be}}{V_k} C_{be}, & b_2 &= \frac{A_m}{V_m} kLC_l\end{aligned}$$

Az előbbi összefüggéseket felhasználva a következőket kapjuk:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 = b_1 \longrightarrow x_1 = \frac{b_1 - a_{12}x_2}{a_{11}}$$

$$a_{22}x_1 - a_{21}x_2 = b_2$$

$$a_{22} \frac{b_1 - a_{12}x_2}{a_{11}} - a_{21}x_2 = b_2$$

$$\frac{a_{22}}{a_{11}}b_1 - \frac{a_{22}a_{12}}{a_{11}}x_2 - a_{21}x_2 = b_2$$

$$\frac{a_{22}}{a_{11}}b_1 - b_2 = x_2 \left[\frac{a_{22}}{a_{11}}a_{12} - a_{21} \right]$$

$$x_2 = \frac{\frac{a_{22}}{a_{11}}b_1 - b_2}{\left[\frac{a_{22}}{a_{11}}a_{12} - a_{21} \right]}$$

$x_1 = C_m$, a medencék vizének ^{222}Rn – tartalma,

$x_2 = C_k$, a keverőtartály vizének ^{222}Rn – tartalma.

Ezeket az összefüggéseket használtam fel a Mérési eredményeim című fejezetben a számítások elvégzésénél és a grafikonok elkészítésénél, elemzésénél.

IV. MÉRÉSI EREDMÉNYEIM

IV.1. A HÉVIZEK ÖSSZ – ALFA - RADIOAKTIVITÁSA

IV.1.1. A vizsgált hévízkutak és azok vizeinek összehasonlító elemzése

A 11. és a 12. táblázatban összefoglaltam az általam vizsgált kutak fizikai és geofizikai jellemzőit. A táblázatokban szereplő szárazanyagtartalom saját mérési eredmény. A meghatározás hibáját - amely elsősorban a mérlegelés pontatlanságából ered- $\pm 5\%$ -nak becsültem.

11. táblázat. A vizsgált hévízkutak fizikai és geofizikai adatai

(Szabolcs-Szatmár-Bereg-megye)

<i>Hévízkút helye</i>	<i>Talpmélység (m)</i>	<i>Szárazanyag- tartalom SZA (mg/l) $\pm 5\%$</i>	<i>Víz- hőmérséklet (°C)</i>	<i>Víz- hozam (l/min)</i>	<i>Vízadóréteg kora/köze</i>
Baktalórántháza	862	596.6 $\pm$ 29	45	576	p ₂ /h
Fehérgyarmat	1005	1665.0 $\pm$ 83	47	1512	p ₂₋₁ /h
Gemzse	1078	794.0 $\pm$ 39	52	1786	p ₂ /h
Gergelyiugornya	945	6184.0 $\pm$ 309	54	720	p ₂₋₁ /h
Kisvárdá 2.	600	1503.0 $\pm$ 75	42	576	p ₂ /h
Kisvárdá 4.	803	1960.0 $\pm$ 98	43	-	p ₂ /h
Mátészalka	1009	770.0 $\pm$ 38	58	1728	p ₁ /h
Nagykálló	980	2482.0 $\pm$ 124	43	1440	p ₂ /h
Nyírbátor	1000	1094.0 $\pm$ 54	52	1656	p ₂ /h
Nyíregyháza, Kórház	902	2100.0 $\pm$ 105	48	2160	p ₂ /h
Nyíregyháza, Sóstó 1.	998	2130.0 $\pm$ 156	50	1066	p ₂₋₁ /h
Nyíregyháza, Sóstó 3.	601	1500.0 $\pm$ 75	39	1037	p ₂ /h
Nyíregyháza, Tk. uszoda	900	1215.7 $\pm$ 60	48	2304	p ₂ /h
Nyíregyháza, Júlia fürdő	899	5200.0 $\pm$ 260	48	1115	p ₂ /h
Tiszavasvári	1200	10348.0 $\pm$ 517	67	1642	p ₂ /h

12. táblázat. A vizsgált hévízkutak fizikai és geofizikai adatai
(Hajdú-Bihar-megye)

<i>Hévízkút helye</i>	<i>Talp- mélység (m)</i>	<i>Szárazanyag- tartalom SZA (mg/l) $\pm$ 5%</i>	<i>Víz- hőmérséklet (°C)</i>	<i>Víz- hozam (l/min)</i>	<i>Vízadóréteg kora/kőzete</i>
Balmazújváros a.	426	2079.0 $\pm$ 104	37	421	p ₂ /h
Balmazújváros b.	1100	2461.1 $\pm$ 123	61	2592	p ₂ /h
Debrecen 1.	986	4545.0 $\pm$ 227	62	1440	p ₂ /h
Debrecen a.	1000	4868.0 $\pm$ 243	64	2448	p ₂ /h
Debrecen, Nagyerdő	871	2705.0 $\pm$ 135	50	-	p ₂ /h
Földes	1344	12702.2 $\pm$ 635	66	1008	p ₂ /h
Hajdúböszörmé ny	996	9427.0 $\pm$ 471	62	518	p ₁ /h
Hajdúdorog	1084	4842.0 $\pm$ 242	62	1944	p ₂ /h
Hajdúnánás	1019	6512.0 $\pm$ 325	67	2880	p ₂ /h
Hajdúszoboszló a.	1000	4126.0 $\pm$ 206	70	1440	p ₂ /h
Hajdúszoboszló b.	440	1820.0 $\pm$ 91	36	1512	p ₂ /h
Hajdúszoboszló c.	700	1644.0 $\pm$ 82	47	1814	p ₂ /h
Hajdúszoboszló 2a.	900	2425.0 $\pm$ 121	46	800	p ₂ /h
Kerekestelep	900	1335.7 $\pm$ 66	42	475	p ₂ /h
Nagyrábé	1100	1010.2 $\pm$ 50	46	1109	p ₂ /h
Nádudvar	600	2238.0 $\pm$ 112	46	680	p ₂ /h

Jelölések:

p₁ = alsó pannóniai

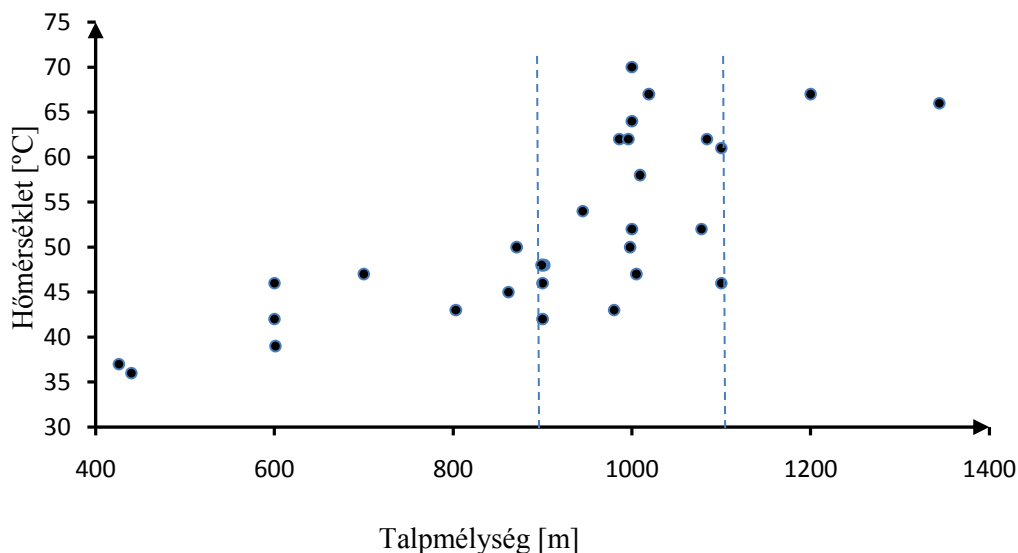
p₂ = felső pannóniai

h = homok

A kutak talpmélysége zömében 1000 m körül van, a vízhőmérséklet és a szárazanyagtartalom eléggé változatos eredményeket mutat. Ezek a megállapítások mindkét megye vizsgált kútjaira és vizeire igazak.

IV.1.1.1. Talpmélység – vízhőmérséklet kapcsolata

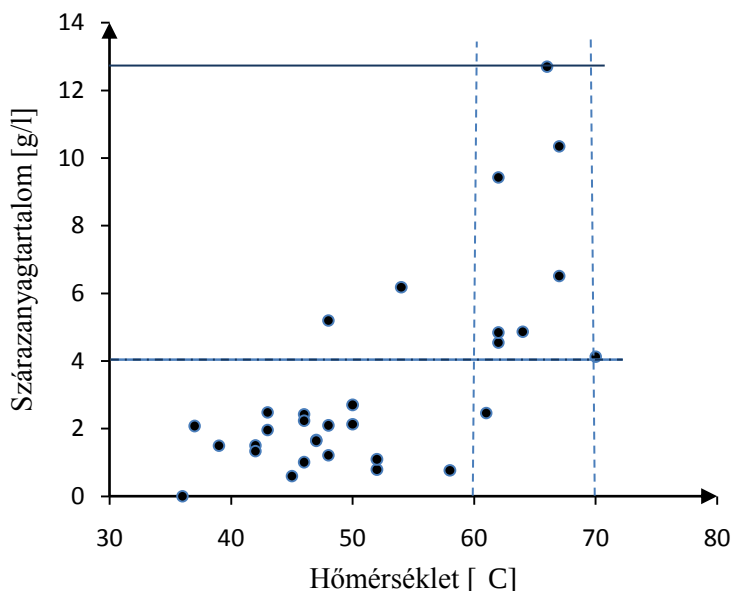
A 23. ábrán látható grafikon alapján elmondható, hogy nagyobb mélységben a vízhőmérséklet általában magasabb. Ez adódhat a Föld belsejéből eredő hőszugárzásból, radioaktív folyamatokból, esetleg vegyi átalakulásokból. A víz hőmérséklete függ a vizet tartalmazó kőzet hővezetőképességétől, így a külső hőmérséklet ingadozása eltérő hatással van a felszín alatti vizek hőmérsékletére [SC-57]. Ezzel magyarázható az a tény, hogy 1000 m mélység körül különböző vízhőmérséklet fordul elő. Pl. Fehérgyarmat, Hajdúszoboszló. Fehérgyarmat térségében agyagos, homokos a kőzet, míg Hajdúszoboszló vidékén kristályos pala alkotja a kőzetet. Az agyag, a homok hővezetőképessége kisebb, mint a kristályos paláé [JU-76, SZÉ-58]. Ugyanílyen megfigyelés tehető Nyíregyháza Sóstó, Kisvárd, Nádudvar esetében is.



23. ábra. Talpmélység – vízhőmérséklet grafikon

IV.1.1.2. Szárazanyagtartalom kapcsolata a vízhőmérséklettel

Mérési és számolási eredményeim ismeretében *összefüggést kerestem a vízhőmérséklet és a szárazanyagtartalom között*. Ezt mutatja a 24. ábra, melynél mind a 31 kútra és vízre vonatkozó adatokat ábrázoltam.



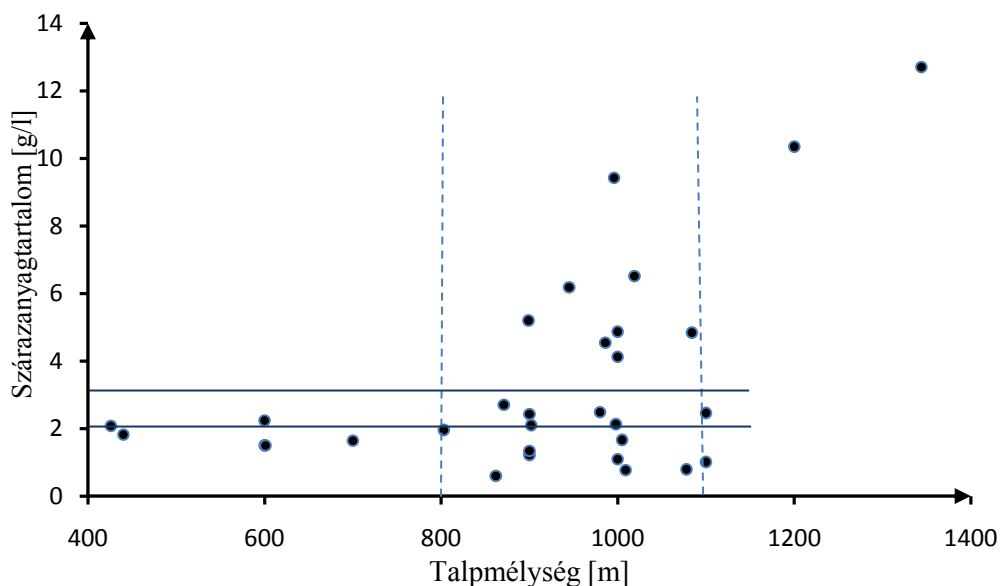
24. ábra A hőmérséklet és a szárazanyagtartalom kapcsolata

A grafikon alapján elmondható, hogy a hévizek egy részénél ahol alacsonyabb a hőmérséklet, ott kisebb a szárazanyagtartalom. Ehhez viszonyítva kiugró eredmények is vannak (pl. Nyíregyháza Júlia fürdő, illetve Gergelyiugornya), ahol az alacsonyabb hőmérséklethez magasabb szárazanyagtartalom kapcsolódik. Ugyanakkor 60 és 70 °C hőmérsékletű vízmintákhoz tartozó szárazanyagtartalom magasabb, 4 és 13 g/liter között ingadozik. Mint látható, kiugró szárazanyagtartalmat is kaptam, Földes és Hajdúszoboszló a vízmintáknál. Az eltérés oka a talajszerkezetben keresendő, hiszen Földes környezetében neogén süllyedék található, míg Hajdúszoboszló közete kristályos pala. A hévízlelőhelyek közeteire általában igaz, hogy

ugyanazon kőzetben a magasabb hőmérsékletű víz nagyobb mennyiségű oldott anyagot tartalmaz. Ez látszik pl. Nádudvar, Debrecen, Kerekestelep, Tiszavasvári vonatkozásában is.

