

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM  
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR  
Környezettudományi Centrum

**A felszín alatti vizek radontartalmának  
vizsgálata a Visegrádi-hegységben és a  
Börzsönyben**

**SZAKDOLGOZAT**

**Készítette: BENE ALEXANDRA**  
Környezettudomány mesterszakos hallgató

**Témavezető: DR. HORVÁTH ÁKOS**  
Egyetemi docens

**Budapest  
2011.**



## Tartalomjegyzék

### Köszönetnyilvánítás

<b>1. Bevezetés</b> .....	6
<b>2. Radon a környezetünkben</b> .....	7
<b>2.1 Tulajdonságai</b> .....	7
<b>2.2 Előfordulása, korábbi kutatások eredményei</b> .....	7
<b>2.3 Radon egészségügyi hatásai</b> .....	8
<b>3. Cézium a környezetünkben</b> .....	10
<b>4. A mintavételezési terület földtani adottságai</b> .....	11
<b>4.1 Visegrádi-hegység földtana</b> .....	11
<b>4.2 Börzsöny földtana</b> .....	12
<b>5. A mintavételezés folyamata</b> .....	12
<b>5.1 Mintavételi helyszínek</b> .....	12
5.1.1 Visegrádi-hegység .....	12
5.1.2 Börzsöny .....	18
<b>5.2 Mintavételezési eljárás</b> .....	24
5.2.1 Vízmintavétel .....	24
5.2.2 Talajmintavétel .....	25
<b>6. Alkalmazott mérési módszerek és kiértékelési eljárásaik</b> .....	28
<b>6.1 A vízminták radontartalmának mérése</b> .....	28
6.1.1 1000 típusú Tricarb folyadékszcintillációs spektroszkópia .....	28
6.1.2 Mérés menete és kiértékelése .....	29
<b>6.2 A radonexhaláció vizsgálata talajmintákban</b> .....	30
6.2.1 RAD7 detektor .....	30
6.2.2 Mérés menete és kiértékelése .....	31
<b>6.3 Talajminták rádiumtartalmának meghatározása</b> .....	32
6.3.1 Gamma-spektroszkópiás módszer (HPGe detektor) .....	32
6.3.2 Mérés menete és kiértékelése .....	33
<b>7. Mérési eredmények bemutatása</b> .....	35
<b>7.1 Vizek radontartalmának mérési eredményei</b> .....	35
7.1.1 Visegrádi-hegységi forrásvizek <sup>222</sup> Rn koncentrációja .....	35

7.1.2 Börzsönyi források $^{222}\text{Rn}$ koncentrációja .....	38
<b>7.2 Fajlagos radonexhaláció mérési eredményei .....</b>	<b>39</b>
<b>7.3 Talajminták radioaktív izotópjainak mérési eredményei .....</b>	<b>40</b>
7.3.1 Visegrádi-hegységi talajminták .....	40
7.3.2 Börzsönyi talajminták .....	43
<b>8. Diszkusszió .....</b>	<b>47</b>
<b>8.1 Visegrádi-hegység források <math>^{222}\text{Rn}</math> tartalmának időbeli változása .....</b>	<b>47</b>
<b>8.2 A források <math>^{222}\text{Rn}</math> koncentrációja és földtani formációja közötti kapcsolat .....</b>	<b>50</b>
8.2.1 Visegrádi-hegységi források .....	50
8.2.2 Börzsönyi források .....	51
<b>8.3 A talajminták fajlagos exhalációi és a földtani formációi közötti kapcsolat ..</b>	<b>52</b>
<b>8.4 Exhalációs koefficiens meghatározása .....</b>	<b>53</b>
<b>8.5 A <math>^{137}\text{Cs}</math> területi eloszlásának vizsgálata .....</b>	<b>54</b>
8.5.1 Visegrádi-hegységben mintavételezett talajminták $^{137}\text{Cs}$ koncentrációja .....	54
8.5.2 Börzsönyben mintavételezett talajminták $^{137}\text{Cs}$ koncentrációja .....	56
<b>8.6 A források <math>^{222}\text{Rn}</math> koncentrációja és a talajminták <math>^{226}\text{Ra}</math> tartalma közötti összefüggés vizsgálata .....</b>	<b>58</b>
8.6.1 Visegrádi-hegységi minták .....	58
8.6.2 Börzsönyi minták .....	59
<b>9. Összefoglalás .....</b>	<b>61</b>
<b>10. Irodalomjegyzék .....</b>	<b>64</b>
<b>11. Melléklet .....</b>	<b>66</b>

## **Köszönetnyilvánítás**

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Horváth Ákosnak, hogy szakértelmével, tanácsaival hozzájárult a diplomamunkám elkészítéséhez és a börsönnyi mintavételezés alkalmával elkísért engem.

Köszönettel tartozom Csorba Ottónak, hogy a HPGe kezelésében segítségemre volt, Szabó Katalin Zsuzsannának, aki a földtani térképek elkészítésében segített nekem és Freiler Ágnesnek, aki tanácsokkal, hasznos információkkal látott el engem.

Szeretném megköszönni szüleimnek és barátomnak, hogy segítettek a mintavételezések alkalmával.

## 1. Bevezetés

A természetes radioaktivitás a környezetünkben állandóan jelen van, és az élő szervezetekre hatást fejt ki, ezért fontos vizsgálni a minket érő sugárzás mértékét, jellegét. A bolygónkat körülvevő természetes radioaktív sugárzás két forrásból származik, a Földünk keletkezése óta jelenlévő izotópokból és a kozmikus sugárzásból, mely a Földet érő nagyenergiájú részecskesugárzás.

A jelen dolgozat célja az volt, hogy a Visegrádi-hegység és a Börzsöny természetes radioaktivitásának szintjeit megtudjam a felszínalatti vizekből és a források közeléből származó talajokból vett minták alapján. A mintavételezés helyszínéül a Visegrádi-hegységben olyan forrásokat választottam, ahol még nem vizsgálták a forrásvizek radontartalmát illetve a talajminták radioaktív izotópjainak aktivitását. A források kiválasztásában figyelembe vettem, hogy könnyen megközelíthetőek legyenek és mindig mérhető vízhozammal rendelkezzenek. A börzsönyi területek kiválasztásában szerepet játszott, hogy három forrás radontartalmát 1997-ben Kiss Rózsa is vizsgálta, és az ő eredményeit össze tudtam hasonlítani az általam mért koncentrációkkal. A célom az volt, hogy megismerjük, egyes forrásvizek mekkora radonkoncentrációval rendelkeznek és ezek időben állandóak-e illetve honnan származik a radontartalom. Másrésztől kíváncsi voltam, hogy a két hegység talajának felső részében mekkora a  $^{137}\text{Cs}$  izotóp tartalom, illetve milyen a területi eloszlása.

## 2. Radon a környezetünkben

A természetes radioaktív sugárzás dózisének 60%-a a radon és- leányelemeinek sugárzásából adódik [HÁMORI K. 2004.], ezért fontos az emberi szervezetre gyakorolt hatását vizsgálni.

### 2.1. Radon tulajdonságai

A radon a természetben megtalálható radioaktív nemesgáz. Vízen és különböző szerves oldószerekben jól oldódik. A periódusos rendszerben a VIII. főcsoportban található, a rendszáma 86. Mindhárom bomlási sorban megtalálható a radon egyik izotópja, természetes sugárterhelés szempontjából a legjelentősebb a  $^{222}\text{Rn}$ , ami az  $^{238}\text{U}$  családjába tartozó leányelem és a rádium alfa-bomlásával keletkezik. A felezési ideje 3,8 nap, vagyis ez alatt a kezdeti atommagok száma a felére csökken. A másik két izotópja a toron ( $^{220}\text{Rn}$ ) és az aktinon ( $^{219}\text{Rn}$ ), az előbbi a tórium sor tagja, az utóbbi az aktínium családjába tartozik. A toron átlagos dózisa általában elhanyagolható rövid felezési ideje miatt ( $^{220}\text{Rn}$  felezési ideje: 55,65s) és az aktinon dózisa pedig mindig elhanyagolható a rövid felezési idő illetve a  $^{235}\text{U}$  kicsi relatív gyakorisága miatt ( $^{219}\text{Rn}$  felezési ideje 3,95s).

### 2.2. Radon előfordulása, korábbi kutatások eredményei

A radon a kőzetekben, talajokban jelenlévő rádiumból keletkezik. A nemesgáz szerkezet miatt a környező atomokkal kicsi a kölcsönhatása, így könnyedén ki tud jutni a szemcséből a pórustérbe (emanáció), onnan pedig a levegőbe, utóbbi folyamatot exhalációnak nevezzük. Az exhalációt befolyásolja a talaj rádiumtartalma, a talajszemcse szerkezete, talaj nedvességtartalma, talaj gázáteresztő képessége és az időjárási viszonyok [UNSCEAR 2006.]. A vizekbe oldódás révén kerül be, melynek forrása a kőzetek urán-és tóriumtartalma. A hazai kőzetek átlagos urántartalma 0,5-5,0 g/t érték. A magasabb értékek az idősebb fekete (szerves anyagokban dús) agyagokhoz, illetve savanyú magmás kőzetekhez (riolit, gránit) kapcsolhatók [TÓTH E. 1999.]. Ezekben a területeken a radonkoncentráció is magas, ami mérhető a felszín alatti vizekben, barlangokban és a lakásokban. A lakások légterébe bekerülhet diffúzióval az

építőanyagokból, külső levegőből illetve vízből, másrészt a nyomáskülönbség által szívott talajlevegő hozza magával nyílásokon át, például repedéseken, csatornákon, villamosvezeték csatornákon keresztül. A lakások padlósíntjén a legmagasabb a radonkoncentráció, felfele haladva csökken [MARX GY. et al.2002.]. A RAD Lauder Labor 1994 szeptemberétől 1998 júniusáig tizenötezer helyiségben vizsgálta meg a lakótéri radonkoncentrációt Magyarországon. A mérések alapján kiderült, hogy a Mecsek és az Északi-középhegység területén található községekben magasabbak a lakótéri radonkoncentrációk [TÓTH E. 1999.]. A magyar falvak közül először Mátraderecskén végeztek ilyen vizsgálatokat, ahol az éves középérték  $206 \text{ Bq/m}^3$ , az éves maximumérték  $1378 \text{ Bq/m}^3$ . Az előbb említett faluban a felszín alatti vizek radon koncentrációjának és a talajok radon gáztartalmának kapcsolatát is vizsgálták, illetve a radon hőmérséklettől, elektromos vezetőképességtől és kémhatástól való függését is figyelembe vették. A mérések azt mutatták, hogy nincs korreláció a vizek radon tartalma és a talajok radon gáz koncentrációja között, viszont a radon koncentrációja a hőmérséklettel, kémhatással és az elektromos vezetőképességgel összefüggésbe hozható [VÁSÁRHELYI A. 1997.].