IV.1.1.3. Talpmélység – szárazanyagtartalom összefüggése

Ugyancsak kapcsolatot kerestem a *hévízutak talpmélysége és a vízminták szárazanyagtartalma* között. Ez látható a 25. ábrán.



25. ábra. Szárazanyagtartalom a talpmélység függvényében

A mért és ábrázolt mennyiségek arról tanúskodnak, hogy nem állapítható meg matematikai összefüggés a kutak talpmélysége és a kutakból nyert minták szárazanyagtartalma között. Az viszont látszik a grafikonon, hogy 800-1100 m-es talpmélységhez többféle szárazanyagtartalom tartozik (597 mg/l – 9427 mg/l). Méréseim szerint a 400-1100 m-es talpmélységű kutakból - több esetben - közel azonos szárazanyagtartalmú vizek erednek (2-3 g/l). A mélységi vizek összetételeiről a 21. oldalon említettem, hogy a felső pannon rétegvizek

NaHCO_3 – os jellegűek, s ezek tipikus sótartalma 2- 4 g/l értékhatárok közé esik. Mint a 11. és 12. táblázatokból leolvasható a vizsgált hévízminták többsége a felső pannon rétegből származik, így várható, hogy sok hévízkút vizének sótartalma a fenti tartományba tartozik. Természetesen a kis mintaszám miatt tapasztalataimból csak nagyon óvatos kijelentések tehetők erre a jelenségre vonatkozóan is.

IV.1.2. Hévízminták össz - alfa – aktivitásának vizsgálata

A 13. és a 14. táblázat tartalmazza mind a 31 hévízmintára kapott mérési eredményeket, amelyeket felhasználtam az alfa-aktivitás meghatározásához.

A nyomsűrűség értékéből a nyomdetektor lemez háttér nyomsűrűsége levonásra került. A nyomsűrűség hibáját az autoradiogramon ténylegesen mért nyomszám és a háttér nyomsűrűség statisztikus hibájának felhasználásával számoltam.

Az expozíciós időknél tapasztalható nagy különbség abból adódott, hogy az elkészített tabletták kiértékelése kezdetben lassan haladt. Számomra teljesen új technikát kellett megtanulnom, többek között ilyen volt a nyomszámlálás is. Minden mintánál több méréssorozatot végeztem, ezek átlagát tartalmazzák a táblázatok.

Irodalomból rendelkezésemre állt a vizsgált hévízkutak talpmélysége, vizük hőmérséklete. Mint az előzőekből kiderült, meghatároztam a vízminták esetén a nyomsűrűséget, a szárazanyagtartalmat, annak össz- alfa – aktivitását, illetve a vizek alfa – aktivitását. Igyekeztem valamilyen megállapítást tenni ezek kapcsolatára vonatkozóan.

A 13. és a 14. táblázat adataiból kiderül - , ha figyelembe vesszük, hogy a felszín alatti víz akkor mondható radioaktívnak, ha benne a radontartalom literenként 1000 Bq – az általam vizsgált vizek nagy része nem tartozik a radioaktív vizek körébe.

13. táblázat. Hévízmintákra kapott eredmények összefoglalása
(Szabolcs-Szatmár-Bereg-megye)

<i>Hévízkút helye</i>	<i>Expozi- ciós idő (10⁶) s</i>	<i>Nyomsűrűség (α nyom/cm²)</i>	<i>Szárazanyag össz-α-akt. (Bq/kg)</i>	<i>Vízminta össz-α-akt. (Bq/m³)</i>	<i>Víz- hőmérsék- let (°C)</i>
Baktalórántháza Fürdő	10.70	150 $\pm$ 15	16.1 $\pm$ 1.6	9.6 $\pm$ 1.1	45
Fehérgyarmat Fürdő	13.00	452 $\pm$ 20	40.0 $\pm$ 1.7	66.6 $\pm$ 4.4	47
Gemzse	23.00	310 $\pm$ 18	15.5 $\pm$ 0.9	12.3 $\pm$ 0.9	52
Gergelyugornya Fürdő	13.00	566 $\pm$ 25	50.0 $\pm$ 2.2	309.2 $\pm$ 20.8	54
Kisvárdá II.	8.24	760 $\pm$ 28	104.9 $\pm$ 4.0	157.7 $\pm$ 9.9	42
Kisvárdá IV.	8.24	277 $\pm$ 18	38.7 $\pm$ 2.5	75.9 $\pm$ 6.2	43
Mátészalka	4.23	132 $\pm$ 12	35.7 $\pm$ 3.2	27.5 $\pm$ 2.8	58
Nagykálló	13.00	577 $\pm$ 24	51.0 $\pm$ 2.2	126.6 $\pm$ 8.3	43
Nyírbátor	13.60	443 $\pm$ 88	37.4 $\pm$ 1.9	40.9 $\pm$ 2.9	52
Nyíregyháza Kórház	8.90	317 $\pm$ 21	41.0 $\pm$ 2.7	86.1 $\pm$ 7.1	48
Nyíregyháza Sóstó I.	8.90	600 $\pm$ 25	77.6 $\pm$ 3.3	243.0 $\pm$ 16.0	50
Nyíregyháza Sóstó III.	8.38	160 $\pm$ 15	22.0 $\pm$ 2.1	33.0 $\pm$ 3.5	39
Nyíregyháza Uszoda	13.00	45 $\pm$ 8	4.0 $\pm$ 0.7	4.86 $\pm$ 0.8	48
Nyh. Júlia Fürdő	13.00	810 $\pm$ 29	71.6 $\pm$ 2.6	372.3 $\pm$ 23.0	48
Tiszavasvári Fürdő	8.38	1107 $\pm$ 33	150.0 $\pm$ 4.6	1552.2 $\pm$ 91	67

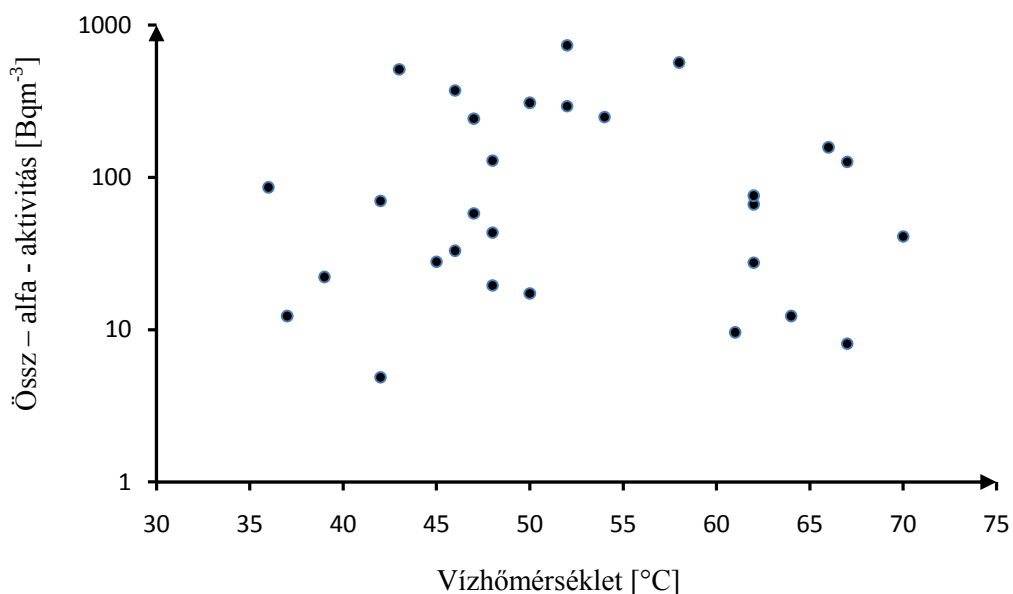
14. táblázat. Hévízmintákra kapott eredmények összefoglalása
(Hajdú-Bihar-megye)

<i>Hévízkút helye</i>	<i>Expozi- ciós idő (10⁶) s</i>	<i>Nyomsűrűség (α nyom/cm²)</i>	<i>Szárazanyag össz-α-akt. (Bq/kg)</i>	<i>Vízminta össz- α-akt. (Bq/m³)</i>	<i>Víz- hőmérsék- let (°C)</i>
Balmazújváros a.	5.79	67 $\pm$ 9	13.4 $\pm$ 1.9	27.9 $\pm$ 4.2	37
Balmazújváros b.	5.53	114 $\pm$ 12	23.6 $\pm$ 2.5	58.1 $\pm$ 6.7	61
Debrecen 1.	8.38	472 $\pm$ 23	64.7 $\pm$ 3.2	294.0 $\pm$ 20.6	62
Debrecen a.	5.53	246 $\pm$ 17	51.2 $\pm$ 3.5	249.2 $\pm$ 21.0	64
Debr. Nagyerdő	8.64	193 $\pm$ 15	25.9 $\pm$ 2.0	70.0 $\pm$ 6.6	50
Földes	15.55	4468 $\pm$ 67	330.0 $\pm$ 4.9	4192.7 $\pm$ 219.0	66
Hajdúböszörmény	5.79	304 $\pm$ 18	60.3 $\pm$ 3.5	568.6 $\pm$ 43.5	62
Hajdúdorog	8.38	763 $\pm$ 27	106.0 $\pm$ 3.7	513.3 $\pm$ 31.3	62
Hajdúnánás	8.38	820 $\pm$ 29	113.0 $\pm$ 4.0	735.9 $\pm$ 45.3	67
Hajdúszoboszló a.	3.97	124 $\pm$ 12	31.3 $\pm$ 3.1	129.1 $\pm$ 14.4	70
Hajdúszoboszló b.	3.72	31 $\pm$ 8	9.5 $\pm$ 2.3	17.3 $\pm$ 4.3	36
Hajdúszoboszló c.	3.72	44 $\pm$ 8	13.5 $\pm$ 2.5	22.2 $\pm$ 4.3	47
Hajdúszoboszló 2a.	13.00	202 $\pm$ 18	17.9 $\pm$ 1.6	43.4 $\pm$ 4.5	46
Kerekestelep	5.39	68 $\pm$ 8	14.6 $\pm$ 1.6	19.5 $\pm$ 2.4	42
Nagyrábé	13.00	90 $\pm$ 16	8.0 $\pm$ 1.4	8.1 $\pm$ 1.5	46
Nádudvar	13.00	62 $\pm$ 12	5.5 $\pm$ 1.1	12.3 $\pm$ 2.5	46

IV.1.2.1. Az össz – alfa - aktivitás a hévizek hőmérsékletének függvényében

Ezt a kapcsolatot mutatja a 26. ábra, mely szerint matematikai összefüggés nem áll fenn a vízhőmérséklet és az alfa-aktivitás között. Azonos hőmérséklethez több aktivitáskoncentráció is tartozik. Pl. 48 °C – hoz 86.1 Bq/m³, 372.3 Bq/m³, illetve 4.9 Bq/m³, vagy 67 °C – hoz 1552.2 Bq/m³ és 735.9

Bq/m³. A vizsgált hévizek közül 66 °C – nál volt a víz alfa – aktivitása a legmagasabb. Ezt a vizet Földesről gyűjtöttem, aktivitása 4192.7 Bq/m³ volt. Ez nem szerepel a grafikonon, de a 13. táblázatban igen. Megfigyelhető még az is, hogy a magasabb hőmérsékletű vizek között van olyan, melynek alfa – aktivitása kisebb, mint az alacsonyabb hőmérsékletűeké. Ez vonatkozik a 60 -70°C hőmérsékletű vizekre, melyek össz – alfa – radioaktivitása megközelíti a 35 – 50 °C hőmérsékletű vizekét.



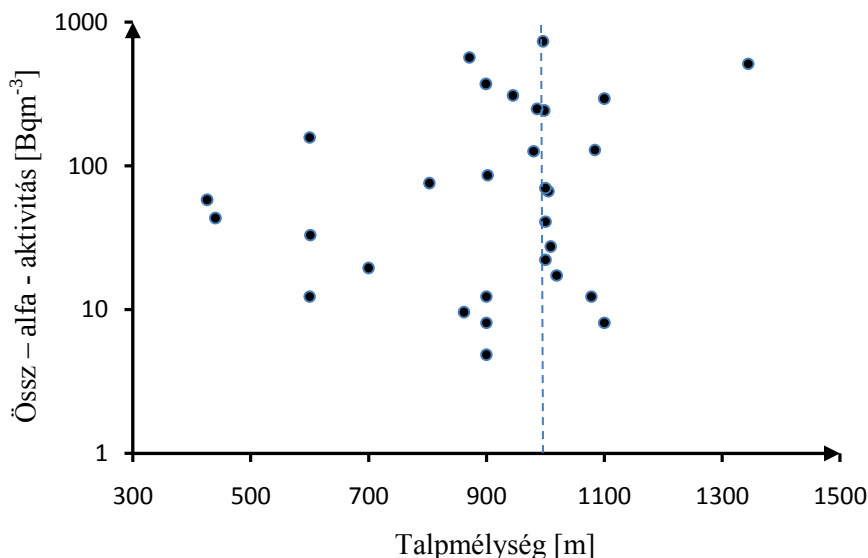
26. ábra. Az össz – alfa – radioaktivitás a hőmérséklet függvényében

IV.1.2.2. Az össz-alfa-aktivitás a vizsgált kutak talpmélységének függvényében

A talpmélység és az össz – alfa- aktivitás között sem mutatkozik matematikai összefüggés. Több talpmélységhez közel azonos alfa - aktivitás tartozik. Mint ahogy a talpmélység – szárazanyagtartalom, a víz hőmérséklet – talpmélység grafikonoknál észlelhető volt, hogy az 1000 m körüli talpmélységnél többféle szárazanyagtartalom, illetve hőmérséklet fordult elő, ugyanúgy, ennél a talpmélységnél más - más aktivitás érték adódott. Pl. Gemzse

1078 m-nél 52 °C - nál 12.3 Bq/m³, Mátészalka 1009 m-nél, 58 °C – nál 27.5 Bq/m³, Debrecen 1000 m – nél 64 °C – nál, 249.1 Bq/m³, stb.

Bizonyos kutak vizénél a talpmélység növekedésével növekszik az össz –alfa-aktivitás is. Ilyenek pl. Baktalórántháza, Gergelyugornya, Nyíregyháza Júlia –fürdő, Hajdúböszörmény, Hajdúnánás, Tiszavasvári, Földes.

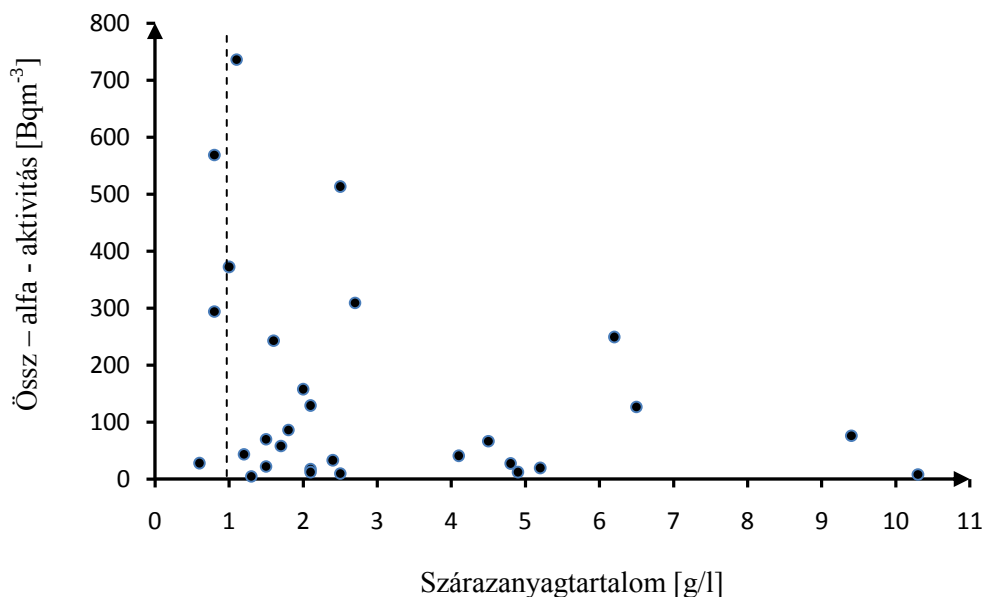


27. ábra. Az össz – alfa – radioaktivitás a talpmélység függvényében

IV.1.2.3. Össz – alfa – radioaktivitás kapcsolata a vízminta szárazanyagtartalmával

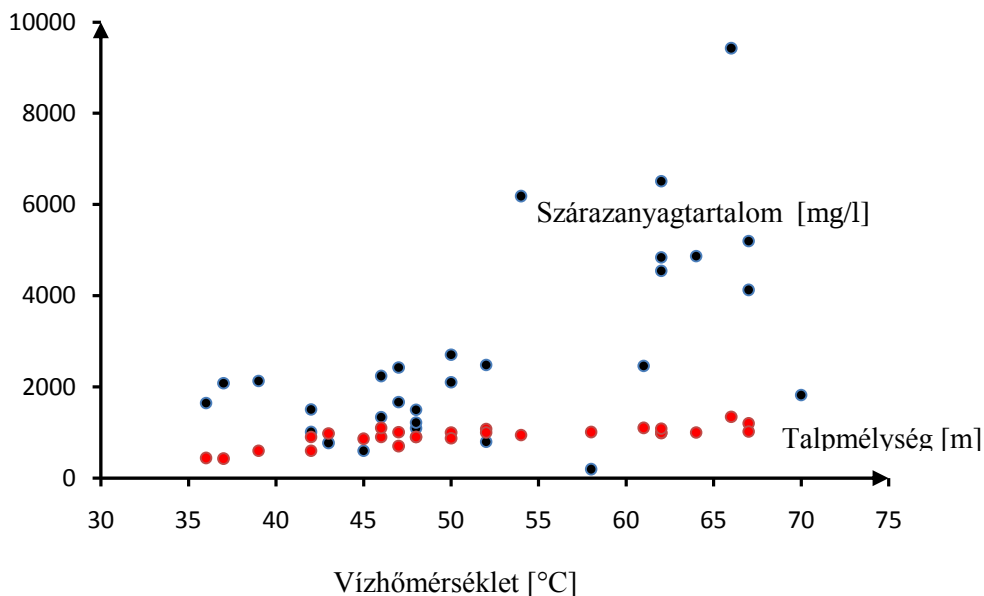
Az össz – alfa – aktivitás és a szárazanyagtartalom közötti összefüggést mutatja a 28. ábra. Jól látszik a grafikonról, hogy növekvő szárazanyagtartalom esetén az alfa – aktivitás is növekszik. Ez azzal magyarázható, ha nagyobb radioaktivitású kőzeteken jött keresztül a felszín alatti víz, akkor az jelentős mennyiségű oldott radioizotópot hozhatott magával. A vizsgált vízminták aktivitása zömében 300 Bq/m³ alatt van. Előfordul több olyan vízminta, amelyeknél közel azonos szárazanyagtartalomhoz különböző aktivitás párosul. Pl. Hajdúböszörmény, Hajdúdorog, Hajdúnánás.

Két kiemelkedő értéket kaptam, egyik Földes, ahol a szárazanyagtartalom 12.7 g/l, az aktivitás 4193 Bq/m³ volt, a másik Tiszavasvári. Itt a szárazanyagtartalom 10.3 g/l, az aktivitás 1552 Bq/m³ volt. A grafikonok készítésénél ezt a két hévízkutat több alkalommal figyelmen kívül hagytam, mert az egységek felvételénél kedvezőtlen lett volna, a grafikon kiértékelését pedig lényegesen nem befolyásolta.



28. ábra. Össz – alfa – aktivitás a szárazanyagtartalom függvényében

IV.1.2.4. A vízhőmérséklet, a szárazanyagtartalom és a hévízkutak talpmélységének összefüggése



29. ábra. Vízhőmérséklet függvényében a talpmélység, a szárazanyagtartalom

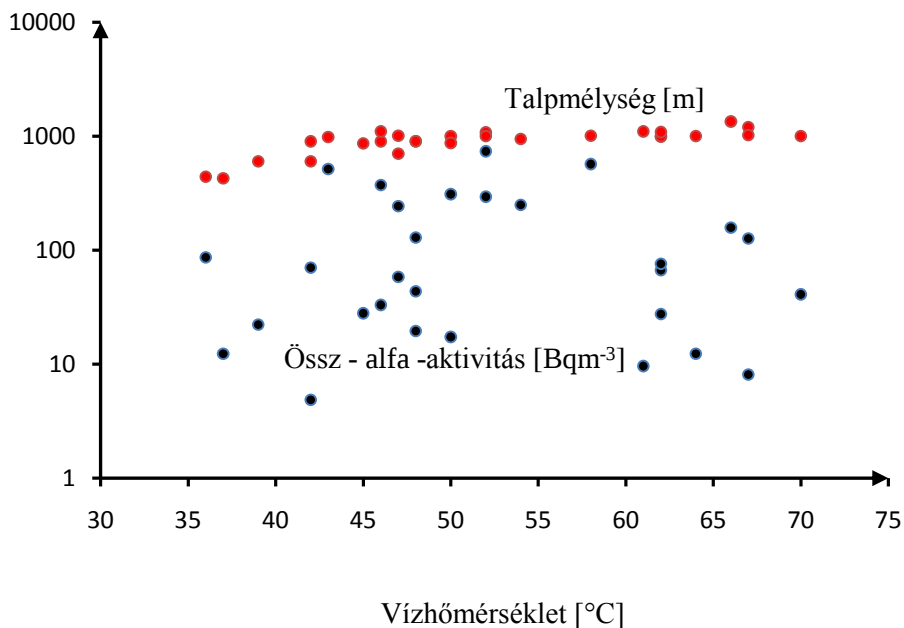
A 29. ábra összefoglalja a vízhőmérséklet, a szárazanyagtartalom és a hévízkutak talpmélységének kapcsolatát. Leolvasható, hogy ha magasabb a vízhőmérséklet, növekszik a szárazanyagtartalom, a talpmélység viszont közel azonos.

A 30. ábrán összekapcsoltam a vízhőmérsékletet, a talpmélységet és az össz – alfa- radioaktivitást. Általában növekvő vízhőmérséklethez növekvő össz – alfa- aktivitás tartozik, szinte változatlan talpmélységnél.

A 31. ábra szemlélteti a vízhőmérséklet, az össz – alfa- radioaktivitás és a szárazanyagtartalom közti összefüggést. 60 °C és 70 °C közötti hőmérsékletnél a szárazanyagtartalom a legnagyobb, ugyanakkor az aktivitás változó.

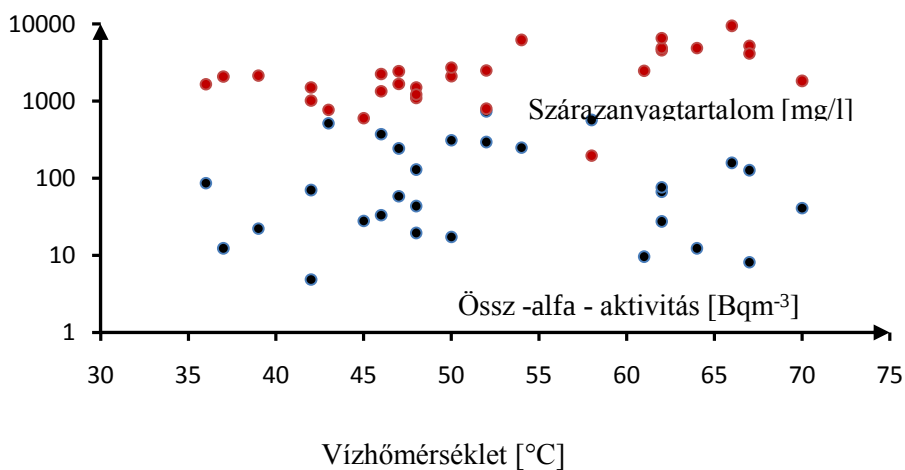
35 °C és 50 °C között közel ugyanakkora szárazanyagtartalomnál az aktivitás kismértékben változik.

IV.1.2.5. A vízhőmérséklet, az össz – alfa - aktivitás és a hévízkutak talpmélységének összefüggése



30. ábra. Vízhőmérséklet függvényében a talpmélység és az össz- alfa-radioaktivitás

IV.1.2.6. A vízhőmérséklet, az össz – alfa - aktivitás és a szárazanyagtartalom összefüggése



31. ábra. A vízhőmérséklet, az össz – alfa-radioaktivitás és a szárazanyagtartalom

IV.2. A RADON GÁZ ÚTJÁNAK VIZSGÁLATI EREDMÉNYEI

Az általam vizsgált fürdőkben is, mint a világ és Magyarország sok más helyén, alkalmaznak gyógyfürdő terápiát és ivókúrát különböző betegségek kezelésére. A kezelések által kiváltott jótékony hatások rendkívül sok tényező eredményei. Ezeket a hatásokat befolyásolják pl. a termálvíz és a gyógyiszap fizikai és kémiai tulajdonságai, amelyekhez szervesen hozzátartozik a radioaktív izotóptartalom is. Meghatározóak továbbá a fürdőhely klimatikus viszonyai, amelyekben szintén szerepet játszik a levegőben lévő radioizotópok hatása. Megbízható tudományos eredmények, amelyek akár a fürdöket ellátó "forrásokban", akár a fürdőhelyek légtérében jelenlévő radioaktív izotópok közvetlen pozitív vagy negatív hatásait egyértelműen ki tudták volna mutatni a legutóbbi időkig nem ismeretesek.

IV.2.1. Az egri Termálfürdőben és a Török fürdőben végzett mérések eredményei



32. ábra. Török fürdő, ahonnan a vízmintát gyűjtöttük

A 32. ábrán látható helyiségben gyűjtöttük a vizet. A radon gáz a víz alól a csempék közötti réseken áramlik fel. A természetes szellőzést az ablak biztosítja.

A medence több helyéről valók a vízminták.

A 15. táblázat tartalmazza a mérési eredményeket.