### 2.3. Radon egészségügyi hatásai

Elsősorban nem a radon az, ami negatív hatást fejt ki a szervezetre, hanem a leányelemei ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ). Ezen bomlástermékek megtapadnak a tüdő hörgőinek elágazásaiban, és ott alfa részecskével bombázza a hörgők falát.



1. ábra:  $^{222}\text{Rn}$  bomlása  $^{218}\text{Po}$ -ra  
(Forrás: guides.bestchamber.com)

A  $^{218}\text{Po}$  által kibocsátott alfa részecske a környezetében lévő molekulákat ionizálja, felszakítja a Van der Waals kötésekkel a sejten belüli szerkezetekben, melynek

következménye, hogy a fehérjék térszerkezete megváltozik, szabadgyökök keletkeznek. A szabadgyökök hozzájárulhatnak a daganatos megbetegedések kialakulásához. A radon véráramba is bekerülhet, így a légzőszervünkön kívül máshova is eljuthat, és ott alfa részecskékkel bombázhatja a sejteket. A radon belélegzéssel illetve ivóvízzel kerülhet a szervezetbe. A szervezetbe jutott víz radontartalmának kilencven százaléka az első órában a gyomor-bél rendszerben helyezkedik el, tele gyomor esetében 1,7-szer több radon bomlik el a gyomorban, mint üres gyomor esetén [TÓTH Á. et al. 1983.]. A karcinogén hatását először szén-és uránbányászok körében végzett epidemiológiai vizsgálatok támasztották alá. A radon emberi szervezetre gyakorolt káros hatását először a XVI. században Schneeberg környéki uránbányában dolgozókon vették észre, de ekkor még nem tudták, hogy a rákos megbetegedéseket mi okozza. A XX. században egy német kutatócsoport vizsgálta a tüdőrákban elhunyt bányászok szövetmintáit illetve a bányában lévő radontartalmat és azt a következtetést vonták le, hogy a radon hozzájárul a tüdőrák kialakulásához. Manapság a dohányzás után a radon a legfőbb oka a tüdőráknak [WHO 2009.]. A radon a lakosságra nézve is veszélyt jelenthet, mert felgyűlhet a lakóterekben, ezért fontos a vizsgálatuk. A RAD Lauder Labor magyarországi mérései során nem sikerült a lakótéri radon koncentráció és a daganatos megbetegedések előfordulásának gyakorisága között kapcsolatot kimutatni, illetve a 64 évesnél fiatalabb nők esetében jótékony hatással volt a közepesen magas radontartalom ( $111\text{Bq/m}^3$  és  $185\text{Bq/m}^3$  között) [TÓTH E.2004.].

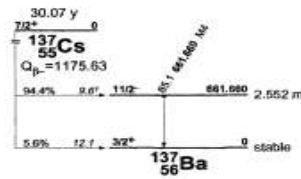
A káros hatásai mellett pozitív hatását is bizonyították már, és ezt kétféleképpen alkalmazzák a gyógyításban, az egyik a radonbarlang légzésterápia, a másik a radontartalmú termálfürdő. A radon tartalmú gyógyvíz csökkenti a vérnyomást, tágítja az ereket, cukorbetegség és köszvény kezeléséhez is alkalmazzák. A magyarországi termálfürdők közül a Rudas-fürdő Török-forrásában és Diana-forrásában mérték a legnagyobb radonkoncentrációkat  $600\text{-}700\text{ Bq/l}$ . A Lukács-fürdő forrásaiban  $18\text{-}65\text{ Bq/l}$  és Gellért Fürdő forrásaiban  $47\text{-}104\text{ Bq/l}$  közötti értékeket mérték [BARADÁCS E. 2001.].

### 3. Cézium a környezetünkben

A cézium az alkálifémek közé tartozik és nagy reakcióképessége miatt csak vegyületekben fordul elő a természetben. Nagy kation kicserélő képességgel rendelkezik, így könnyedén helyettesítheti a nátriumot és káliumot. Egy természetes izotópja van a  $^{133}\text{Cs}$ , a többi antropogén eredetű. A mesterséges izotópok közül a  $^{134}\text{Cs}$  és a  $^{137}\text{Cs}$  veszélyes, mert ezeknek nagy a felezési ideje ( $^{134}\text{Cs}$ - $T_{1/2}=2\text{év}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ - $T_{1/2}=30\text{év}$ ) ezáltal van idejük bekerülni a talajokba és felhalmozódhatnak a táplálékláncban. A cézium 137-es izotópja a  $^{235}\text{U}$  hasadása során keletkezik az atomerőművekben és kísérleti robbantásoknál. A csernobili katasztrófa után a legnagyobb  $^{137}\text{Cs}$  koncentrációkat a talajban Budapesten ( $40\text{-}50\text{ kBq/m}^2$ ) illetve a Dunántúlon és Magyarország északi területein ( $20\text{-}40\text{ kBq/m}^2$ ) mértek [SZATMÁRY M. et al. 2005.].

A  $^{137}\text{Cs}$  a talaj felső részében található a legnagyobb mennyiségben. A talajokban többféle kötésben is részt vehet a cézium, mivel egyszeres pozitív töltésű ion formájában van jelen. Az agyagásványok felületén és az interlamináris helyeken is megkötődhet [ERIKSSON et al. 2005].

Az emberi szervezetbe táplálékkal vagy inhaláció útján kerülhet be. A cézium miután bekerült a szervezetbe, a test lágy szöveteiben szétoszlik. A csontokban és a zsírban alacsonyabb a koncentrációja, míg az izmokban némileg magasabb. Az emberi szervezetből viszonylag hamar távozik, a csecsemők és gyerekek esetében ez a folyamat gyorsabban megy végbe, mint a felnőtteknél [EPA 2002]. A cézium bétabomlással bomlik (2. ábra), ami képes a bőr mélyebb rétegeibe is behatolni. Nagyobb dózisok esetén bőrdaganatos megbetegedéseket, szemlencse károsodást okozhat [SOMLAI J. et al. 2004.].



2. ábra:  $^{137}\text{Cs}$  bomlás-sémája  
(Table of isotopes 8th edition Firestone. et al.)

## 4. Mintavételezési terület földtani adottságai

### 4.1. Visegrádi-hegység földtana

A Visegrádi-hegység földtörténeti múltja a felső triászra nyúlik vissza (225 millió éve). Ezt az időszakot mélytengeri mészkövek, dolomitok, márgák felhalmozódása jellemezte és a korszak egyik fontos képviselője a Dachsteini mészkő volt. Az eocénban a hegység délnyugati peremén szénképződés indult meg, melyet üledékképződés követett, ekkor alakult ki a Szépvölgyi mészkő. Az előbb említett képződményre a hegység keleti peremén Budai márga települt a későbbiekben. A korai oligocénra a Szentendre és Vác irányában húzódó Budai-vonal keleti oldalán anoxikus tengeri üledékek (Tardi agyag), míg a nyugati oldalán folyóvízi-és tengerparti üledékek rakódtak le (Hárshegyi homokkő) [CSÁSZÁR G. et al. 2005.]. A Tardi agyagra Kiscelli agyag rakódott le a későbbiekben. A késő oligocénban a tengervízszint csökkent, megindult a terület feltöltődése, ami mocsár képződéshez vezetett. A középső miocénban (14-15 millió éve) zajlott le az a vulkáni tevékenység, ami a hegység mai formáját meghatározza. A vulkáni tevékenységet időben és kőzettani összetétel szempontjából két szakaszra lehet különíteni. A korai szakaszban andezites-dácitos összetételű termékek, míg a késői szakaszban piroxén-amfibolandezitek keletkeztek. A pleisztocénban homok, lejtőtörmelék, lösz felhalmozódása, a holocénban pedig folyóvízi hordalékok és lejtőtörmelékek lerakódása jellemezte a területet.

### 4.2. Börzsöny földtana

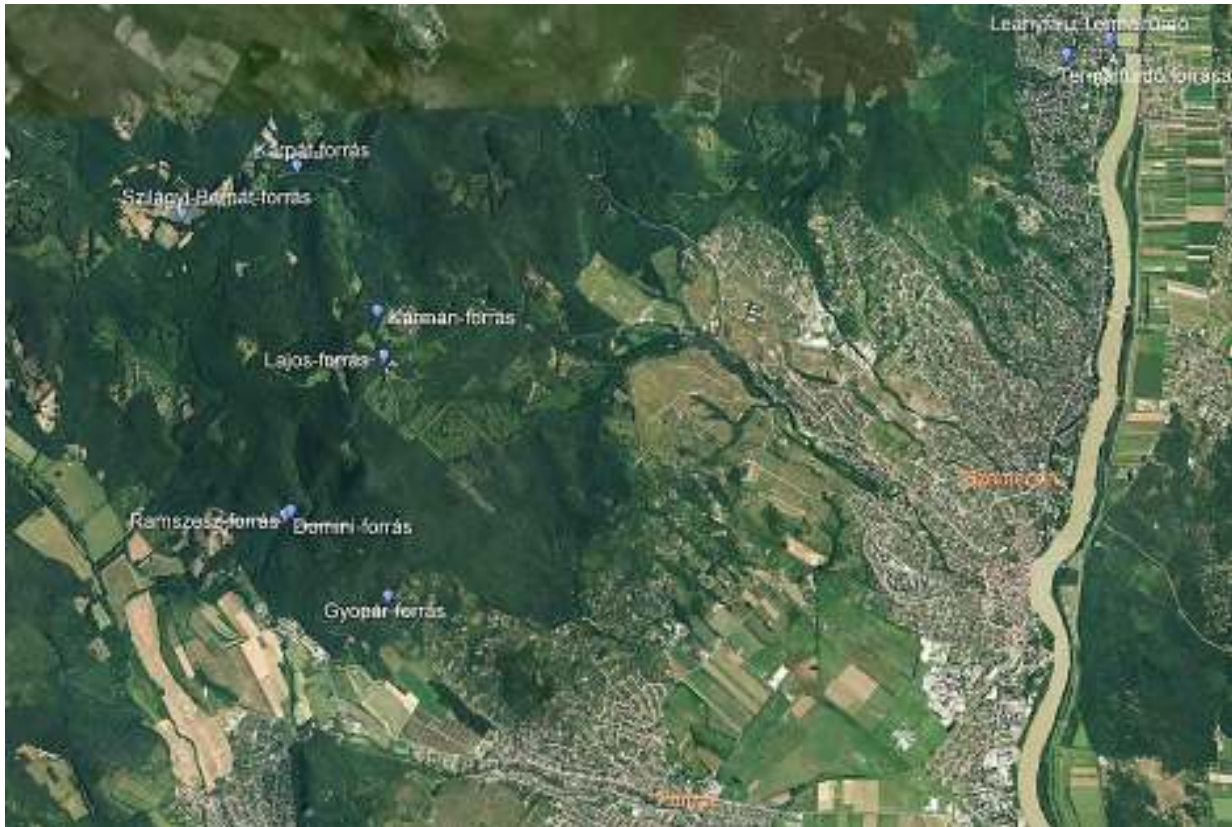
A Börzsöny a Visegrádi-hegység folytatása, a középső miocénban lezajlott vulkánosság illetve a külső erők munkája adja a hegység mai arculatát. A hegység nagy részét vulkáni kőzetek határozzák meg, csak a déli részeken jellemzőek az üledékes kőzetek. A Diósjenői vonaltól (DNY-ÉK irányú) északra metamorf kőzetek, délre dolomitos, mészköves kőzetek jellemzik. Ezekre oligocén-miocén korú üledékes kőzetek rakódtak le, példának okáért Kiscelli agyag, Budafoki homok. A vulkáni tevékenység során kalderák alakultak ki, melynek maradványai felismerhetőek. Kalderaperem maradványok őrződtek meg a Kemence-völgy mentén, a Szokolyai-félmedencében és a hegység délnyugati részén [KARÁTSZON D. et al. 2006]. A Börzsöny három részre osztható Börzsönyalja, Észak-Börzsöny és a Magas-Börzsöny. A Börzsönyalja a hegység déli részén található Kóspallag, Márianosztra és Szokolya környékét foglalja magába. A Börzsöny északi része tagoltabb és sűrűbb vízhálózattal rendelkezik, mint a déli. A Magas-Börzsöny a legfiatalabb része, itt található a legmagasabb csúcsa a Csóványos. A hegységre a piroxénandezit és a biotitamfibolandezit jellemző a leginkább, de a dácit is megtalálható.

## **5. A mintavételezés folyamata**

### ***5.1. Mintavételi helyszínek***

#### ***5.1.1. Visegrádi-hegység***

A mintavételezések a Visegrádi-hegységben, azon belül is a Holdvilág-árok, a Bölcső-hegy és Csikóváralja területein történtek illetve a Leányfalui Termálfürdőben. A Visegrádi-hegységben hét forrásból vettem mintákat tizenöt alkalommal novembertől áprilisisig terjedő időszakban, összesen ötvenkét vízmintát gyűjtöttem és hét talajmintát. Ezen források közül egy kivételével mindegyik jól kiépített, könnyen megközelíthető helyen található. *Az alábbi térképen* bejelöltem a forrásvizek helyszíneit.



1. térkép: Visegrádi-hegységben mintavételezett forrásvizek helyszínei

#### Domini-forrás [DF], Ramszesz-forrás [RF]

A Holdvilág-árok Pomáztól északnyugati irányban körülbelül hat kilométerre fekszik, területén két általam vizsgált forrás tör a felszínre, a Domini-forrás (1. kép) illetve a Ramszesz-forrás. A Holdvilág-árok területét ősi kultuszhelyként tartják számon, az első régészeti feltárásokat Sashegyi Sándor (pomázi régészkutató) kezdeményezte 1939-ben, aki azt feltételezte, hogy Árpád fejedelem sírja ezen a területen lelhető fel. Több ásatás is folyt a későbbiekben, melynek során honfoglalás kori edénymaradványokra, sírszobor töredékre, emberi és állati csontvázakra bukkantak, de semmilyen bizonyítékot nem találtak, hogy Árpád fejedelmet ott temették el. A Domini-forrás és a Ramszesz-forrás egymástól 200-250 méterre található a patak mentén a szurdokvölgyben.



1. kép: Domini-forrás

### Gyopár-forrás [GYF]

A Gyopár-forrás Csikóvárалjai turistaháztól északkeletre található körülbelül 500 méterre. A parkolótól a zöld négyzettel jelzett turistaútvonalon lehet megközelíteni a forrást, mely pihenőhelyként is szolgál.



2. kép: Gyopár-forrás

### Lajos-forrás [LF], Kármán-forrás [KF]

A Lajos-forrás (3.kép) és a Kármán-forrás (4.kép) a Bölcsőhegy lábánál tör felszínre, Szentendrétől kilenc kilométerre található északnyugati irányban. Az előbbi közvetlenül a parkoló mellett található és bő vízhozammal rendelkezik így a környékeliek előszeretettel visznek haza a forrásból nagyobb mennyiségben. A Lajos-forrás régi neve Dobra Voda volt, ami annyit jelent Jó-víz, a XIV. században kapta a mai nevét, Nagy Lajosról. A Lajos-forrástól északi irányban továbbhaladva körülbelül fél kilométerre található a Kármán-forrás, régi nevén Bodza-forrás.



3. kép: Lajos-forrás



4. kép: Kármán-forrás

Kárpát-forrás [KPF], Szilágyi-Bernát-forrás [SZBF]

A Kárpát-forrást és a Szilágyi-Bernát-forrást minden alkalommal a dömörkapui parkolótól közelítettem meg lezárt erdőgazdasági üzemi úton illetve jelzett turistaútvonalon. A Kárpát-forrás (5. kép), régi nevén Schubert János-forrás körülbelül két és fél kilométerre található Dömörkaputól egy pihenőhely közelében. A forrásvíz fogyasztásra alkalmas, bár utolsó mintavételezésemkor egy tábla utalt rá, hogy nem iható, az okát nem sikerült meg tudnom. Az erdei műúton továbbhaladva a Sikárosi rétre jutottam ki, amely közelében található a Szilágyi-Bernát forrás (6. kép). A Bükkös patakon keresztül vezetett az utam a forrásig, ami a téli időszakban illetve azt követő hóolvadás miatt megnehezítette az átkelést.



5. kép: Kárpát-forrás



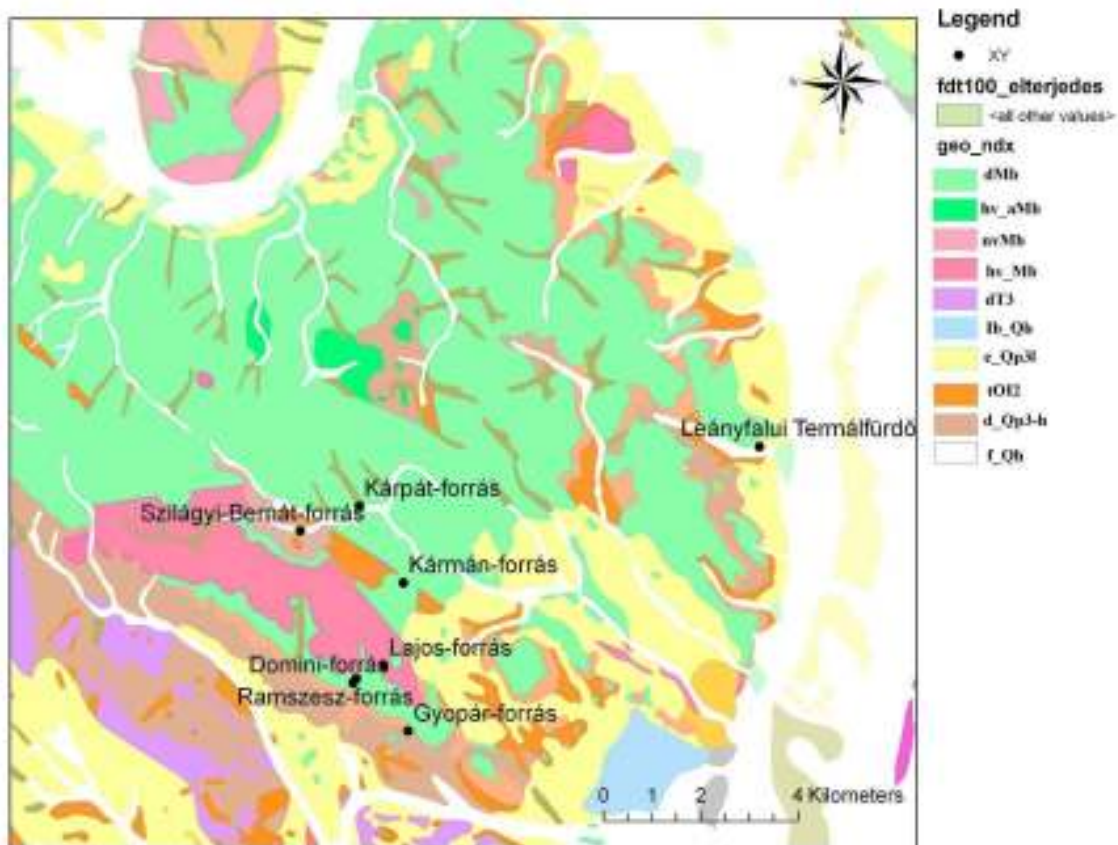
6. kép: Szilágyi-Bernát-forrás

## Leányfalui Strand-és Termálfürdő[LST]

A Leányfalui Strand-és Termálfürdő a fővárostól huszonhét kilométerre helyezkedik el a tizenegyes főút mentén. 2003-ban nyilvánították a termálkútban lévő vizet gyógyvízzé, ami a mozgásszervi megbetegedések kezelésére kiválóan alkalmas. Összesen 5 vízmintát vettem, a termálvizet szállító csővezeték elejéből [LST<sub>f</sub>], és végéből [LST<sub>cs</sub>] illetve a gyógymedencéből [LST<sub>m</sub>]. A termálkút a Pándi Lajos utcában található, melynek mélysége 1008 m. A kút vize a kalcium-magnézium-hidrogén-karbonátos-szulfátos ásványvizek csoportjába tartozik. A kútból nem tudtam mintákat venni, de ezen a helyszínen körülbelül 5 méterre a csővezeték egy csapjából 2 alkalommal is mintavételeztem. A Termálfürdő a Móricz Zsigmond utcában található, és itt a gépházban lévő csővezeték végéből illetve a gyógymedencéből vettem vízmintákat.

## A felszint alkotó kőzetek minősége

A 3. ábrán a Visegrádi-hegység földtani térképe látható, melyen bejelöltem a mintavételi pontokat. Az 1. táblázatban összefoglaltam az egyes mintavételi pontok földtani formációit és azok jellemzőit. A forrásokat nemcsak az adott földtani formáció befolyásolja, amin fekszik, hanem fontos figyelembe venni a körülötte lévő területek geológiáját is, ahol a felszín alatti víz folyik. A következő földtani ábrán látszik, hogy a hegység nagy részét a Dobogókői andezit formáció adja. Ezen kívül megtalálható a Nagyvölgyi dácittufa (nvMb) formáció, a Holdvilágárki dácittufa formáció, Dachsteini mészkő formáció (dT3), lejtőtörmelék és lösz (e\_Qp3-h) képződmény is. Az 1. táblázatban a Szilágyi-Bernát-forrást (SZBF) és a Lajos-forrást (LF) két helyre is besoroltam, mert ezek két földtani formáció határán helyezkednek el.