15. táblázat. A Termálfürdőben és a Török fürdőben mért oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció

<i>A mintavétel helye</i>		<i>Oldott ^{222}Rn- aktivitáskoncentráció [kBqm⁻³]</i>	<i>Oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció [kBqm⁻³] Átlagérték</i>
Török fürdő <i>Tükör medence</i> lépcsőlejárattal mellett		75.6 ± 4.4 72.8 ± 4.3 74.3 ± 4.4	74.3 ± 4.0
Török fürdő <i>Török medence</i>	Egyik lépcsőnél Másik lépcsőnél Középen	84.9 ± 5.1 84.8 ± 4.9 83.8 ± 4.8	84.5 ± 4.5
Termálfürdő <i>I.sz. medence</i> források felőli vége	Fürdőépület felőli lépcsőnél Ellenkező oldali lépcsőnél	47.1 ± 2.8 48.3 ± 2.9 56.5 ± 3.3	47.7 ± 2.6 -
Termálfürdő <i>II.sz. gyermek- medence</i> lépcső felőli o.	Fürdőépületnél Középen Lépcsőlejárattal	62.5 ± 3.8 44.0 ± 2.6 43.1 ± 2.6	-
Termálfürdő <i>III.sz. felnőtt- medence</i> befolyás felőli oldal	Fürdőépületnél Középen Lépcsőlejárattal	71.7 ± 4.2 64.7 ± 3.9 45.2 ± 2.7	-

A táblázat adatai arról tanúskodnak, hogy a Török medence vizének legmagasabb a radontartalma. Ez közel azonos a mások által korábban mért értékkel (28. oldal, 8. táblázat). Kávási Norbert PhD – dolgozatában foglalkozott hasonló mérésekkel [KÁ-06]. Eredményei a Függelék 1. mellékletben láthatók. Az ő mérési eredményei kicsit magasabbak az enyémenél.

IV.2.2. A Bárány uszoda I. sz. és II. sz. forrásvizének oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja

16. táblázat. A Bárány uszoda I. sz. és II. sz. forrásvizének oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja

<i>Mintavétel helye</i>	<i>Oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció [kBqm⁻³]</i>	<i>Oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció [kBqm⁻³] Átlagérték</i>
<i>I. sz. forrás, a medence végéhez közelebb</i>	83.8 ± 4.8 86.6 ± 4.9 76.1 ± 4.4	82.2 ± 5.5
<i>II. sz. forrás, a medence közepe táján</i>	102.0 ± 5,7 98.3 ± 5.5	100.1 ± 2.6

IV.2.3. A kórház központi gyógymedencéje vizének oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja

17. táblázat. A kórház központi gyógymedencéje vizének oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja

<i>A mintavétel helye</i>	<i>Oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció [kBqm⁻³]</i>	<i>Oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció [kBqm⁻³] Átlagérték</i>
<i>Török fürdő melletti kórházi épület központi gyógymedencéje, a medence alján a forrás fölött kb. 10- 20cm-rel</i>	68.2 ± 3.9 68.8 ± 3.9 72.0 ± 4.1 68.3 ± 3.9 75.3 ± 4.3	70.5 ± 3.1
<i>Kórházi épület központi gyógymedencéje, a medence pereme mentén kb. 10-20cm-rel a vízfelszín alatt</i>	63.3 ± 3.6 58.0 ± 3.4 62.6 ± 3.6 55.8 ± 3.3 61.2 ± 3.5	60.2 ± 3.2

IV.2.4. A nyíregyházi Júlia fürdő medencéinek oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja

18. táblázat. A nyíregyházi Júlia fürdő medencéinek oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja

<i>A mintavétel helye</i>		<i>Oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció $[\text{kBqm}^{-3}]$</i>	<i>Oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció $[\text{kBqm}^{-3}]$ Átlagérték</i>
<i>Mélyfürásból</i>		2.87 ± 0.17 2.88 ± 0.17 2.47 ± 0.15	2.75 ± 0.15
<i>10 m³ –es tartályból</i>			1.14 ± 0.09
<i>Szabadtéri ikermedence</i>			0.88 ± 0.08
<i>Úszómedence</i>	Beömlő nyílásnál	0.23 ± 0.05	0.21 ± 0.04
	Végén közén	0.19 ± 0.05	
<i>Termálmedence</i>			1.02 ± 0.11
<i>Hideg vizes medence</i>			3.00 ± 0.19
<i>Meleg vizes medence</i>	Étkező felőli lépcsőlejártnál	0.21 ± 0.05	0.22 ± 0.04
	Ellenkező oldali lépcsőlejártnál	0.23 ± 0.05	
<i>Gyermek medence</i>	Egyik széle	0.21 ± 0.05	0.19 ± 0.04
	Másik széle	0.17 ± 0.05	



33. ábra Júlia fürdő gyermek és meleg vizes medencéje

Mint a 18. táblázat mutatja, a vizsgált fürdők vizei közül a Júlia fürdő vizeinek radontartalma a legalacsonyabb.

IV.2.5. Miskolctapolca, Gyógy- és Barlangfürdő vizeinek oldott ^{222}Rn -aktivitáskoncentrációja

19. táblázat. Miskolctapolca, Gyógy- és Barlangfürdő vizeinek oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja

<i>A mintavétel helye</i>		<i>Oldott ^{222}Rn- aktivitás- koncentráció [kBqm⁻³]</i>	<i>Oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció [kBqm⁻³] Átlagérték</i>
<i>Forrás</i>		12.0 ± 0.7	11.70 ± 0.7
		10.9 ± 0.6	
		12.3 ± 0.7	
<i>I.sz. gyógymedence</i>	befolyó nyílásnál	0.4 ± 0.0	0.35 ± 0.0
	kifolyó nyílásnál	0.3 ± 0.0	
<i>II. sz. gyógymedence</i>	lépcsőnél	0.4 ± 0.0	0.45 ± 0.1
	középen	0.5 ± 0.1	
<i>Régi barlangi rész</i>	kifolyó nyílásnál	1.4 ± 0.1	1.80 ± 0.1
	dögönyöző medence	2.2. ± 0.1	
<i>Új barlangi rész</i>	kifolyó nyílásnál	1.1 ± 0.1	1.15 ± 0.1
	befolyó nyílásnál	1.2 ± 0.1	

A Miskolctapolcán és a nyíregyházi Júlia fürdőben lévő medencékben mért radontartalom jóval kisebb, mint az egri Török fürdő vizében mért értékek.

Magyarországon a felszín alatti vizek radioaktivitásának alsó határa 37 kBqm^{-3} ahhoz, hogy radioaktív víznek lehessen tekinteni, illetve gyógyvízzé lehessen nyilvánítani.

A vizsgált fürdők vizének radontartalma nem haladja meg ezt az értéket, kivéve az egri fürdők vizeit. A 6. táblázat arról árulkodik, hogy Svédországban a fűrt és ásott kutak radontartalma magas, Finnországban alacsonyabb. Szlovéniában alacsonyabb és magasabb radontartalmú termálvizek fordulnak elő.

Ha mérési eredményeimet összehasonlítom a régebbi mérések eredményével, illetve mások által mért adatokkal elmondható, hogy közel azonosak a mért aktivitások.

IV.2.6. A Török fürdőben végzett mérések eredményei

A radon - forrástól a medencéig tartó - útjának vizsgálatát az egri Török fürdőben lévő Török- és Tükör medencék vizében, valamint a medencéket tartalmazó helyiség légterében végeztük. A III. 3. 1. fejezetben leírt modellszámításokhoz felhasznált ^{222}Rn – aktivitáskoncentráció értékek saját mérési eredmények, míg a többi (ami az alábbiakban szerepel), a Sugár István által 1983-ban szerkesztett „Eger gyógyvizei és fürdői” [AG-83] című könyv megfelelő fejezeteiből valók. A modellszámítások a Tükör-forrásra és az azt tartalmazó helyiség légterére vonatkoznak.

$$C_m = 74 \text{ kBqm}^{-3},$$

$$C_f = 80 \text{ kBqm}^{-3},$$

$$C_g = 380 \text{ kBqm}^{-3},$$

$$C_l = 1780 \text{ Bqm}^{-3}$$

$$C_k = 220 \text{ Bqm}^{-3},$$

$$V_m = 13.5 \text{ m}^3,$$

$$A_m = 12.0 \text{ m}^2,$$

$$V_l = 80.0 \text{ m}^3,$$

$$q_f = 0.0100 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1},$$

$$q_g = 0.0001 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1},$$

$$q_{sz} = 0.050 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1},$$

$$k = 4.5 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1},$$

$$\lambda = 2.098 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1}.$$

$T = 31 \text{ }^\circ\text{C}$ (a medence vizének hőmérséklete)

A jelölések értelmezése dolgozatomban 60. oldalán olvasható.

Megmértem a Török fürdő légtérének ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációját. Több helyen is kitétem a Radamon légtéri radondetektorokat, és az expozíciós idő eltelté után beszedtem azokat. A nyomdetektor lemezeket előhívtam, az ismertetett módon meghatároztam a nyomsűrűséget, illetve a ^{222}Rn aktivitáskoncentrációt. Kiszámoltam a radontól származó sugárterhelést.

A munkahelyre vonatkozó ICRP dózis - konvekciós tényezőt:

$D = 7.9 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bqhm}^{-3}$ -nek, az egyensúlyi faktort 0.4-nek, a dolgozók munkahelyen történő tartózkodási idejét évente 2080 órának vettem. A mért koncentráció eredményeinek átlagát és a számolt sugárterhelés eredményét tartalmazza a 20. táblázat.

20.táblázat A Török fürdő légtérében mért ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció

<i>A mérés pontos helye</i>	<i>Átlagos ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció (Bqm^{-3})</i>	<i>Sugárterhelés (mSv/év)</i>
<i>Tükör medence, detektor az óra tetején</i>	1780 ± 80	11.7
<i>Pénztár, kulcsos szekrény teteje</i>	210 ± 10	1.38
<i>Öltöző, csőre felköve</i>	220 ± 10	1.44
<i>Nagy Török medence, falra feltéve</i>	690 ± 30	4.54

Mint ahogy a 15. táblázat adatai mutatják, a Török fürdő Tükör medencéjében a lépcsőlejárattal mellett a vízminta ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja 74 kBqm^{-3} , a Török medence vizének átlagos ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja pedig 85 kBqm^{-3} .

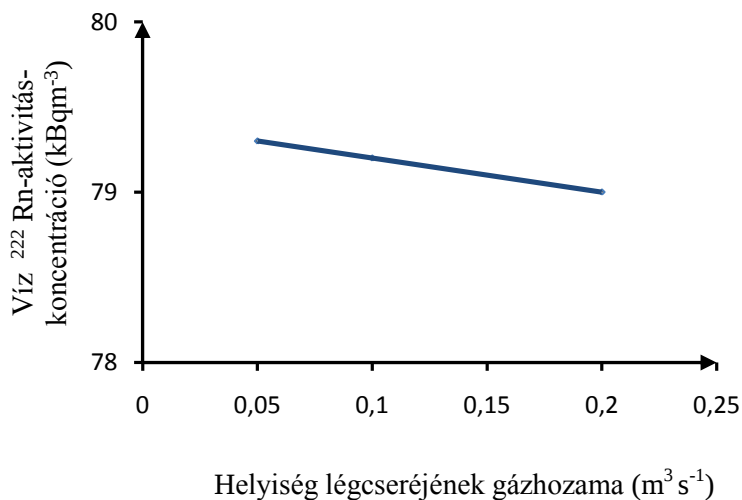
Amikor a Török fürdő medencéiből vettük a vízmintát, akkor azok teljesen fel voltak töltve. A források vízhozama másodpercenként 10 dm^3 , ehhez viszonyítva a medencék térfogata kicsinek mondható (13.5 m^3). Ezért feltételezhettük, hogy a medencék vizének radontartalma közel azonos a források vizének Rn - tartalmával. Így modellszámításainknál a források vizének ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációját 80 kBqm^{-3} - nek vettük.

Kapcsolatot kerestem modellszámításaink és méréseink alapján a szellőzés hozama és az aktivitáskoncentráció között. Számításaimnál a ^{222}Rn párolgási sebességét $4.5 \cdot 10^{-5} \text{ m s}^{-1}$ - nak vettem. A kétismeretlenes lineáris egyenletrendszer megoldva kaptam a medence vizére és a légtér radon-tartalmára a 21. táblázatban lévő értékeket.

21. táblázat. A helyiség légcseréje gázhozama, a légtér és a medence vizének Rn-aktivitáskoncentrációja

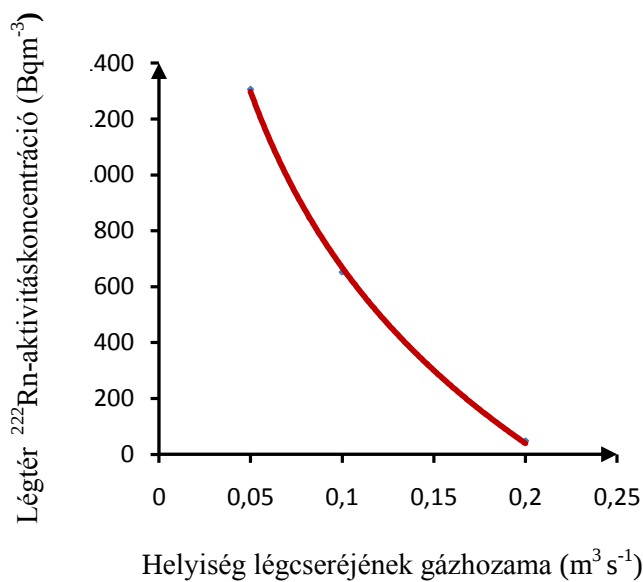
$q_{sz} (\text{m}^3 \text{s}^{-1})$	$C_l (\text{Bqm}^{-3})$	$C_m (\text{kBqm}^{-3})$
0.05	1306	79.3
0.10	652	79.2
0.15	238	79.1
0.20	48	79.0

IV.2.6.1. A medence vize ^{222}Rn - tartalmának változása a helyiség szellőzési hozamának függvényében



34.ábra. A helyiség légcseréjének gázhozama függvényében a légtér ^{222}Rn - tartalma

IV.2.6.2. A helyiség légcseréjének gázhozama függvényében a légtér ^{222}Rn - tartalma



34. ábra. A légtér ^{222}Rn - tartalmának változása a helyiség szellőzési hozamának függvényében.