3. ábra: Mintavételi pontok ábrázolása földtani térképen

Jelölés	Formáció	Forrás	Fácies	Litológia
dMb	Dobogókői andezit formáció	RF;KF; DF,GYF, (LF)	piroklasztikumok	andezit, andezit piroklasztikum
f_Qh	Folyóvízi üledék	KPF; (SZBF), LST	Folyóvízi	folyóvízi üledékek összevontan
hv_Mb	Holdvilágárki dácittufa formáció	LF	piroklasztikumok	Andezit,dácit piroklasztikum
d-Qp3-h	Lejtőtörmelék, kavics	SZBF	Lejtő	szögletes lejtőtörmelék, kavics

1. Táblázat: Egyes mintavételi pontok földtani formációi és azok jellemzői

### 5.1.2. Börzsöny

A Börzsönyből tizenhárom felszín alatti vízből vettem mintát egy alkalommal, és hét talajmintát gyűjtöttem a forrásvizek környékéről. A forrásvizek helyszíneit a 2. térképen tüntettem fel.



2. térkép: Börzsönyben mintavételezett forrásvizek helyszínei

#### Irma-forrás

A Börzsöny déli részén, Magyarkút határában található a Kocsma a Pipáshoz vendéglő mellett. A parkoló szélén helyezkedik el a kiépített forrás, mely bő vízhozammal rendelkezik.



7. kép: Irma-forrás

#### Testvér-forrás, Málnás-forrás

Mindkét kiépített forrás Kismaroson a Börzsönyligetben tör felszínre. A Testvér-forrást a Börzsönyligeti erdőben a sárga jelzésű turistaútvonalon lehet megközelíteni és egy patak mentén található. A Málnás-forrás (régiben Mezei-forrás) az Őz utcában található, egy keskeny ösvényen keresztül lehet odajutni, nagy vízhozammal rendelkezik, ami a 8. képen is jól látszik.



8. kép: Málnás-forrás

### Fehérkúti-forrás csoport

Négy forrás tartozik ebbe a csoportba, a Fehér-kút, Fehér-kút2, Havanna-forrás és a VIT-forrás. A törökmezői turistaháztól piros, majd a zöld turistaútvonalon lehet megközelíteni. Körülbelül 500 méterre található a parkolótól, több pihenőhely is van a közelben. Mindegyik kiépített, bő vízhozamú forrás.

### Dr. Kenyeres Balázs-forrás

A Kemence-patak völgyében egy tisztás mellett bukkan a felszínre. A kiépített forrást korlátozott forgalmú erdőgazdasági úton lehet megközelíteni, ami Kemencét és Diósjenőt köti össze. A forrás a nevét, Dr. Kenyeres Balázsról kapta, aki lefektette a törvényszéki orvoscépzés alapjait, illetve bevezette a radiológiai módszerek alkalmazását a szakmában.

### Király-kút, Mátyás-forrás, Tűzköves-forrás

A Kemencét és Diósjenőt összekötő útvonalon, Királyházán találhatóak ezek a források. A település illetve a források nevében is szerepel a király szó, ami Mátyás király nevét őrzi. A Király kút az úttól 15-20 méterre található, bő vízhozamú tiszta kiépített forrás, melyből a környéken élők gyakorta visznek haza vizet. A Mátyás-forrás a MOL turistaház udvarán foglal helyet, ahova szabadon be lehetett menni. A Rakottyás-patak völgyében található a Tűzköves-forrás, amit a piros turistaútvonalon lehet megközelíteni, egy sziklafal alatt kimélyített részen bukkan felszínre, a 9. képen látható. A sziklafalon Bársony István író emléktáblája van elhelyezve.



9. kép: Tűzköves-forrás

## Csurgó-forrás, Margit-forrás

A két forrás Nógrád településén található, a Csurgó-forrás a Nógrádi vár alatt a vasút mentén, a Margit-forrás a község központjában van kiépítve. A Csurgó-forrás (10. kép) 2005 óta helyi védelem alatt áll, a község illetve a környék lakói palackokban, kannákban visznek vizet a Jó ivóvíznek is nevezett forrásból.



10. kép: Csurgó-forrás

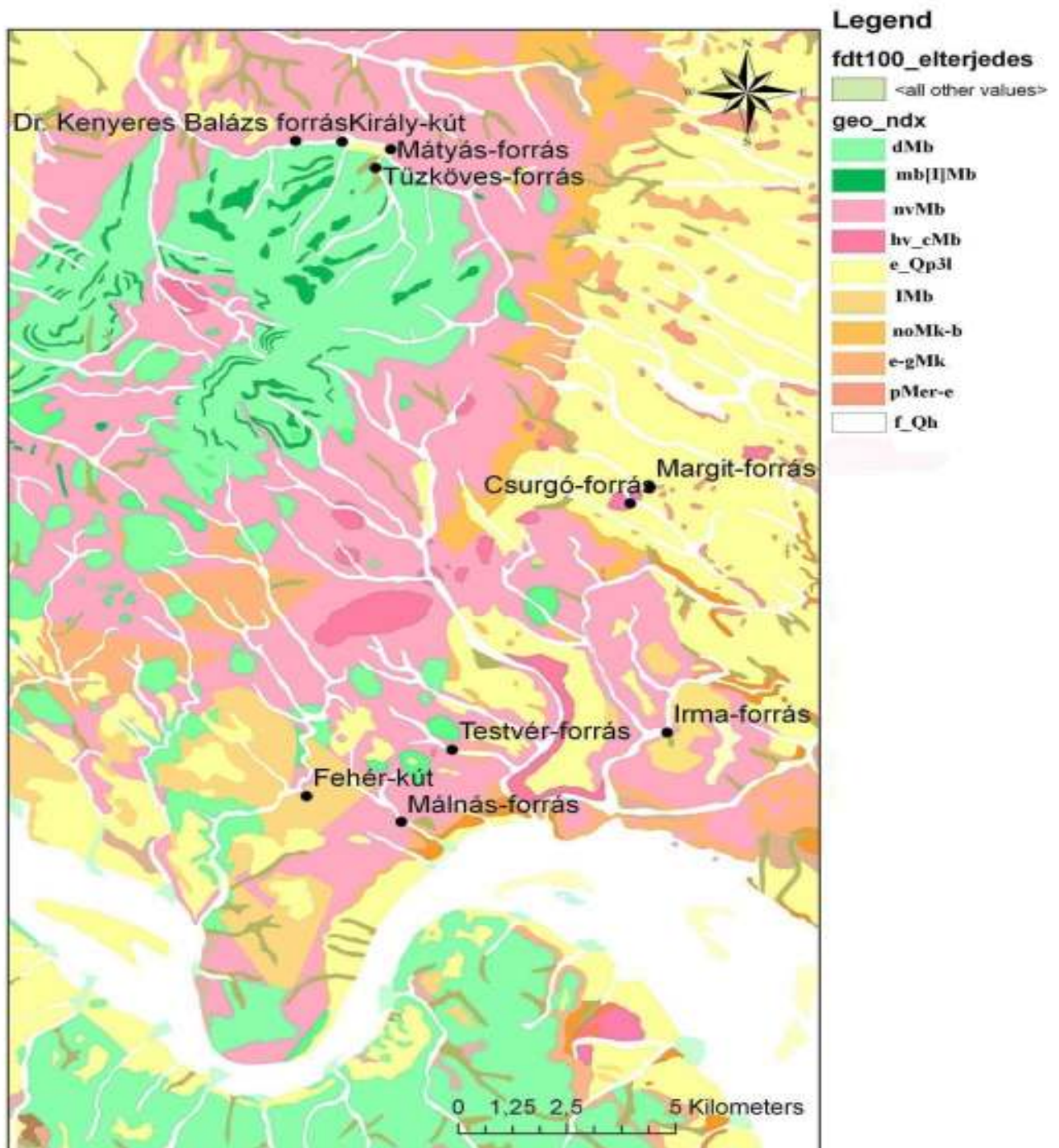
A forrásokat összefoglaltam az 2. táblázatban, hogy áttekinthetőbb legyen.

Forrás neve	GPS koordináták	Helyszín
Irma-forrás [IF]	N 47° 50,879'; E 19° 3,281'	Magyarkút
Málnás-forrás [MF1]	N 47° 49,576' E 18° 58,380'	Kismaros
Testvér-forrás [TF]	N 47° 50'37.73" E 18° 59'19.254"	Kismaros (Börzsönyliget)
Dr. Kenyeres Balázs forrás [KBF]	N47°59'30.95" E18° 56'24.75"	Kemence-Királyháza
Mátyás-forrás [MF2]	N47°59'23.98" E18° 58'10.13"	Királyháza
Tűzköves-forrás [TKF]	N47°59'07.42" E18° 57'53.66"	Királyháza
Király-kút[KK]	47°59'36.49" 18° 57'16.31"	Királyháza
Fehérkúti-forrás csoport [FKF]	N 47° 49'56.63" E 18° 56'38.15"	Kismaros (Törökmező)
Csurgó-forrás [CSF]	N 47° 54,227' E 19° 2,600'	Nógrád
Margit-forrás [MF3]	N 47°54'18.51" E 19° 3,576'	Nógrád

2. Táblázat: Mintavételi helyszínek a Börzsönyben

## A felszín alkotó kőzetek minősége

A 4. ábrán a Börzsönyben mintavételezett forrásvizek helyszíneit jelöltem a földtani térképen, és a 3. táblázatban e helyszínek formációi illetve jellemzői találhatóak.



4. ábra: Börzsöny földtani térképe

Jelölés	Formáció	Forrás	Fácies	Litológia
dMb	Dobogókői andezit formáció	KK	piroklasztikumok	andezit, andezit piroklasztikum
f_Qh	Folyóvízi üledék	MF,TF,MF2, TKF	Folyóvízi	folyóvízi üledékek összevontan
nv_Mb	Nagyvölgyi Dácittufa formáció	DrKBF,FKF	Átmeneti üledékes- vulkáni; piroklasztikumok	Dácittufa, piroklasztikum
hv_cMb	Csódihegyi Dácit tagozat	CSF	piroklasztikumok	Andezit,dácit piroklasztikum
e_Qp3l	lössz	MF3	Eolikus üledék	Lössz,homok
Pd_Q3-h	Proluviális- deluviális üledék	IF	folyóvízi	Agyag, aleurit homok kevesebb kaviccsal, törmelékkel

3. Táblázat: Mintavételi pontok földtani jellemzői

## 5.2. Mintavételezési eljárás

### 5.2.1. Vízmintavétel

A mintavételezések előtt elvégeztem a szükséges előkészületeket, mely során a 23ml-es küvettákba 10ml Optifluor O szcintillációs folyadékot töltöttem. Az Optifluor O szerves folyadék (alkilbenzol keverék PPO szcintillátor anyaggal) [ZOURIDAKIS N. 2002.], így vízzel nem elegyedik, a sűrűbb vízminta a küvetta alsó részére kerül. Ehhez adtam hozzá a forrásvizekből vett 10 ml mennyiségű mintát, majd a kupakot jól lezártam és körbetekertem parafilmmel, ami megakadályozza a radon küvettából való kidiffundálását. A forrásoknál két módszerrel vettem vizet, egyik esetben közvetlenül fecskendővel (11. kép), másik esetben PET palackokba töltöttem, majd másnap a laborban küvettákba helyeztem. Három forrásból vettem műanyag flakonba mintát, ezek a következők: Csurgó-forrás, Margit-forrás és a Király-kút, a többit mind küvettákba tettem a helyszínen. A Tűzköves-forrás kivételével mindegyik kiépített forrás, ezekből a kifolyócsőből a lehető legmélyebbről vettem 10 ml vizet. Az előbbi forrásból pedig a kimélyített sziklafal alól vettem mintát.



11. kép: Mintavételezés a Havanna-forrásnál

### 5.2.2. Talajmintavétel

A talajmintákat minden esetben kis lapát segítségével körülbelül 13\*13cm-es illetve 15\*15cm-es lehatárolt területről vettem a talaj felső 0-3 cm rétegéből, mert a cézium 137-es izotópja a felső rétegben található a legnagyobb mennyiségben. A mintavételezést a források közelében végeztem el. A talajmintákat befőttesüvegbe és műanyag zacskóba helyeztem, majd a laborba szállítottam. A laborban 4-5 napig szárítottam a mintákat (szabad levegőn műanyag tányérokon), majd a tömegük meghatározása után radonkamrákba (12.kép) zártam legalább három hétre radonexhaláció mérés céljából. A három hét alatt beállt az egyensúly az aktivitás és az exhaláció között, vagyis ugyanannyi radon keletkezett, mint amennyi elbomlott. A radonexhaláció mérést csak a Visegrádi- hegységben vett mintákon végeztem el RAD 7detektorral. A 4. táblázatban a talajminták helyszíneit, körülményeit foglalom össze.



12. kép: Talajminták radonkamrákban elhelyezve

	Talajminta kódja	Mintavételi helyszín	Mintavételi körülmények
1.	DTF	Visegrádi-hegység (Domini-forrás közelében)	A forrástól 2 m-es távolságban vettem a mintát 13*13cm-es területről a legelső terepi mintavételezés alkalmával.
2.	RFT	Visegrádi-hegység (Ramszesz-forrás közelében)	A forrástól balra kb. 1 m-re vettem 13*13cm-es lehatárolt részből talajmintát.
3.	LFT	Visegrádi-hegység (Lajos-forrás közelében)	A forrástól balra kb. 6-8 m-re lejtősebb részből vettem mintát, 13*13cm-es helyről.
4.	KFT	Visegrádi-hegység (Kármán-forrás közelében)	A forrástól 2 m-es távolságban 13*13cm-es területről mintavételeztem.
5.	KPFT	Visegrádi-hegység (Kárpát-forrás közelében)	Forrástól 3-4 m-re vettem 13*13cm-es területről mintát.
6.	SZBFT	Visegrádi-hegység (Szilágyi-Bernát-forrás közelében)	Forrástól déli irányban 4-5 m-re 13*13cm-es területről vettem mintát.
7.	GYFT	Visegrádi-hegység (Gyopár-forrás közelében)	Forrástól 2-3 méterre északi irányban 13*13cm-es területről mintavételeztem.
8.	IFT	Börzsöny (Irma-forrás közelében)	A forrás feletti lejtős részen vettem mintát 8-10m távolságra egy 15*15cm-es területről.
9.	FKFT	Börzsöny (Törökmező, Fehérkúti-források csoport közelében)	A forrásoktól 10-15 m-re vettem mintát a lejtősebb részen.
10.	TKFT	Börzsöny (Tűzköves-f. közelében)	Forrástól 5-6m-re patak mentén 13*13cm-es terü-

			letről gyűjtöttem mintát.
11.	TFT	Börzsöny (Testvér-f. közelében)	Forrástól 3-4m-re 13*13cm-es területről mintavételeztem.
12.	KBFT	Börzsöny (Dr. Kenyeres Balázs-f. közelében)	A forrástól 20-25m-re a réten 15*15 cm-es területű talajból vettem mintát.
13	KKT	Börzsöny (Király-kút közelében)	A kút 2 m-es közeléből 13*13cm-es területről gyűjtöttem talajmintát.
14.	CSFT	Börzsöny (Csurgó-f. közelében)	A forrástól kb. 15 méterre vettem a mintát az útszéle mentén 13*13 cm-es területről.

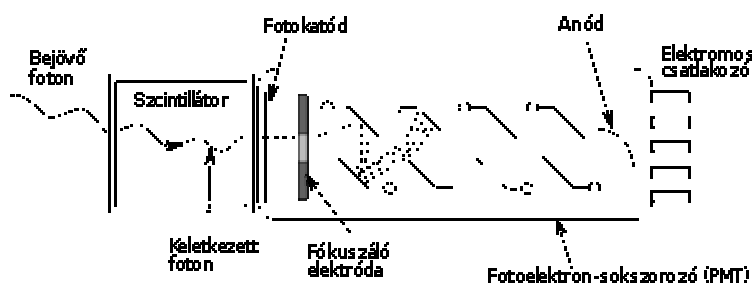
4. Táblázat: Talajmintavételi helyszínek

## 6. Alkalmazott mérési módszerek és kiértékelési eljárásaik

### 6.1. A vízminták radontartalmának mérése

#### 6.1.1. 1000 típusú Tricarb folyadékszcintillációs spektroszkópia

A vízmintákat Tricarb 1000 típusú folyadékszcintillációs spektroszkópiával mértem meg, hogy meghatározzam a bennük lévő radontartalmat. A folyadékszcintillációs méréstechnika kis áthatolóképességű sugárzások ( $\beta$ ,  $\alpha$ , kis energiájú  $\gamma$ )  $\delta\epsilon\tau\epsilon\kappa\tau\lambda\zeta\sigma\zeta\rho\alpha\ \alpha\lambda\kappa\alpha\lambda\mu\alpha\sigma$ . A  $\mu\text{r}\sigma\epsilon\kappa\ \sigma\sigma\rho\zeta\upsilon\ \text{O}\ \pi\text{o}\tau\text{i}\phi\lambda\upsilon\sigma\rho\ \text{O}\ \kappa\omicron\kappa\tau\lambda\tau\ \alpha\lambda\ \kappa\alpha\lambda\mu\alpha\zeta\tau\alpha\mu$ . A módszer lényege, hogy a szcintillátoron egy elektromosan töltött részecske halad át, melynek hatására a detektor anyagának elektronjai magasabb energiájú állapotba kerülnek, majd legerjesztődésük során szcintillációs fotont bocsátanak ki. Ezt a fényfelvillanást fotoelektronsokszorozó segítségével alakítjuk át elektromos jellé. A szcintillációs fotonok a fotoelektronsokszorozó fotokatódjára esnek, ahol fotoeffektussal elektronokat löknek ki, amiket néhány száz volt feszültséggel felgyorsítva dinódákba ütköztetnek és ott újabb elektronokat löknek ki. Ilyen erősítés mellett már mérhető nagyságú áramimpulzust kapunk.



5. ábra: Fotoelektronsokszorozó  
(Forrás: wikipedia.hu)

A méréseimhez TRI-CARB 1000 típusú spektrométert használtam (13. kép), amiben két egymással szemben elhelyezkedő koincidenciába kapcsolt fotoelektronsokszorozó (5. ábra) található. A koincidencia lényege, hogy a két detektor egyszerre detektálja a jelet, ha csak az egyikre érkezik a foton, akkor azt nem detektálja,

így kiszűrjük a zajt. A fotoelektronsokszorozóról egy amplitúdó analízátorra kerülnek a jelek, ami digitalizálja azokat és a jel magasságával arányos egész számot rendel a jelhez. Ezzel meghatározzuk a beütések számát az egyes csatornában.



13. kép: Tricarb 1000 típusú folyadékszintillációs spektrométer

#### 6.1.2. Mérés menete és kiértékelése

A mérés megkezdése előtt kalibráltam a műszert egy ismert  $^{14}\text{C}$  oldattal, majd beállítottam a  $^{222}\text{Rn}$  méréséhez szükséges paramétereket. Az alábbi paramétereket kellett beállítani: 6-os protokoll; mérési idő(15 perc); fényhozam tartomány (25keVee-900keVee). A fényhozam a bomlást követő felvillanó fotonok számával arányos mennyiséget jelenti. A mérési eredményeket elektronikus illetve print (kinyomtatott) formájában is megkaphatjuk. A kapott adatok között szerepelnek az A,B,C csatornák beütésszámai (CPMA,CPMB,CPMC), a csatornák CPM-jeinek bizonytalanságai százalékban (2 S%A,2%B,2%C), a spektrumot jellemző index (SIS), a tSIE (gamma standarddal mért kioltási paraméterek) és az ELTIME (méréssorozat kezdetétől eltelt idő). Az alábbi kalibrációs egyenlet felhasználásával számoltam ki a méréskori

$$\text{koncentrációt: } C_{\text{méréskor}} = \frac{CPM - 1,98}{12,1}$$

Az exponenciális bomlástörvény alapján meghatároztam a mintavételkori koncentrációt

$$\text{az alábbi képlet segítségével: } C_{\text{méréskor}} = C_{\text{mintavételkor}} e^{-\lambda t}$$

Ahol  $\lambda$  a bomlási állandó,  $t$  a mintavétel és mérés közt eltelt idő.

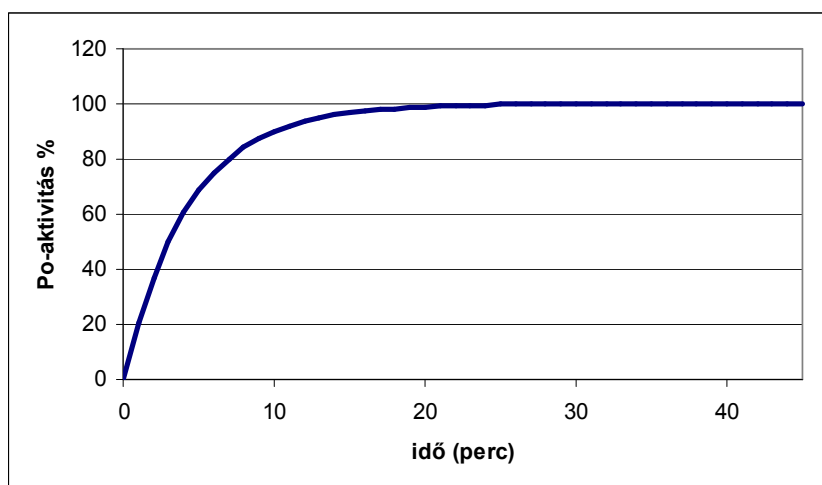
## 6.2. A radonexhaláció vizsgálata a talajmintákban

Az exhaláció a szemcseközi térből időegység alatt a levegőbe jutó atomok számát jelenti. A mintából kilépő radon mennyiségét a talajok urán-és rádiumtartalma szabja meg.

A talajmintákat radonkamrákba helyeztem el, melyekben három hétig (radon felezési idejének ötszöröse) voltak lezárva. Eközben beállt az egyensúly a kamra légterében, vagyis ugyanannyi radon keletkezett, mint amennyi elbomlott (radon aktivitása és a radonexhaláció megegyezett).