A 34. és 35. ábráról leolvashatjuk, hogy a szellőzés intenzitásának növelésével a medence vizének ^{222}Rn aktivitáskoncentrációja alig változik, míg a légtér ^{222}Rn tartalma intenzíven csökken.

A légtér és a medence vizének ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációját befolyásolja a ^{222}Rn -nak a medencéből való párolgási sebessége.

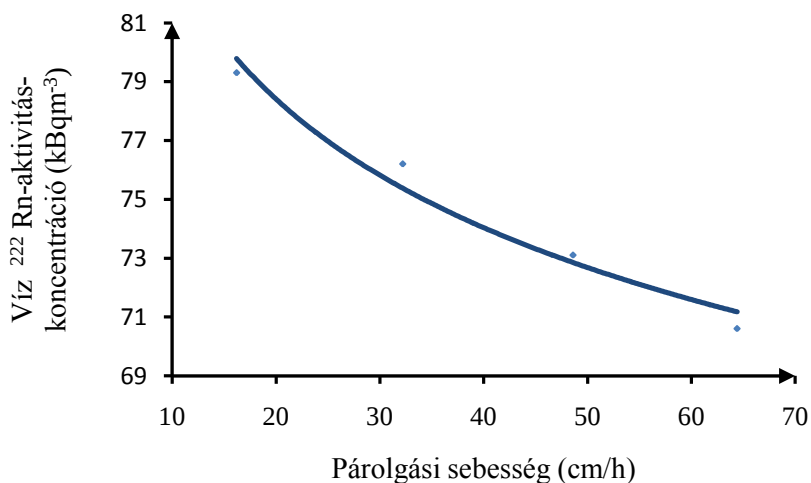
A fentebb említett két differenciálegyenlet (III. 3. 1. fejezet) stacionárius megoldásával kapott (a párolgási sebesség változtatásával) ^{222}Rn – aktivitáskoncentrációkat foglaltam össze a 22. táblázatban.

22. táblázat. A párolgási sebesség, a légtér és a medence vizének Rn - aktivitáskoncentrációja

k (cm/h)	$C_l (\text{kBqm}^{-3})$	$C_m (\text{kBqm}^{-3})$
16.2	1.02	79.3
32.2	1.76	76.2
48.6	2.38	73.1
64.4	2.84	70.6

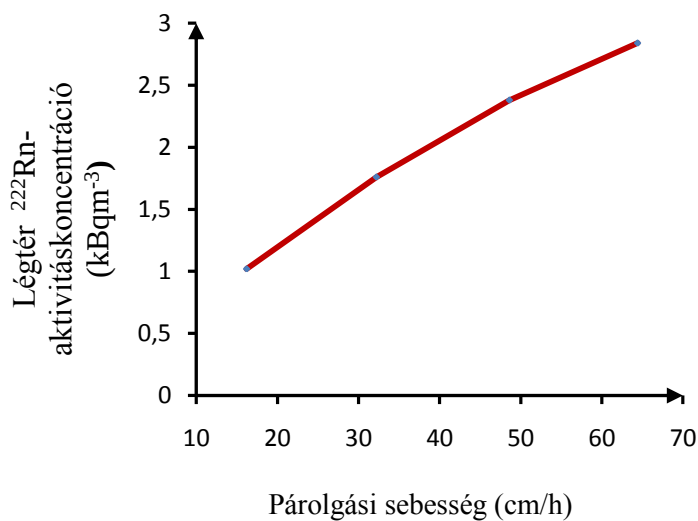
IV.2.6.3. A ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció változása a medence vizében a ^{222}Rn párolgási tényezőjének függvényében

$3 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ szellőzési hozammal számoltam, mert ekkora szellőzési hozamnál egyezett meg a helyiség légterében a számolt és mért ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció.



35. ábra. A ²²²Rn - aktivitáskonzentráció változása a medence vizében a ²²²Rn párolgási tényezőjének függvényében

IV.2.6.4. A ²²²Rn - aktivitáskonzentráció változása a helyiség légterében a ²²²Rn párolgási tényezőjének függvényében



36. ábra. A ²²²Rn - aktivitáskonzentráció változása a helyiség légterében a ²²²Rn párolgási tényezőjének függvényében

A 36. és 37. ábra azt mutatja, hogy viszonylag nagy intenzitású szellőzésnél nagymértékben csökkenhet a medence vizének ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja, ugyanakkor a légkör ^{222}Rn - tartalma jelentősen növekedhet, ha a víz keveredése intenzív. Ha azt szeretnénk, hogy a légtér radon tartalma ne változzon jelentős mértékben, akkor el kell kerülni a medence vizének nagymértékű keveredését. Mivel fürdőmedencéről van szó, ezért ez nehezen kivitelezhető a fürdővendégek állandó mozgása, lubickolása miatt. Így inkább az intenzívebb szellőztetés javasolható.

IV.2.7. A radon útjának vizsgálata a Hotel Flóra fürdőben



37. ábra. József – forrás (saját felvétel)

A József – forrásból és az általa táplált medencékből vettük a vízmintákat. Mérési eredményeinket mutatja a 23. táblázat. A radon útját vizsgáltuk a forrástól a medencéig.

23. táblázat. A Hotel Flóra szálloda fürdőmedencéi vizeinek és a József – forrás vizének radon tartalma

<i>A mintavétel helye</i>		<i>Oldott ^{222}Rn - aktivitás- koncentráció [kBqm⁻³]</i>	<i>Oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció [kBqm⁻³] Átlagérték</i>
<i>József-forrás</i> Gépházban a bejövő csőre szerelt csapból 3 minta		72.1 ± 4.2	67.2 ± 4.7
		62.7 ± 3.7	
		66.8 ± 3.9	
<i>Kisebbik medence</i>	vízbelépési hely	16.5 ± 0.9	-
	medence közepe	7.9 ± 0.4	-
<i>Nagyobbik medence</i>	1.vízbelépési hely	15.2 ± 0.8	-
	2.vízbelépési hely	9.1 ± 0.5	-
<i>Nagyobbik medence</i>	belső széle	8.6 ± 0.5	7.5 ± 1.1
	középen	6.4 ± 0.4	
	külső széle	7.3 ± 0.4	

A III. 3.3. fejezetben ismertetett modellszámításhoz szükséges differenciál egyenletrendszer megoldásánál a számolásokhoz az alábbi ismert értékeket használtam fel (a jelölések értelmezése a 65. oldalon található):

$$C_{be} = 67.2 \text{ kBqm}^{-3},$$

$$V_m = 76 \text{ m}^3,$$

$$A_m = 76 \text{ m}^2,$$

$$V_k = 14 \text{ m}^3,$$

$$\lambda = 2.098 \cdot 10^{-6} \text{ s}^{-1},$$

$$T = 31 \text{ }^\circ\text{C} \text{ (a medence vizének hőmérséklete),}$$

$$C_1 = 40 \text{ Bqm}^{-3},$$

$$q_{be} = 8 \text{ m}^3/\text{nap}$$

$$q_{cs} = 9.26 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$q_m = 51 \text{ m}^3/\text{nap}$$

$$q_k = 6.826 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$k = 2.5 \text{ cm/h}$$

A számításaimnál kapott párolgási sebesség, a medencék és a keverőtartály vizében oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció értékeket foglaltam össze a 24. táblázatban.

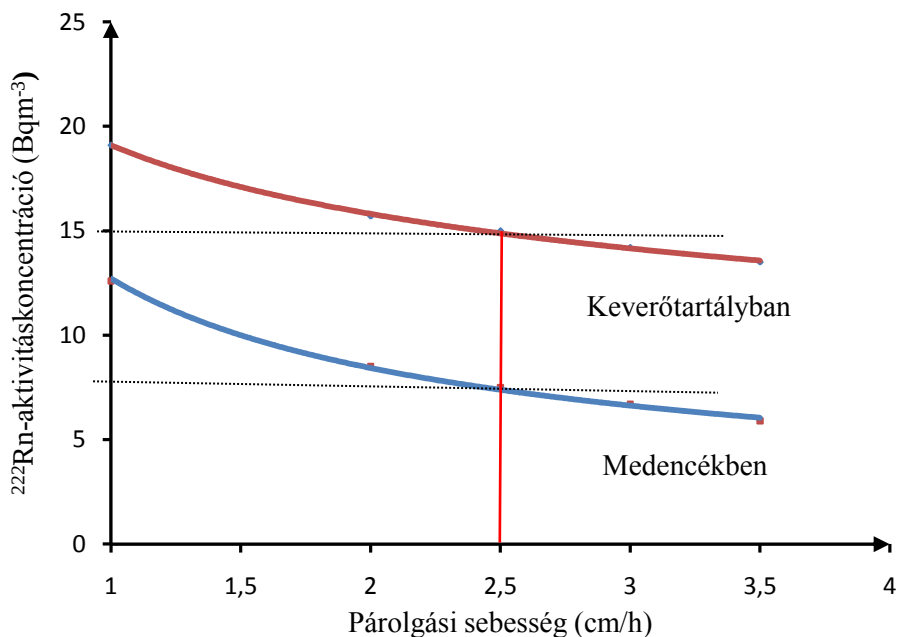
24. táblázat. A párolgási sebesség, a keverőtartály és a medencék vizében oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció értékek

k (cm/h)	C_k (kBqm ⁻³)	C_m (kBqm ⁻³)
1.0	19.1	12.6
2.0	15.7	8.5
2.5	14.8	7.5
3.0	14.2	6.7
3.5	13.5	5.9

IV.2.7.1. A párolgási sebesség, a keverőtartály és a medencék vizének ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja közötti összefüggés

A medencék vizének ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációját 7.5 kBqm⁻³-nek, míg a keverőtartályból a befolyókon át a medencébe érkező vizét pedig 15 kBqm⁻³ -nek mértük. Ezt jelöltem a grafikonon szaggatott vonallal. Ismeretlen paraméterként szerepelt a modellszámításunkban a medencékből a keverőtartályba visszaforgatott víz hozama. Ennek értékét úgy határoztuk meg, hogy a keverőtartályban lévő víz és a medencék vizében ugyanannál a párolgási sebességnél egyezzenek meg a mért és számított ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációk.

A visszaforgatási vízhozam így $51 \text{ m}^3 / \text{nap}$ lett. Mint ahogy látszik a 39. ábrán, a mért és számított radontartalom értékek a 2.5 cm/h párolgási sebességnél egyeznek meg.



39. ábra. A vízben oldott ^{222}Rn - aktivitáskonzentráció a medencék és a keverőtartály esetén a párolgási sebesség függvényében.

Vizsgáltam a keverőtartály és a medencék vizében oldott ^{222}Rn - aktivitáskonzentrációk változását a József forrásból való vízbetáplálás hozamának függvényében. Számításaimnak megfelelő eredményeket tartalmazza a 25. táblázat.

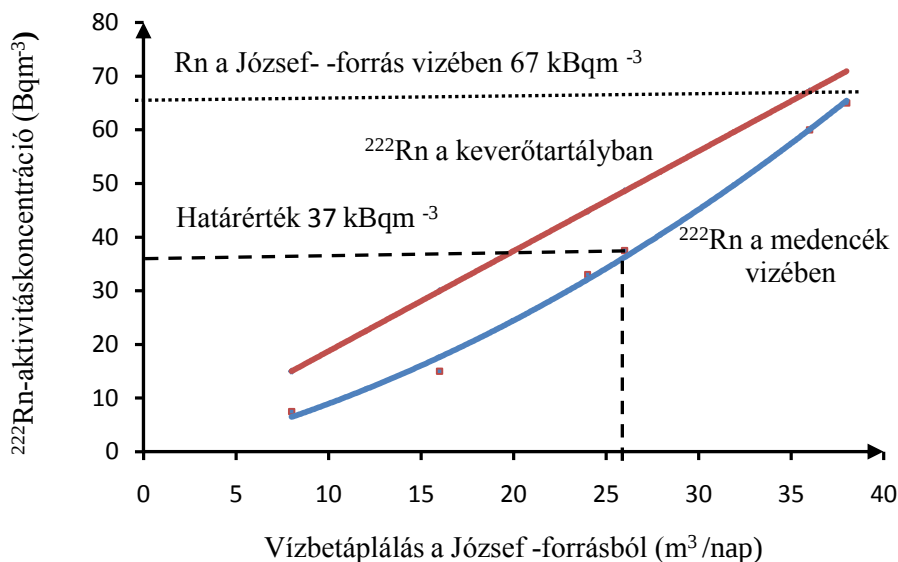
25. táblázat. A vízbetáplálás hozama, a keverőtartály és a medencék vizének oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációja

$q_{be} (\text{m}^3/\text{nap})$	$C_k (\text{kBqm}^{-3})$	$C_m (\text{kBqm}^{-3})$
8	15.0	7.5
16	30.0	15.0
24	44.8	33.0
26	48.6	37.5
36	67.2	60.0
38	71.0	65.0

IV.2.7.2. A medencék és a keverőtartály vizében oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció változása a József-forrásból való vízbetáplálás hozamának függvényében

A számítások azt mutatták, hogy kicsi betáplálási hozamnál a rendszerben viszonylag kicsi lesz a ^{222}Rn - aktivitáskoncentráció. Az is tapasztalható továbbá, hogy a 2.5 cm/h párolgási sebességnél a keverőtartály és a medencék vizében lévő oldott ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációk hányadosa független a betáplálás hozamától, ha az kismértékű. Ez a hányados kettő körüli értéknél van, az előbb említett esetekben. Ezt a hányadost a párolgási veszteségen kívül befolyásolja még nagymértékben a medencékből a keverőtartályba visszaforgatott víz hozama. Egyértelmű, hogy nagyobb vízbetáplálásnál a medencékben lévő víz radontartalma majdnem eléri a keverőtartály vizének radon tartalmát, illetve a keverőtartály és a medencék

vizének radon tartalma pedig megközelíti a József – forrás vizének ^{222}Rn - aktivitáskoncentrációját 40. ábra.