### 6.2.1. RAD 7 detektor

A radonexhaláció mérést félvezető RAD7 detektorral (14. kép) végeztem el, amelynek detektora szilícium. A detektor alakítja át sugárzás energiáját elektromos jellé. A szilárd halmazállapotú leányelemeket detektálja, vagyis a polónium 218-as, 214-es, 216-os, 212-es izotópját, magát a radont nem [1]. Az előbbi két izotóp az uránsor tagjai, míg az utóbbiak a tórium családjába tartoznak. A  $^{218}\text{Po}$  izotópot friss radonnak nevezik, mert közvetlenül a radon után keletkezik, a  $^{214}\text{Po}$  az öreg radon elnevezést kapta, mert két bétabomlás is eltelik. Mivel a RAD7 a radon leányelemeit detektálja, nem pedig a radont, meg kell várni a  $^{222}\text{Rn}$  és  $^{218}\text{Po}$  közti radioaktív egyensúly beálltát, ezért az első tizenöt perces mérést nem vettem figyelembe. Az alábbi ábra mutatja, hogy az első tizenöt percen még nem állt be az egyensúly.



6. ábra: Radioaktív egyensúly beállta a  $^{222}\text{Rn}$  és  $^{218}\text{Po}$  között  
(Forrás: REX mérés leírás)

### 6.2.2. Mérés menete és kiértékelése

Először háttérmérést (általában 2\*15 percet) végeztem, hogy megtudjam a detektorban és a detektorhoz kapcsolt csövekben lévő kezdeti radonkoncentrációt. A csövek alkalmazásával csatlakoztattam a radonkamrákat a detektorhoz. Az egyik csőhöz páralekötőt helyeztem el, ami a páratartalom megkötésére szolgált. A detektorban két szűrő is található, egyiknek az a feladata, hogy a levegőben lévő szennyeződésekét kiszűrje, a másiknak az, hogy a radon leányelemeit megsűrje. A háttérmérés utána elkezdődött a tényleges mérés, ami minden esetben 300 perces volt. A mérés során a detektorban felhígult radon aktivitáskoncentrációját kaptam meg, amit az alábbi képlettel lehet kiszámolni:

$$c_m = \frac{\lambda(N_{lev} + N_h)}{V_{összes}} = \frac{c_{lev}V_{net} + c_hV_{det}}{V_{net} + V_{det}}$$

$c_m$ - a mért koncentráció

$\lambda$ – bomlási állandó

$N_{lev}$ –légtérben lévő radonatomok száma

$N_h$ - csövekben és a detektortérben lévő radonatomok száma

$c_{lev}$ -radonkamrában lévő eredeti koncentráció

$V_{net}$ -minta térfogata ( $V_{kamra} - V_{talajminta} = V_{net}$ )

$c_h$ - detektorban és a csövekben lévő radontartalom

$V_{det}$ - csövek- és a detektortér térfogata (a detektortér térfogata  $0,7dm^3$ )



14. kép: RAD7 detektor

A fenti képletet átrendezve megkaptam a kamrában lévő radonkoncentrációt:

$$c_{lev} = c_m \left( 1 + \frac{V_{det}}{V_{net}} \right) - c_h \frac{V_{det}}{V_{net}}$$

A kamra teljes radonaktivitása egyensúlyban van az exhalációval (E), aminek az értékét az alábbi képlettel számítottam ki:

$$E = (V_{kamra} - V_{min\ ta})c_{lev}$$

Ebből a fajlagos exhalációt (M) az exhaláció és a minta tömegének hányadosából (m) kaptam meg:

$$M = \frac{E}{m}$$

### **6.3. Talajminták rádiumtartalmának meghatározása**

#### *6.3.1. Gamma-spektroszkópiás módszer (HPGe detektor)*

A talajminták radioaktív izotópjainak meghatározását GC1520-7500SL típusú HPGe detektorral végeztem el. Ez egy germánium anyagú félvezető detektor. A mérés során a minta gammasugárzás energiaspektrumát tizenkét órán keresztül vettem fel. A detektor érzékeny térfogatában maradt energiát mérjük, a leadott energiát a mintának a detektorral való kölcsönhatása szabja meg. Ez a kölcsönhatás háromféle lehet: fotoeffektus, Compton-effektus és a párkeltés. A fotoeffektus során a gamma-foton a teljes energiáját átadja a mintában található elektronnak. A Compton-szórás révén a gamma-foton rugalmasan ütközik az anyag egy elektronjával, energiája egy részét átadja, majd továbbhalad kisebb energiával. A párképzés során pedig nagy energiájú gamma-foton elektron-positron párt kelt. Ennek a kísérőjelensége az annihiláció, amikor lelassult pozitron és elektron egymás közelébe érve megsemmisülnek, és két ellentétes irányba induló 511keV energiájú foton keletkezik. A kölcsönhatások által töltött részecskék keletkeznek, melyek a félvezető detektorban elektron-lyuk párokat hoznak létre. Az elektron-lyuk párok rekombinálódásának elkerülése érdekében a detektorra nagyfeszültséget kapcsolunk. A feszültség hatására akkor is folya áram, ha a mintát nem érné radioaktív sugárzás, így a detektor hűtése szükséges, amihez folyékony nitrogén áll rendelkezésre [2]. A detektor jelét egy amplitúdó analízátor digitalizálja és rendel hozzá egy egészszámot (csatornaszám). A sok beütés vizsgálata után az egyes csatornába érkező beütéseket összeszámoljuk, ez adja meg a spektrumot.



15. kép: HPGe detektor

### 6.3.2. Mérés menete és kiértékelése

A minták gammasugárzásának energiaspektrumát három esetben huszonnégy órás, egy esetben tíz órás és a többi mintánál tizenkét órás mérésekkel vettem fel, de előtte lemértem a háttérrel. A kapott spektrumokat Spill 5 célszoftverrel értékeltem ki. A program segítségével lehetőség nyílt a csúcsok nettó területének, valamint annak hibájának meghatározására. Először is energia-kalibrációt végeztem, amit  $^{232}\text{Th}$  és  $^{238}\text{U}$  soraiban lévő  $^{40}\text{K}$  és  $^{232}\text{Th}$  izotópok felismert csúcsainak segítségével készítettem el. A spektrumokban az alábbi energiákon található izotópok beütésszámait és azok mérési bizonytalanságait határoztam meg: 143keV ( $^{235}\text{U}$ ); 186keV ( $^{226}\text{Ra}$ ); 609keV ( $^{214}\text{Bi}$ );

661keV ( $^{137}\text{Cs}$ ); 1461keV ( $^{40}\text{K}$ ); 2614keV ( $^{232}\text{Th}$ ). A radioaktív izotópok aktivitását az alábbi képlettel számoltam ki:

$$A = \frac{N}{T_m \varepsilon \eta} \quad \left( N = C S_m - \frac{T_m}{T_h} H \right)$$

- $C_{S_m}$ - tapasztalt csúcs területe
- $T_m$ - minta mérési ideje
- $H$ - a háttérben levő csúcsok kiértékeléséből adódó csúcsterület
- $T_h$ -háttér mérési ideje
- $\varepsilon$ - gamma-foton keletkezésének csatornaaránya
- $\eta$ - az adott energiájú foton fotoeffektussal történő detektálásának hatásfoka
- $N$ -nettó csúcsterület

Ebből a fajlagos aktivitást az aktivitás és a minta tömegének hányadosából ( $M=A/m$ ) kaptam meg, melynek mértékegysége Bq/kg. Az aktivitás relatív hibáját pedig a következő képlettel kaptam meg, feltételezve, hogy a nettó csúcsterületnek és a hatásfoknak bizonytalanságai számottevőek:

$$\sqrt{\frac{1}{(\eta \varepsilon t)^2} \sigma_N^2 + \frac{N^2}{(\eta \varepsilon^2 t)^2} \sigma_\varepsilon^2}$$

- $\eta$ -hatásfok
- $\varepsilon$ - relatív intenzitás
- $t$ -mérési idő
- $N$ -nettó csúcsterület
- $\sigma_N$ -nettó csúcsterület hibája
- $\sigma_\varepsilon$ -hatásfok hibája

A relatív intenzitást a Decay programmal határoztam meg, melyben több ezer gamma energia van felsorolva az azt kibocsátó atommaggal együtt. A relatív intenzitás megadja, hogy a bomlások hányad részében keletkezik a mért energiájú gammafoton. A hatásfok számításához a Monte Carlo szimulációs programot alkalmaztam [Deák F.], melyhez szükség volt a minta tömegére, sűrűségére magasságára, mintatartó sugarára, a

minta és detektor távolságára, a minta átlagrendszámaira illetve meg kellett adni, hogy mely energiákon szeretném az aktivitást kiszámolni.

## 7. Mérési eredmények bemutatása

### 7.1. Vizek radontartalmának mérési eredményei

Az 5. és 6. táblázatban bemutatom a Visegrádi-hegységben 2010. novembertől 2011. áprilisig vizsgált forrásvizek radonkoncentrációit. Ez idő alatt összesen 47 vízmintát gyűjtöttem. Az 7. táblázatban a Leányfalui Strand-és Termálfürdőből vett vízminták radonkoncentrációi láthatóak, amiből öt vízmintát gyűjtöttem. A Börzsönyben egy alkalommal mintavételeztem 13 forrásvízből, ebből három forrás radontartalmát korábban Kiss Rózsa is megvizsgálta, ezek eredményeit összehasonlítottam az általam kapott radonkoncentrációkkal.

#### 7.1.1. Visegrádi-hegységi forrásvizek 222 Rn koncentrációi

Az egyes mintavételi időpontok alkalmával mért radonkoncentrációk értéke hibával együtt (Bq/l) [2010 november-2011. április]							
Minta neve	11.14.	11.28.	12.04.	02.08.	02.21.	03.24.	04.10
DF	8,3 ± 1,0	8,1 ± 1,0	8,7 ± 1,0	6,7 ± 0,8	9,02 ± 1,1	11,8 ± 1,3	12,02 ± 1,3
RF	9,8 ± 1,1	10,0 ± 1,2	8 ± 1	9,3 ± 1,1	9,99 ± 1,2	8,6 ± 1,0	10,5 ± 1,2
GYF	12,5 ± 1,3	13,5 ± 1,4	17,4 ± 1,8	19,4 ± 1,9	16,7 ± 1,7	19,2 ± 1,9	18,5 ± 1,8

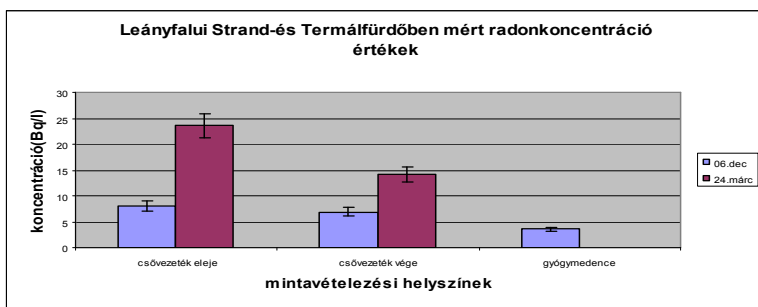
5. Táblázat: Visegrádi-hegységben vett forrásvíz minták radonkoncentrációi és mérési bizonytalanságai

Az egyes mintavételi időpontok alkalmával mért radonkoncentrációk értéke hibával együtt (Bq/l) [2010 november-2011. április]							
Minta neve	11.14.	11.21.	02.06.	02.20.	03.15	03.31.	04.17.
LF	14,7 ± 1,5	12,7 ± 1,4	14,1 ± 1,5	11,7 ± 1,4	13,6 ± 1,4	13,04 ± 1,4	14,4 ± 1,6
KF	57,8 ± 3,8	61,8 ± 4,3	57,3 ± 4	61,1 ± 4,5	57,3 ± 3,8	55,3 ± 3,8	63,7 ± 4,6
KPF	-	17,2 ± 1,7	19,7 ± 1,9	22 ± 2	15,6 ± 1,6	11,6 ± 1,2	19,7 ± 1,9
SZBF	-	39,2 ± 3,1	39,7 ± 3,1	40,9 ± 3,6	40,6 ± 3,6	46 ± 3,3	52,7 ± 3,9

6. Táblázat: Visegrádi-hegységben vett forrásvíz minták radonkoncentrációi és mérési bizonytalanságai

Minta neve	Egyes mintavételi időpontok alkalmával mért radonkoncentrációk értéke és azok mérési bizonytalansága ( Bq/l)	
	2010.12.06.	2011.03.24.
LST <sub>f</sub>	8,1±0,9	23,6±2,2
LST <sub>cs</sub>	6,9±0,9	14,1±1,5
LST <sub>m</sub>	3,6±0,5	-

7. Táblázat: Leányfalui Termálfürdőben mért radonkoncentráció értékek és azok mérési bizonytalanságai



7. ábra: Leányfalui Strand-és Termálfürdőben mért radonkoncentráció értékek

A 7. ábrán észrevehető a két mintavételezés alkalmával mért radonkoncentrációk eredményeinek lényeges eltérése. Ennek oka, hogy első alkalommal, amikor a forrást vezető csővezetékéből megengedtem a vizet azonnal vettem mintát, ahelyett, hogy vártam volna pár percet. A második alkalommal a csővezeték csapjának megnyitása után körülbelül 3-4 perc elteltével történt a mintavételezés. A medencében csak egy alkalommal vettem vízmintát 5 cm mélyről, ennek értéke 3,6 Bq/l. Ha mélyebbről vettem volna mintát valószínűleg magasabb eredményt kaptam volna. Ennek oka, hogy a vízfelszín közelében a radon könnyedén ki tud diffundálni, így ott kisebb a radonkoncentráció.

### 7.1.2. Börzsöny forrásvizeinek mérési eredményei

Forrás név	Minta neve	Radonkoncentrációk hibával együtt (Bq/l)
Irma-forrás	IF	66,4 ± 4,7
Testvér-forrás	TF	17,7 ± 1,7
Málnás-forrás	MF	53,7 ± 3,8
Fehér-kút	FKF	34,9 ± 2,8
Fehér-kút2	FKF2	25,4 ± 2,3
Havanna-forrás	HF	22,9 ± 2,1
VIT-forrás	VITF	18,5 ± 1,8
Dr. Kenyeres Balázs-forrás	KBF	23,6 ± 2,2
Tűzköves-forrás	TKF	16 ± 1,6
Mátyás-forrás	MF2	16,5 ± 1,7
Király-kút	KK	12,8 ± 1,4
Margit-forrás	MF3	23,9 ± 2,2
Csurgó-forrás	CSF	29,9 ± 2,5

#### 8. Táblázat: Börzsöny forrásvizeiben mért radonkoncentrációk és mérési bizonytalanságok

Az Irma-forrás, a Tűzköves-forrás és a Mátyás-forrás radonkoncentrációjáról rendelkezésemre álltak 1997-es adatok, melyek mérését Kiss Rózsa végezte el a Magyar Állami Földtani Intézet megbízásából. Ezek eredményeit összehasonlítottam az általam mért értékekkel az alábbi táblázatban.

Mintavételi, mérési év	Radonkoncentrációk és mérési bizonytalanságok (Bq/l)		
	Tűzköves-forrás	Mátyás-forrás	Irma-forrás
1997. ősz	13,7 ± 0,5	12,2 ± 0,5	65,6 ± 2,1
2011. tavasz	16 ± 1,6	16,5 ± 1,7	66,4 ± 4,7

#### 9. táblázat: Általam mért radonkoncentrációk összevetése 1997-es adatokkal

Az Irma-forrásnál hibahatáron belül megegyeznek az értékek, a másik két forrásnál sincs számottevő különbség a koncentráció értékekben, az eltérés adódhat például abból, hogy más időszakban végeztem a mérést, a mintavételezési módszer is eltérhet a korábitól illetve figyelembe kell venni, hogy a két mintavételezés között eltelt 14 év.

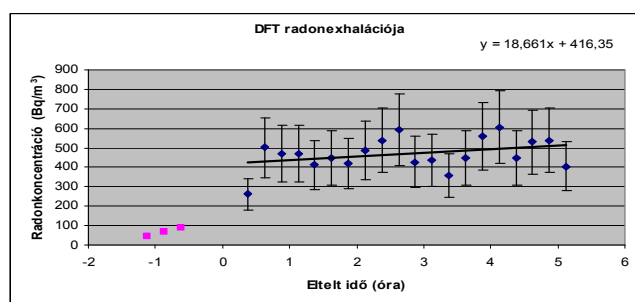
### ***Fajlagos radonexhaláció mérési eredményei***

A levegőbe történő radonkibocsátás mértékét a Visegrádi-hegységben vett hét talajmintán végeztem el RAD 7 detektorral, a kiértékelés menete a 6.2.2. fejezetben olvasható. A talajminták radonexhalációinak eredményei a 10. táblázatban láthatóak, melyben, az első oszlopban a minták neve szerepel, a második oszlopban a minták tömege látható gramm egységben, az utolsó oszlopban a fajlagos exhaláció értékei Bq/kg egységben.

Minta neve	Minta tömege(g)	Fajlagos exhaláció (Bq/kg)
DFT	131,3	3,1±1,1
RFT	137,3	4,3±1,1
GYFT	117,9	1,02±1,2
LFT	82,9	3,4±1,8
KFT	72,4	5,6±2,3
KPFT	129,9	4,6±1,7
SZBFT	107,6	8,1±1,7

10. Táblázat: A talajminták radonexhalációinak eredményei

A 8. ábrán a DFT minta fajlagos exhalációját ábrázoltam, x tengelyen az eltelt idő (óra), az y tengelyen a radonkoncentráció (Bq/m<sup>3</sup>) látható. Az ábrán az egyenes egyenletét is feltüntettem, ebből leolvasható a kezdeti koncentráció érték. A háttérrel rózsaszínnel jelöltem (ennél a mintánál 3\*15 perces háttérrel végeztem), ez mutatja a szoba légtérének radonkoncentrációját, ahol a méréseket elvégeztem.



## 7.2. A talajminták radioaktív izotópjainak mérési eredményei

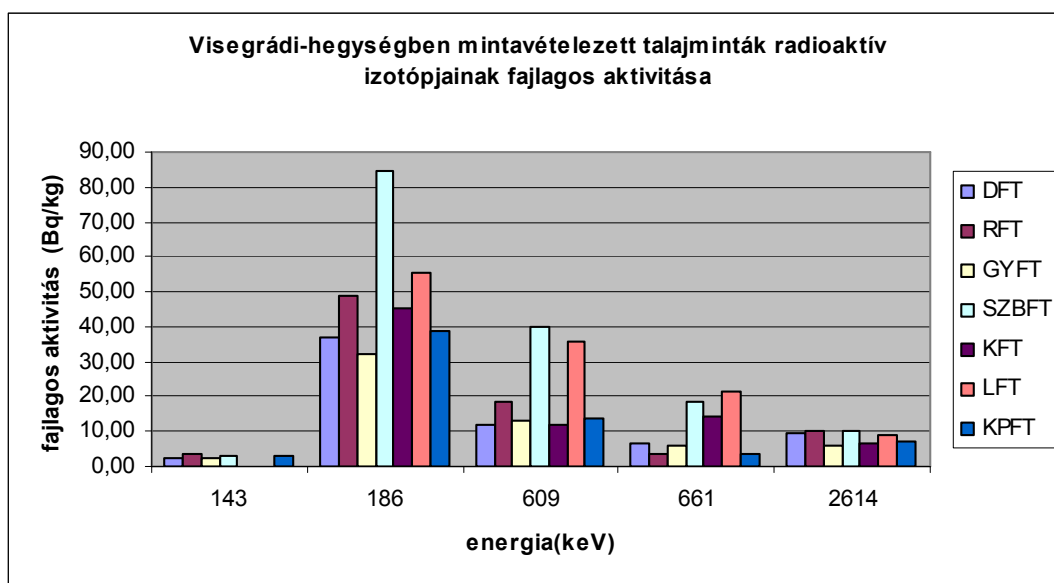
A talajminták radioaktív izotópjának meghatározását 14 talajmintán végeztem el gammaspektroszkópiás módszerrel, három minta (GYFT, RFT, DFT) esetében 24 órás, 1 mintánál (CSF) 10 órás, a többinél 12 órás méréseket végeztem. A kapott spektrumokban a 186keV energiához tartozó rádiumot és a 661keV energiához tartozó céziumot vizsgáltam elsősorban. A kiértékelés lépéseit 6.3.2. fejezetben leírtak szerint végeztem el. A következő táblázat tartalmazza a minták nevét, tömegét, az egyes radioaktív izotópok aktivitását, fajlagos aktivitását és koncentrációját.