40. ábra. A medencék és a keverőtartály vizében oldott ^{222}Rn aktivitáskoncentrációk változása a József-forrásból való vízbetáplálás függvényében

Ha a medencék vizének ^{222}Rn aktivitáskoncentrációját 37 kBqm^{-3} határértéken szeretnénk tartani, akkor számításaim szerint a József-forrásból történő vízbetáplálási hozam legalább $26 \text{ m}^3/\text{nap}$ kell, hogy legyen.

A 37 kBqm^{-3} határérték azt jelenti, hogy a fürdő vize gyógyvíznek minősíthető.

V. ÖSSZEFOGLALÁS

A felszín alatti vizek radioaktivitása is hatással van az élő szervezetekre. Ezeknek a vizeknek a radioaktivitása nagyságrendnyi tartományban változik, radioaktivitásuk döntően a geológiai környezetben felvett radontól és rádiumtól származik. Ezen alfa-radioaktivitást is hordozó elemek meghatározásával foglalkoznunk kell. A ^{222}Rn és ^{226}Ra radioaktivitásukból adódóan még kis mennyiségben is könnyen mérhető radioizotópok, és ezért, mint nyomjelzők vesznek részt a felszín alatti vizek transzportfolyamataiban. A radon aktivitáskoncentráció vízmintákban történő egyszerű, megbízható mérésének nagy jelentősége van.

A természetes és az épített környezetben ki vagyunk téve különféle sugárzásnak, így a radon eredetű sugárzásnak is. Pihenésként, valamint gyógyászati célból megfordulunk gyógyfürdőkben, gyógyüdülőkben. Ezek levegője, vize tartalmaz ^{222}Rn -gázt. Ebből adódóan valamennyi sugárterhelés ér bennünket. Ennek becsléséhez nyomon kell követnünk a forrásokból a vízzel együtt kiáramló ^{222}Rn -gáz útját.

Célom az volt, hogy bemutassam a radon gáz mozgását a fürdölétesítmények víz- és gáztereiben, végigkövetve a radon útját a forrásoktól a kibocsátásokig. Összefoglaltam Szabolcs-Szatmár-Bereg-megye és Hajdú-Bihar megye hévízkútjainak ossza –alfa - radioaktivitását.

Értekezésem első részében irodalmi áttekintést adtam az élő szervezetet érő ionizáló sugárzás hatásairól, a radon gáz keletkezéséről és tulajdonságairól, a hazai és néhány külföldi hévíz radioaktivitásáról. Majd bemutattam a mérési helyeket földrajzi és szakmai szempontból. Ezt követte a mérési módszerek ismertetése: Hévizek alfa-radioaktivitásának vizsgálata szilárdtest-nyomdetektorral, Török fürdő, Bárány uszoda, Török fürdő mellett lévő kórházi épület központi gyógymedencéje, Nyíregyházi Júlia fürdő medencéi, Miskolctapolca, Gyógy- és Barlangfürdő vizei, Hotel Flóra szálloda fürdőmedencéi vizei ^{222}Rn tartalmának meghatározása.

Dolgozatom további részében összefoglaltam eredményeimet.

A megvizsgált 31 db. vízminta össz – alfa - radioaktivitása általában megközelíti a mások által mért értékeket. Méréseim kiértékelésekor nem találtam arányosságot a szárazanyag tartalom és az aktivitás, a hőmérséklet és az aktivitás között. Néhány esetben magasabb volt (Gergelyiugornya, Tiszavasvári, Földes) az össz – alfa - radioaktivitás, ami újabb mérések végzését indokoltta teheti.

Összesen 22 mérési helyen mértem meg a fürdőmedencék és az azokat tápláló források vizének oldott ^{222}Rn aktivitáskoncentrációját. Az általam kapott eredmények megegyeznek vagy megközelítik az irodalmakban szereplő, mások által végzett mérések eredményét [AG-83, KÁ-06].

A Miskolctapolcán és a nyíregyházi Júlia fürdőben lévő medencékben mért radon tartalom jóval kisebb, mint az egri Török fürdő vizében mért értékek. A vizsgált vizek közül a Török fürdő vizei, illetve a Bárány fürdő vizei az igen erősen radioaktív vizek csoportjába tartoznak, Miskolctapolca fürdőmedencéinek vize az erősen radioaktív, míg Nyíregyháza Júlia fürdő medencéinek vize a közepesen erősen radioaktív csoportba sorolható.

Folyamatos mérésekkel ellenőrizni lehetne, hogy ezek az értékek hosszútávon mekkora sugárterhelést okoznak a fürdőzőkre és a dolgozókra nézve. Ilyen méréseket már végzett [AG-83, KÁ-06, SO-04]. A Török fürdő kültéri medencéi a fedett részen lévő Tükör és Török medencék vizeiből táplálkoznak. Méréseink szerint ezekben a kültéri medencékben a radon tartalom nem egyenletes. Azt tapasztaltuk, hogy a vízbetáplálás helyétől kezdve a víz kifolyási helye felé haladva folyamatosan csökken a radon koncentrációja. Ezt a csökkenést a radonnak a vízből való párolgásával hoztuk összefüggésbe. Ha nő a radon vízből történő párolgásának sebessége, akkor nő a légtér radon tartalma, ugyanakkor a vízé csökken. Mérési eredményeink azt mutatják, hogy mindkét külső medencében a vízbepárolgási helyen a medencék vizének radon tartalma hasonló arányban kisebb, mint az azokat tápláló benti medencék vizének radon tartalma. A csökkenés

azzal magyarázható, hogy a kinti medencék vize a betáplálási helyeken is keveredik a medence többi részének vizével.

A Hotel Flóra szálloda medencéinek vizeiben végzett méréseknél azt tapasztaltam, hogy a medencéket tápláló József forrás vizének oldott ^{222}Rn aktivitáskoncentrációja jóval nagyobb, mint a medencék vizének radon tartalma. A kompartment - modellre elvégzett modellszámítások és mérési eredmények alapján azt kaptam, hogy ha a radon vízből történő párolgásának sebessége 2.5 cm/h, akkor a mért és számított radonkoncentrációk megegyeznek a medencékre és a keverőtartályra vonatkozóan.

A modellszámításoknál kapcsolatot kerestem a József-forrásból való vízbetáplálás és a ^{222}Rn aktivitáskoncentrációk között. Itt arra a következtetésre jutottam, hogy ha növeljük a vízbetáplálás mértékét, akkor növekszik a medencék és a keverőtartály radon tartalma, és mindkettő megközelíti a József forrás vizének radon tartalmát.

Ezzel a modellszámítással kiszámítható, hogy ahhoz, hogy gyógyvízzé nyilvánítható legyen a fürdők medencéinek vize mekkora legyen a vízbetáplálás mértéke. Ehhez a víz radon koncentrációjának 37 kBqm^{-3} – nek kell lennie.

A török fürdő légterében mért radonkoncentráció figyelembevételével az évi sugárterhelésre 1.38 mSv és 18.7 mSv közötti értékeket kaptam.

Magyarországon egyetlen évben sem lehet több az effektív dózis 50 mSv/év értéknél levegőben. A dózisbecsléshez szükséges egyensúlyi faktorra és dóziskonverziós tényezőre vonatkozó szabályok nincsenek.

Az ajánlott 0.4-es egyensúlyi faktorial és a $7.9 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bqhm}^{-3}$ (ICRP által javasolt) dóziskonverziós tényezővel számolva 1000 Bq/m^3 – es radonkoncentráció évi 6.3 mSv sugárterhelést jelent.

Ezek alapján elmondhatom, hogy a Török fürdő dolgozói nincsenek magas sugárterhelésnek kitéve.

Nem tudok róla, hogy ilyen mérésekhez ilyen modellszámításokat mások végeztek volna. Ugyanakkor a modell jóságát bizonyítja a mért és számolt eredmények azonossága.

VI. SUMMARY

The radioactivity of sub-surface waters has an effect on living beings. The radioactivity of these waters varies within a certain order of magnitude and originates from radon and radium absorbed in the geological environment. The amount of these alpha-radioactive elements needs to be measured. The isotopes ^{222}Rn and ^{226}Ra are easily detected and measured due to their radioactivity and thus can be used as trackers when investigating the transport processes of sub-surface waters. The simple and reliable determination of the activity concentration of radon in water samples is of great importance.

Both in our natural and artificial environment we receive radiation from various sources, including radon and its daughter elements. We visit thermal baths and medical resorts both for recreational and medical purposes. The air and water in those places contains ^{222}Rn gas, and we receive a certain dose of radiation from it. To estimate this dose, we have to track the path the ^{222}Rn gas takes after it surfaces from a spring along with the water.

My goal was to demonstrate the movement of radon in the water- and gas volumes of bath facilities from the origin to the end. I point out the radiation paths which are the most important from the point of view of radiation protection and potential intervention possibilities.

I summarized the total alpha radioactivity of the hot springs in Szabolcs-Szatmár-Bereg and Hajdú-Bihar counties.

In the first part of my dissertation I reviewed the literature on the effects of ionizing radiation on living beings, on the production and properties of radon and on the radioactivity of thermal waters in and outside of Hungary. Then I described the geographical and physical features of my measurement locations. This was followed by the methodology of measurements of alpha radioactivity in thermal waters with solid state nuclear track detectors at various locations. I determined the ^{222}Rn content of the waters of the Turkish Bath, the Bárány Bath, the central thermal pool of the hospital building next to the Turkish Bath, the

Júlia Bath in Nyíregyháza, the thermal baths in Miskolctapolca and the baths in Hotel Flóra.

In the remaining part of my dissertation I summarized my results.

The total alpha radioactivity of the studied 31 water samples is usually close to the values measured by others. When evaluating my measurements I didn't see any proportionality between dry matter content and activity and temperature and activity, respectively. In a few cases the total alpha radioactivity was higher, which may make further measurements justified.

I measured the activity concentration of the dissolved ^{222}Rn concentration of the waters in baths and springs feeding them at 22 places. My results are consistent with those in the literature [AG-83, KÁ-06].

The radon content in the waters in Miskolctapolca and the Júlia Bath in Nyíregyháza is much smaller than that in the Turkish Bath in Eger. Out of the studied samples, the waters of the Turkish Bath and the Bárány Bath can be regarded as very intensely radioactive, those from Miskolctapolca as intensely radioactive, while those from the Júlia Bath in Nyíregyháza as moderately radioactive.

Continuous measurements could be performed to find out how much radiation the customers and the employees of those baths receive in the long run. Such measurements had been performed by [AG-83, KÁ-06, SO-04]. The outdoor pools of the Turkish Bath are fed from the indoor pools "Tükör" and "Török". According to our studies the radon content in these outdoor pools is not uniform. The radon concentration was seen to continuously decrease from the water feed-in point to the outflow point. This decrease is thought to be caused by radon emission from the water. If the radon emission rate increases, the radon content of air increases, while that of water decreases.

According to our measurements the radon content of both outdoor pools at the feed-in point is smaller by a similar amount than that of the indoor pools feeding them. The reason for the decrease is that the water coming from the indoor pools is mixing with the water already in the pool at the feed-in points too.

My measurements at the pools of Hotel Flóra indicated that the dissolved ^{222}Rn activity concentration of the water in the pools is much smaller than that of the József Spring feeding them. Based on calculations with the Compartment Model and the measurement results I deduced that if the rate of emission of radon from the water is 2.5 cm/h, the measured and calculated radon concentrations are in agreement for the pools and the mixing tank.

I tried to find a relationship between the feed-in rate from the József Spring and the ^{222}Rn activity concentrations using model calculations. I concluded that increasing the feed-in rate also increases the radon content of both the mixing tank and the pools, and their radon content will approach that of the spring.

The model enables us to calculate the required feed-in rate for the water in the pools to be considered medicinal water. For that, the radon activity concentration of the water needs to exceed 37 kBq m^{-3} .

Taking into account the radon concentration in the air over the pools in the Turkish Bath, the annual dose is estimated to be between 1.38 mSv and 18.7 mSv.

The effective dose limit in air in Hungary is 50 mSv/a in any year. There are no accepted calculation rules for the equilibrium factor and the dose conversion factor needed for accurate dose measurements.

Using the recommended equilibrium factor value 0.4 and the $7.9 \cdot 10^{-9} \text{ Sv/Bq h m}^{-3}$ (ICRP-recommended) value for the dose conversion factor, a radon concentration of 1000 Bq m^{-3} results in a dose of 6.3 mSv per year. This leads me to the conclusion that the radiation exposure of the employees of the Turkish Bath is not very high.

I don't know about such model calculations for similar measurements performed by others. On the other hand, the quality of the model is testified by the agreement between the calculated and measured results.

VII. IRODALOMJEGYZÉK

- [AG-83]: Agyagási D., Cornides I., Klev B., Papp K., Péczela Gy., Schener Gy., Suta., Sugár I: Eger Gyógyvizei és fürdői Eger Város Tanácsa V.B. Műszaki Osztálya és a Heves megyei Idegenforgalmi Hivatal kiadása, Eger, 1983
- [AK-88]: Akerblom G., Pettersson B. and Rosén B.: Radon from the ground. Handbook on investigation of the radon situation in areas before building, The Swedish Council for Building Research and the Swedish National Board for Housing, Building and Planning. Report R88: (1988), New revised edition, pp.1-159 (1990)
- [AK-96]: Akerblom G. and Lindgren J.: Mapping of ground water radon potencial. IAEA Technical Committee Meeting, Vienna, Austria, May 1996
- [AN-74]: Andrews J.N. and Wood D.F.: Radium-226, radon-222 and Lead-210 in Bath thermal springs compared with some environmental waters. Health Physics, Vol. 27, pp. 307-310, 1974
- [AS-80]: Asikainen M. and Kahlos H.: Natural radioactivity of drinking water in Finland. Health Physics, Vol. 39, pp. 77-83, 1980
- [BA-78]: Бабинец А. Е. , Марус В. И., Койнов И. М.: Минеральные и термальные воды, Советских Карпат, К. Наук. Думка, 157.с. 1978
- [BA-91]: Bacsó J., Hakl J., Hunyadi I., Mikó L., Tóth Sz. M., Uzonyi I., Varga K.: Hévizek össz – alfa – radioaktivitásának és kémiai elem tartalmának összehasonlító vizsgálata, XVI. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam Balatonkenese, Előadás és poszter kivonatok, 17.o. 1991
- [BA-01]: E. Baradács, I. Hunyadi, Z. Dezső, I. Csige and P. Szerbin: ^{226}Ra in geothermal and bottled mineral waters of Hungary, Radiation Measurements, 34 (1-6), 385-390, 2001
- [BA-02]: Baradács E., Hunyadi I., Csige I., Dezső Z.: Vízminták ^{226}Ra - és ^{222}Rn -tartalmának meghatározására szolgáló maratottnyom – detektoros eljárás kalibrálása, Magyar Kémiai Folyóirat, 108.évf. 2002. 9. sz.
- [BE-79]: Benedek-Literáthy: Vízhőiség-szabályozás a környezetvédelemben, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979
- [BE-88]: BEIR IV. Health Risks of Radon and Other Internally Deposited Alpha-Emitters. National Academy Press, Washington, D. C., 1988

[BE-79]: Benedek, Literáthy: Vízminőség-szabályozás a környezetvédelemben Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1979

[БИ-86]: С. П. Билак: Мынеральные воды Закарпатъя Львов, 1986

[BO-66]: Boczán B., Franyó F., Frits I., Láng S., Moldvay L., Pantó G., Rónai A., Stefanovics P.: Magyarázó Magyarország 200000-es földtani térképsorozatához M-34 Sátoraljaújhely, MÁFI Kiadványa, Bp. 1-199.o. 1966

[BO-82]: Borsy Z., Lóki J.: Nyíregyháza geomorfológiája ACTA 9. Földrajz 5-21.o. 1982

[BO-84]: Bossus D. A. W.: Radiation Protection Dosimetry 7, pp. 73-76 1984

[CA-00]: A. Cavallo: The Radon Equilibrium Factor and Comparative Dosimetry in Homes and Mines, Radiation Protection Dosimetry, 92, 295-298, 2000

[CO-87]: C.R. Cothorn, Jr.J.E. Smith: Environmental Radon, Environmental Science Research, Plenum Press, New York and London, 1987

[CSI-90]: Csige I.: Szilárdtest nyomdetektor technikai fejlesztése és alkalmazása az űr- és radon dozimetriában. Egyetemi doktori értekezés, Debrecen, 1990

[CSI-94]: Csige I., Hakl J., Hertelendi E. és Hunyadi I.: Radioaktivitás a légkörben és környezeti hatásai. Fejezetek a környezetfizikából. Szerk. Koltay E., pp. 70-105, Kézirat, KLTE-ATOMKI Közös Fizikai Tanszék, Debrecen, 1994

[CSI – 01]: Csige I. and Csegzi S.: The Radamon radon detector and example of application. Radiation Measurements. Vol 34/1-6, pp. 437-440, 2001

[CSI-05]: [Csige I.](#), [Baradács E.](#), [Varga K.](#): *A radon útja. (in Hung.)*

A Kárpát-medence ásványvizei. 2. Nemzetközi Tudományos Konferencia. Csíkszereda, Románia, 2005. július 29-31. Szerk.: Serban, V., Lányi Sz., Piebe P. etc. Csíkszereda, Miercurea Ciuc **0** (2005) 37- 42./ ATOMKI ref. code: **P18651. 0** citations.

[CSI-06].: [Csige I.](#), Lénárt L. , [Hakl J.](#) , [Baradács E.](#) , [Hunyadi I.](#), Szerbin P, Vaupotic J., [Varga K.](#) : *A ^{222}Rn -gáz útjának nyomon követése a forrásoktól a külső környezetbe való kibocsátásig gyógyfürdőben.*

Környezettudományi Konferencia közleményei. Kolozsvár, Románia, 2006. március 17-18. Szerk.: Mócsi I., Neda T. Kolozsvár, Scientia Kiadó, 2006, 275-281./0.000⁰;N

ATOMKI ref. code: **P19917. 0** citations.

[CSO-85]: Csongor É.: Radioaktivitás a természetben Fizikai Szemle, Bp. 17-20. o. 1985

[CZ-91]: Cziráky J.: Az országos jelentőségű magyar vidéki gyógyfürdők gyógyvizei balneotechnikai vizsgálatának fontosabb tapasztalatai, Magyar Hidrológiai Társaság kiadványa, Bp. 59-66.o. 1991

- [EC-97]: EC97,1997 Recommendation for the implementation of Title VII. of the European Basic Safety Standards concerning significant increases in exposure due to natural radiation sources. Radiation Protection 88. European Commission, Office for Official Publications of the European Commission. Radiation Protection Series. 1997
- [EI-87]: Eisenbud M.: Environmental radioactivity from natural, industrial, and military sources. Academic Press Inc. (London) Ltd., Third Edition 1987
- [FI-93]: Fizikai Szemle 1993/4. 162.o.
- [FL-75]: Fleischer R.L., P.B. Price, R.M.Walker: Nuclear tracks in solids, University of California Press, 1975
- [GU-92]: Gudzenko V.: Radon in subsurface water studies in Ozotopes of Noble Gases as Tracers in Environmental Studies, IAEA, Vienna, 249-262.o. 1992
- [HA-91]: Hakl J., et.al.: Radon permeability of foils measured by AANTD, Nucl. Tracks and Radiat, Meas. 19, 319-320.o. 1991
- [HA-95]: J. Hakl, I. Hunyadi, K.Varga, I.Csige: Determination of radon and radium content of water samples by SSNTD technique, Radiation Measurements, Vol 25, Nos 1-4, pp. 657-658, 1995
- [HA-96]: J. Hakl, I. Hunyadi, I. Csige, J. Somlai, G. Faludi, K. Varga: Determination of dissolved radon and radium content of water samples by track etch method, Environmental International, Vol. 22, Suppl. 1, pp. S315-S317 (1996)
- [Ha-97]: Hakl J., Hunyadi I., Csige I., Vásárhelyi A., Somlai J.: Vízminták rádium- és radonkoncentrációjának meghatározása nyomdetektoros módszerrel. Magyar Kémiai Folyóirat, 103. évf. 1997. 5. sz., 224-226
- [HÁ-06]: Hámori K.: Nukleáris mérés technika radioaktív gázok vizsgálatára Doktori (PhD) értekezés, Debrecen, 2006
- [HE-93]: Henshaw D. L., Perryman J., Keitch P. A., Allen J. E. and Camplin G. C.: Radon in domestic water supplies in the UK. Radiation Protection Dosimetry, 46, 4: 285-289,1993
- [HS-05]: H. Synnott, D. Fenton: An Evaluation of Radon Reference Levels and Radon Measurement Techbiques and Protocols is Europe Countries, European Radon Research and Industry Collaboration Concerted Action, European Commission Contract №: FIRI-CT 2001-2042, 2005
- [HU-99]: Hunyadi I., Csige I., Hakl J., Baradács E. and Dezső Z.: Temperature dependence of the calibration factor of radon and radium determination in water samples by SSNTD. Radiation Measurements 31, pp. 301-306, 1999
- [IB-96]: International Basic Safety Standards, Safety Series 115-I., Vienna: IAEA, 1996

- [ICRP-65]: ICRP Publication 65.; International Commission on Radiation Protection, Protection against ^{222}Rn at Home and at Work, Oxford, Pergamon Press, ICRP Publication №.65; 1994
- [JU-76]: Juhász J.: Hidrogeológia Akadémia Kiadó, Bp. 1976
- [JU-87]: Juhász Á.: Évmilliók emlékei Magyarország földtörténete és ásványkincsei Gondolat kiadó, Budapest, 1987.
- [KA-96]: Kanyár B., Somlai J., Szabó D. L.: Környezeti sugárzások, radioökológia, Veszprémi Egyetem, Radiokémia Tanszék, Veszprém, 1996
- [KA-00]: Kanyár B., Béres Cs., Somlai J., Szabó D. L.: Radioökológia és környezeti sugárvédelem, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 2000
- [KÁ-06]: Kávási N.: Az évi átlagos radon-koncentráció és a sugárterhelés meghatározása különböző munkaterületeken PhD-dolgozat, Veszprém, 2006
- [KÁ-06]: N. Kávási, T. Kovács, Cs. Németh, T. Szabó, Z. Gorjánác, A. Várhegyi, J. Hakl, J. Somlai: Difficulties in radon measurements at workplaces, Radiation Measurements, 41 (2), 229-234, 2006
- [KÁ-07]: Kávási N., Nagy K., Berhész I., Kovács T., Somlai J., Jobbágy V.: Radon az egri Török fürdőben, IV. Magyar Radon Fórum, Pannon Egyetem, pp. 121-126., 2007
- [KI-03]: Kiss Árpád Zoltán: Fejezetek a környezetfizikából Kossuth Egyetemi Kiadó, Debrecen, 2003
- [KI-75]: Kiss-Varga M.: Egyetemi doktori értekezés, Debrecen, 1975
- [KI-84]: Kiss D., Kajcsos Zs.: Nukleáris technika Tankönyvkiadó, Budapest, 1984
- [KL-91]: Klopp K-né: A hajdúszoboszlói termálkutak vízminősége Magyar Hidrológiai Társaság Kiadványa, Bp. 85-92. o. 1991
- [KO-87]: C.R. Cothorn, Jr. J. E. Smith: Environmental Radon, Environmental Science Research, Plenum Press, New York and London, 1987
- [KO-90]: Kobal I., Vaupotič J., Mitic D., Kristian J., Anicik M., Jerancic S. and Skofljanec M.: Natural radioactivity of fresh waters in Slovenia, Yugoslavia. Environmental International, Vol. 16, pp. 141-154, 1990
- [KÖ-99]: Köteles Gy., Tóth E.: Gondolatok Az ionizáló sugárzás kis dózisainak hatásáról, Fizikai Szemle, XLIX. Évf. 11., 394-400, 1999
- [KÖ-07]: A radon expozíció egészségi hatásairól. IV. Magyar Radon Fórum, Pannon Egyetem, pp. 9-17., 2007
- [KO-91]: Korim K.: A magyar balneológia hidrológiai alapjai, Magyar Hidrológiai Társaság kiadványa, Budapest, pp. 12. XXVII. SITH Kongresszus, Hajdúszoboszló, 1991. 09. 16-20.

- [LÉ-91]: Lénárt L., Hakl J., Hunyadi I., Orbán J.: A Miskolc-Tapolcai termálforrás vízszintjének, víz hőmérsékletének és radonkoncentrációjának változása, Magyar Hidrológiai Társaság kiadványa, Budapest, 131-136. o. 1991.
- [LI-80]: Littmark U., Ziegler J.F.: Handbook of range distribution for energetic ions, Vol.6., Pergamon Press, 1980
- [Ma-96]: Marovic G., Sencar J., Franic Z. and Lokobauer N.: Radium-226 in thermal and mineral springs of Croatia and associated health risk. Journal Environmental Radioactivity, Vol. 33, No. 3, pp. 309-317, (1996)
- [NA-89]: Nagy L. Gy.: Radiokémia és izotóptechnika, Tankönyvkiadó, Budapest, 1989
- [NA-91]: Magyarország termálvízkészletei Magyar Hidrológiai Társaság kiadványa, Budapest, 1991
- [NAÜ-96]: NAÜ Biztonsági Szabályzat, Biztonsági Sorozat, No. 115. (International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources, IAEA, Vienna, 1996), Magyar nyelvű fordítás, OAH, Budapest (1996)
- [PA-71]: Рабѣко Н. Ё. Николаенко Т. С.: Подземные воды Карпатской гидрогеологической складчатой области, Гидрогеология СССР. М. Недрa, Т. 5. С. 265-291. 1971
- [SC-57]: Schulhof Ödön: Magyarország ásvány és gyógyvizei Akadémiai Kiadó, Budapest, 1957.
- [SO-00]: Somlai J., Tarján S., Kanyár B.: Radioaktív sugárzások és környezetünk, Energia Klub Környezetvédelmi Egyesület, Budapest, 2000
- [SO-04]: Somlai János: A radon valamint anya és leányelemeitől származó sugárterhelés meghatározása, csökkentése Habilitációs értekezés, Veszprém, 2004
- [SO-73]: Somogyi György: Atomi részecskék nyomainak regisztrációja szilárd dielektrikumokban Kandidátusi értekezés Debrecen, 1973
- [SO-90]: Somogyi Gy.: Method for measuring radium isotopes: Track detection, Chapter3-8 in The Environmental Behaviour of Radium. Technical Report Series, No. 310, Vol.1, pp. 229-256. IAEA, Vienna, 1990
- [SZA-61]: Szalay S.: Vizsgálatok Kelet-Magyarország vizeinek radioaktivitásáról, Szalay Sándor összes művei 2. kötet 713-719. o. 1961
- [SZA-74]: Szabó Á.: A Hargita-megyei ásványvizek és mofettagázok radioaktivitásáról, Maros megyei Egészségügyi-Járványelleni Központ Sugárvédelmi Laboratóriumának közleménye 106-123.o., 1974
- [SZE-86]: Szerbin P. és Popov D. K.: Egyszerű módszerek környezeti minták Ra-224 (Th-228), Ra-226 és Ra-228 tartalmának mérése. Izotóptechnika, 29, 33, pp. 156-165 (1986)

- [SZE-94]: Szerbin P.: A Rudas-fürdő légterében mért radonkoncentráció sugáregészségügyi értékelése. Balneológia, Gyógyfürdőügy, Gyógyidegenforgalom, 1994; 1; pp. 13-22
- [SZE-96]: Szerbin P.: Natural radioactivity of certain spas and caves in Hungary. Environmental International, Vol 22 (1), pp. 389-398 (1996)
- [SZE-99]: Szerbin P. és Köteles Gy.: Az ivóvíz természetes radioaktivitásának felmérése. Egészségtudomány, 43, pp. 287-296 (1999)
- [SZÉ-58]: Szénási Gy.: Geofizikai tereptan Akadémiai Kiadó, Bp. 1958
- [TÓ-83]: Tóth Á.: A lakosság természetes sugárterhelése. Akadémiai Kiadó, Budapest (1983), pp. 171-172
- [TÓ-94]: Tóth E., Boros D., Samuelsson L., Deák F., Marx G., Sükösd Cs.: High radon activity in Northeast Hungary, Physica Scripta 50, pp. 726-730, 1994
- [UZ-05]: J.Uzan, Elbez, L. Rodríguez-rodrigo, M. T. Porfiri, N. Taylor, C. Gordon, P. Garin, J. P. Girard, EISS Team: Alara applied to ITER design and operation, Fusion Engineering and Design, 75-79, 1085-1089, 2005
- [VA-91]: Varga K., Hunyadi I., Tóth-Sz. M., Uzonyi I., Hakl J., Bacsó L., Mikó L.: Hévizek össz -alfa-radioaktivitásának és kémiai nyomelem tartalmának vizsgálata, Magyar Hidrológiai Társaság kiadványa, Bp. 145-150. o. 1991
- [VA-92]: K. Varga, I. Hunyadi, J. Hakl, I. Uzonyi, J. Bacsó and L. Mikó: Gross alpha radioactivity and chemical trace element content of thermal waters, Annual Report, Debrecen, 108-109. o. 1992
- [VA-92]: Varga K.: Hévizek komplex nukleáris vizsgálata MTA Szabolcs-Szatmár-Bereg-megyei Tudományos Testületének I. Tudományos ülése kiadványa, Nyíregyháza, 21-22. o. 1992.
- [VA-95]: K. Varga, I. Hunyadi, J. Hakl, I. Uzonyi, J. Bacsó: Gross alpha radioactivity and chemical trace element content of thermal waters measured by SSNTD and XRF methods, Radiation Measurements, Vol. 25. Nos 1-4 pp. 577-580, 1995
- [VI-77]: Magyarország hévízkútjai, A Vizgazdálkodási Tudományos Kutató Központ kiadványa, 1977
- [WE-91]: Weszelszki Gy.: Az ásványvizek radioaktivitásáról, Magyar Kémiai Folyóirat XXIII. 116-122. o. 1991

VIII. FÜGGELÉK

1. Melléklet

Egri Török fürdőben végzett mérések eredménye: [KÁ-06]

Mintavétel helye	Vízminta ^{222}Rn -koncentrációja (kBqm $^{-3}$)	Légtér ^{222}Rn -koncentrációja (Bqm $^{-3}$)
Tükör medence	110	553
Pezsgő medence	96	1512
Török medence	104	741
Meleg medence	7	223
József - forrás	91	-

Saját mérési eredményeimmel összehasonlítva elmondhatjuk, az én mérési eredményeim kisebbek, de nem számottevően.

Ha a táblázatban szereplő radonkoncentrációk segítségével kiszámítjuk az évi sugárterhelést a légtérre vonatkozóan, akkor 1.5 és 9.9 mSv/év értéket kapunk. Ezek sem haladják meg a megengedett sugárterhelés mértékét.

Mivel levegőben maximum 1000 kBqm $^{-3}$ a még elfogadható ^{222}Rn – koncentráció, ezért a Pezsgő medence légterében ajánlatos a szellőztetés mértékének növelése.

2. Melléklet

A légtér napi ^{222}Rn -koncentráció változása

Tapolcai Kórház – Barlang ^{222}Rn -koncentrációja	
8 – 12 h	10904 (Bqm ⁻³)
12 – 8 h	11533 (Bqm ⁻³)

Egri Török fürdő ^{222}Rn -koncentrációja	
8 – 12 h	281(Bqm ⁻³)
12 – 8 h	972 (Bqm ⁻³)

Mint a táblázatok adataiból is kitűnik, mindkét helyen a légtér ^{222}Rn -koncentrációja délutántól reggelig jóval magasabb volt, mint a délelőtti időszakban. Mivel éjszaka nem volt szellőztetve, ezért magasabbak a koncentráció értékei. Ez arra enged következtetni, hogy a szellőztetés nagyban befolyásolja a radontartalmat.

SAJÁT KÖZLEMÉNYEK

Közlemények, konferencia kiadványok:

1. Bacsó L., Hakl J., Hunyadi I., Mikó L., Tóth Szilágyi M., Uzonyi I., Varga K.: Hévizetek össz – alfa – radioaktivitásának és kémiai elem tartalmának összehasonlító vizsgálata, XVI. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Balatonkenese, Előadás és poszter kivonatok, 17.o. 1991
2. Varga K., Hunyadi I., Tóth Szilágyi M., Uzonyi I., Hakl J., Bacsó L., Mikó L.: Hévizetek össz – alfa – radioaktivitásának és kémiai nyomelem tartalmának vizsgálata, Nemzetközi Balneotechnikai Társaság (SITH) XXVII. Kongresszusa, Hajdúszoboszló, Magyar Hidrológiai Társaság Kiadványa, Bp. 145-150.o. 1992
3. Varga K., Hunyadi I., Mikó L.: Hévizetek komplex nukleáris analitikai vizsgálata, A MTA Szabolcs-Szatmár- Bereg Megyei Tudományos Testületének I. tudományos ülészakán elhangzott előadások összefoglalója, Nyíregyháza, 20-21.o. 1992
4. K. Varga, I. Hunyadi., J. Hakl., I. Uzonyi, J. Bacsó, L. Mikó: Gross alpha radioactivity and chemical trace element content of thermal waters, ATOMKI Annual Report, Debrecen, 108-109.o. 1992
5. Varga K.: Szilárdtest-nyomdetektorok alkalmazása a hévizetek alfa-radioaktivitásának meghatározásában
Természettudományi Közlemények, Nyíregyházi Főiskola TTFK, 2002
6. Varga Klára: A Szabolcs-Szatmár Bereg megyei termálvizek össz-alfa radioaktivitásának és oldott Ra-tartalmának mérése
Természettudományi Közlemények, Nyíregyházi Főiskola TTFK, 2002
7. [Csige I.](#), [Baradács E.](#), [Varga K.](#): *A radon útja. (in Hung.)*
A Kárpát-medence ásványvizei. 2. Nemzetközi Tudományos Konferencia. Csíkszereda, Románia, 2005. július 29-31. Szerk.: Serban, V., Lányi Sz., Piebe P. etc. Csíkszereda, Miercurea Ciuc **0** (2005) 37-42./ ATOMKI ref. code: **P18651. 0** citations.

8. [Csige I.](#), Lénárt L., [Hakl J.](#), [Baradács E.](#), [Hunyadi I.](#), Szerbin P, Vaupotic J., [Varga K.](#) : *A ^{222}Rn -gáz útjának nyomon követése a forrásoktól a külső környezetbe való kibocsátásig gyógyfürdőben.*
Környezettudományi Konferencia közleményei. Kolozsvár, Románia, 2006. március 17-18. Szerk.: Mócsi I., Néda T. Kolozsvár, Scientia Kiadó, 2006 275-281./0.000⁰;N, ATOMKI ref. code: **P19917. 0** citations.
9. Varga K.: Szilárdtest-nyomdetektor, mint nyomjelző
Műszaki Tudomány az Észak-alföldi régióban Nemzetközi Konferencia DAB Műszaki Szakbizottsága Konferencia előadásai 2010 Nyíregyháza, május 19. Konferencia kiadvány p. 105-110
ISBN 978-963-7064-24-1, www.mfk.unideb.hu/mszb/muszfuz

Megjelent fontosabb publikációk:

1. J. Hakl, I. Hunyadi, K. Varga and I. Csige: Determination of Radon and Radium Content of Water Samples by SSNTD Technique Radiation Measurements, Vol.25. Nos 1-4, pp.657-658, 1995
2. K. Varga, I. Hunyadi, J. Hakl, I. Uzonyi, J. Bacsó: Gross alpha radioactivity and chemical trace element content of thermal waters measured by SSNTD and XRF methods Radiation Measurements, Vol.25. Nos 1-4, pp.577-580, 1995
3. J. Hakl, I. Hunyadi, I. Csige, J. Somlai, G. Faludi and K. Varga
Determination of dissolved radon and radium content of water samples by etch method Environment International, vol. 22, Suppl. 1, pp.S315 – S317, 1996.

Fontosabb tudományos előadások:

1. Bacsó L., Hakl J., Hunyadi I., Mikó L., Tóth Szilágyi M., Uzonyi I., Varga K.: Hévizek össz – alfa – radioaktivitásának és kémiai elem tartalmának összehasonlító vizsgálata, XVI. Sugárvédelmi Továbbképző Tanfolyam, Balatonkenese, Előadás és poszter kivonatok, 17.o. 1991

2. Varga K., Hunyadi I., Tóth Szilágyi M., Uzonyi I., Hakl J., Bacsó L., Mikó L.: Hévizetek össz – alfa – radioaktivitásának és kémiai nyomelem tartalmának vizsgálata, Nemzetközi Balneotechnikai Társaság (SITH) XXVII. Kongresszusa, Hajdúszoboszló, Magyar Hidrológiai Társaság Kiadványa, Bp. 145-150.o. 1992
3. Varga K., Hunyadi I., Mikó L.: Hévizetek komplex nukleáris analitikai vizsgálata, A MTA Szabolcs-Szatmár- Bereg Megyei Tudományos Testületének I. tudományos ülészekán elhangzott előadások összefoglalója, Nyíregyháza, 20-21.o. 1992
4. K. Varga, I. Hunyadi, J. Hakl, I. Uzonyi, J. Bacsó, L. Mikó: Gross alpha radioactivity and chemical trace element content of thermal waters, ATOMKI Annual Report, Debrecen, 108-109.o. 1992
5. K. Varga, I. Hunyadi, J. Hakl, I. Uzonyi, J. Bacsó: Gross alpha radioactivity and chemical trace element content of thermal waters measured by SSNTD and XRF methods, Contribution to the 17 th Int. Conf. on Nuclear Track in Solids, Dubna, 1994
6. 2006. [Csige I.](#), [Baradács E.](#), [Varga K.](#) : *A radon útja. (in Hung.)*
A Kárpát-medence ásványvizei. 2. Nemzetközi Tudományos Konferencia. Csíkszereda, Románia, 2005.
7. [Csige I.](#), Lénárt L., [Hakl J.](#), [Baradács E.](#) [Hunyadi I.](#) Szerbin P., Vaupotic J., [Varga K.](#) : *A ^{222}Rn -gáz útjának nyomon követése a forrásoktól a külső környezetbe való kibocsátásig gyógyfürdőben.*
Környezettudományi Konferencia, Kolozsvár, Románia, 2006
8. Varga Klára: Szilárdtest-nyomdetektor, mint nyomjelző
Műszaki Tudomány az Észak-alföldi régióban Nemzetközi Konferencia
DAB Műszaki Szakbizottsága Konferencia, Nyíregyháza, 2010
9. Varga K., Csige I.: A ^{222}Rn -gáz transzportja egy vízforgató típusú fürdőmedencében, VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Nemzetközi Konferencia, Nyíregyháza, 2010

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Dr. Csige Istvánnak, hogy lehetővé tette a dolgozatomban szereplő kutatási programok elvégzését és, hogy az elmúlt évek során mindvégig szakmai segítséget és támogatást nyújtott biztosítva ezzel munkám sikeres elvégzését.

Köszönetet mondok Dr. Hunyadi Ilonának a munkám során az elméleti és gyakorlati vonatkozásokban nyújtott fontos szakmai segítségéért.

Köszönettel tartozom Molnár Gyulánénak a munkám elvégzésénél nyújtott szakmai és technikai segítségéért.

Megköszönöm Dr. Hadházy Tibor egyik volt legkedvesebb tanáromnak, volt tanszékvezetőmnek lelkesítő szavait, önzetlen segítségét, és azt, hogy biztosította számomra a munka melletti szakmai előrehaladás lehetőségét.

Köszönöm Dr. Beszeda Imre jelenlegi tanszékvezetőmnek segítségét, melyet dolgozatom befejezéséhez nyújtott.