### 7.2.1. Visegrádi-hegységi talajminták

Minta neve	Energia (keV)	Aktivitás hibával együtt (Bq)	Minta tömege (g)	Fajlagos aktivitás hibával együtt (Bq/kg)	Koncentráció (ppm)
DFT	143 ( $^{235}\text{U}$ )	0,31±0,17	131,11	2,4±1,3	
	186 ( $^{226}\text{Ra}$ )	4,86±0,66		36,8±5	2,9±0,4
	609 ( $^{214}\text{Bi}$ )	1,56±0,08		11,9±0,6	
	661 ( $^{137}\text{Cs}$ )	0,89±0,04		6,76±0,34	
	1461 ( $^{40}\text{K}$ )	34,91±0,86		265,83±6,57	8599,6±212,5
	2614 ( $^{232}\text{Th}$ )	1,2±0,1		9,24±0,73	
RFT	143 ( $^{235}\text{U}$ )	0,26±0,14	137,27	3,31±1,47	
	186 ( $^{226}\text{Ra}$ )	6,73±0,78		49,02±5,68	3,9±0,1
	609 ( $^{214}\text{Bi}$ )	2,52±0,09		18,36±0,68	
	661 ( $^{137}\text{Cs}$ )	0,49±0,04		3,59±0,31	
	1461 ( $^{40}\text{K}$ )	48,41±1,03		352,63±7,47	11407,6±241,7
	2614 ( $^{232}\text{Th}$ )	1,39±0,11		10,14±0,77	
GYFT	143 ( $^{235}\text{U}$ )	0,26±0,14	117,96	2,23±1,16	
	186 ( $^{226}\text{Ra}$ )	3,79±0,53		32,14±4,53	2,6±0,4
	609 ( $^{214}\text{Bi}$ )	1,54±0,07		13,09±0,56	
	661 ( $^{137}\text{Cs}$ )	0,71±0,04		6,06±0,31	
	1461 ( $^{40}\text{K}$ )	27,65±0,68		234,36±5,8	7581,5±187,6
	2614 ( $^{232}\text{Th}$ )	0,67±0,07		5,72±0,63	
LFT	143 ( $^{235}\text{U}$ )	-	72,42	-	
	186 ( $^{226}\text{Ra}$ )	4,01±0,75		55,4±10,3	4,5±0,8
	609 ( $^{214}\text{Bi}$ )	2,6±0,11		35,96±1,5	
	661 ( $^{137}\text{Cs}$ )	1,53±0,06		21,18±0,86	

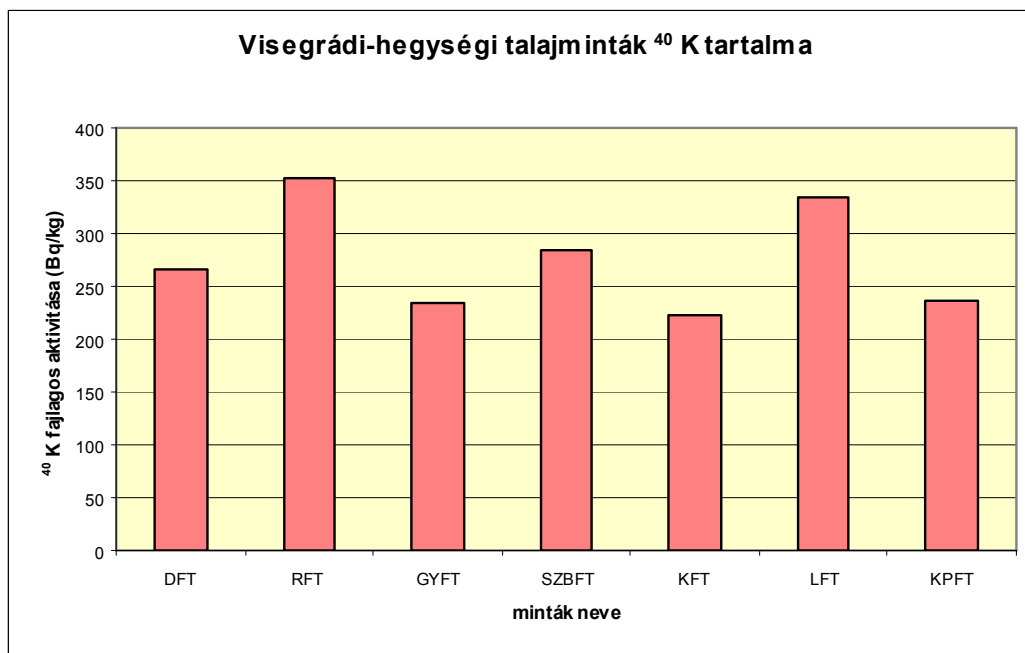
	1461 ( $^{40}\text{K}$ )	24,17±0,91		333,7±12,5	10794,9±404,4
	2614 ( $^{232}\text{Th}$ )	0,65±0,13		9,02±1,77	
KFT	143 ( $^{235}\text{U}$ )	-	82,95	-	
	186 ( $^{226}\text{Ra}$ )	3,76±0,71		45,39±8,51	3,7±0,7
	609 ( $^{214}\text{Bi}$ )	0,98±0,08		11,86±0,97	
	661 ( $^{137}\text{Cs}$ )	1,19±0,06		14,37±0,71	
	1461 ( $^{40}\text{K}$ )	18,65±0,83		223,69±10,03	7236,4±324,5
	2614 ( $^{232}\text{Th}$ )	0,54±0,14		6,56±1,66	
KPFT	143 ( $^{235}\text{U}$ )	0,54±0,18	107,62	4,99±1,63	
	186 ( $^{226}\text{Ra}$ )	4,19±0,73		38,93±6,75	3,2±0,6
	609 ( $^{214}\text{Bi}$ )	1,45±0,09		13,45±0,83	
	661 ( $^{137}\text{Cs}$ )	0,39±0,04		3,60±0,42	
	1461 ( $^{40}\text{K}$ )	25,44±0,96		236,41±8,9	7647,9±287,9
	2614 ( $^{232}\text{Th}$ )	0,78±0,13		7,25±1,21	
SZBFT	143 ( $^{235}\text{U}$ )	0,69±0,29	129,93	5,28±2,24	
	186 ( $^{226}\text{Ra}$ )	11,01±1,13		84,71±8,73	6,8±0,7
	609 ( $^{214}\text{Bi}$ )	5,21±0,16		40,07±1,27	
	661 ( $^{137}\text{Cs}$ )	2,4±0,09		18,43±0,69	
	1461 ( $^{40}\text{K}$ )	37±1,22		284,76±9,36	9211,9±302,8
	2614 ( $^{232}\text{Th}$ )	1,32±0,17		10,18±1,29	

11. Táblázat: Visegrádi-hegységben mintavételezett talajminták radioaktív izotópjainak koncentrációja



9. ábra: A Visegrádi-hegységben mintavételezett talajminták radioaktív izotópjainak fajlagos aktivitása az energia függvényében

A talajminták  $^{40}\text{K}$  izotópjainak fajlagos aktivitását külön ábrázoltam, mert a túl nagy értékek miatt a többi izotóp koncentrációja nem látszódott volna.



10. ábra: Visegrádi-hegységi talajminták  $^{40}\text{K}$  tartalma

A talajok átlagos  $^{226}\text{Ra}$  tartalma az egész világra vonatkoztatva 32 Bq/kg, a  $^{40}\text{K}$  tartalma 412 Bq/kg és a  $^{232}\text{Th}$  tartalma 45 Bq/kg [UNSCEAR 2008.]. Az általam vizsgált talajminták fajlagos rádium aktivitása 35-55 Bq/kg között van, kivétel az SZBFT minta, aminek 84,71 Bq/kg a rádiumtartalma. A  $^{40}\text{K}$  és a  $^{232}\text{Th}$  tartalom minden általam mért talajmintában alacsonyabb volt, mint az átlagos fajlagos aktivitás értékek. A fajlagos aktivitások felhasználásával kiszámítható a  $^{238}\text{U}$  ekvivalens koncentráció és a  $^{40}\text{K}$  koncentráció (g/t vagy ppm) feltéve, hogy a szekuláris egyensúly fennáll. A  $^{238}\text{U}$  ekvivalens koncentrációt a  $^{226}\text{Ra}$  tartalomból határoztam meg. A  $^{40}\text{K}$  izotópnál figyelembe vettem a 0,0117% relatív gyakoriságot. A következő képletet alkalmaztam a számításokhoz:

$$c = \frac{1000M}{\lambda N_A} A$$

A-fajlagos aktivitás

M-tömegszám (g/mol)

$\lambda$  -bomlási állandó (1/s)

$N_A$ - Avogadro szám

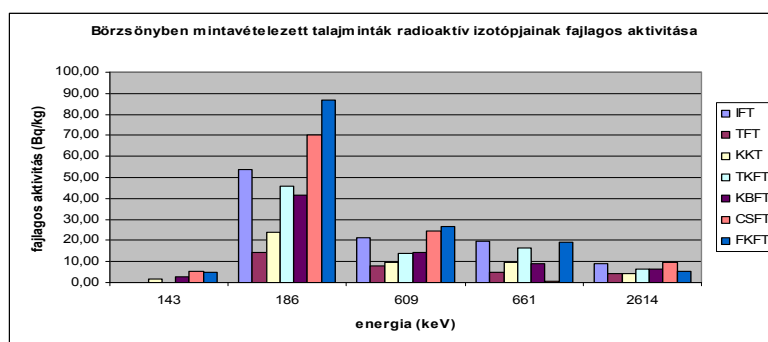
A koncentráció értékek a 11. és 12. táblázat utolsó soraiban láthatóak.

### 7.2.2. Börzsönyi talajminták

Minta neve	Energia (keV)	Aktivitás hibával együtt (Bq)	Minta tömege (g)	Fajlagos aktivitás hibával együtt(Bq/kg)	Koncentráció (ppm)
IFT	143 ( <sup>235</sup> U)	-	111,39	-	
	186 ( <sup>226</sup> Ra)	6,01±0,9		53,93±8,08	4,4±0,7
	609 ( <sup>214</sup> Bi)	2,35±0,11		21,14±1,03	
	661 ( <sup>137</sup> Cs)	2,17±0,07		19,5±0,67	
	1461 ( <sup>40</sup> K)	47,7±1,26		428,24±11,34	13866,5±367,7
	2614 ( <sup>232</sup> Th)	1,02±0,15		9,19±1,33	
TFT	143 ( <sup>235</sup> U)	-	88,8	-	
	186 ( <sup>226</sup> Ra)	1,27±0,41		14,27±4,58	1,2±0,4
	609 ( <sup>214</sup> Bi)	0,72±0,06		8,14±0,68	
	661 ( <sup>137</sup> Cs)	0,41±0,03		4,65±0,38	
	1461 ( <sup>40</sup> K)	12,09±0,57		136,18±6,38	4403,81±206,3
	2614 ( <sup>232</sup> Th)	0,38±0,1		4,31±1,14	
KKT	143 ( <sup>235</sup> U)	0,16±0,1	102,3	1,52±0,97	
	186 ( <sup>226</sup> Ra)	2,47±0,41		24,1±3,9	1,9±0,3
	609 ( <sup>214</sup> Bi)	0,97±0,06		9,49±0,6	
	661 ( <sup>137</sup> Cs)	0,98±0,04		9,53±0,39	
	1461 ( <sup>40</sup> K)	19,8±0,66		193,5±6,47	6259,73±209,3
	2614 ( <sup>232</sup> Th)	0,46±0,09		4,52±0,87	
TKFT	143 ( <sup>235</sup> U)	-	80,05	-	
	186 ( <sup>226</sup> Ra)	3,65±0,64		45,6±8,03	3,7±0,7
	609 ( <sup>214</sup> Bi)	1,1±0,08		13,77±0,99	
	661 ( <sup>137</sup> Cs)	1,31±0,06		16,37±0,7	
	1461 ( <sup>40</sup> K)	17,67±0,78		220,8±9,7	7141,91±313,8
	2614 ( <sup>232</sup> Th)	0,5±0,13		6,2±1,6	

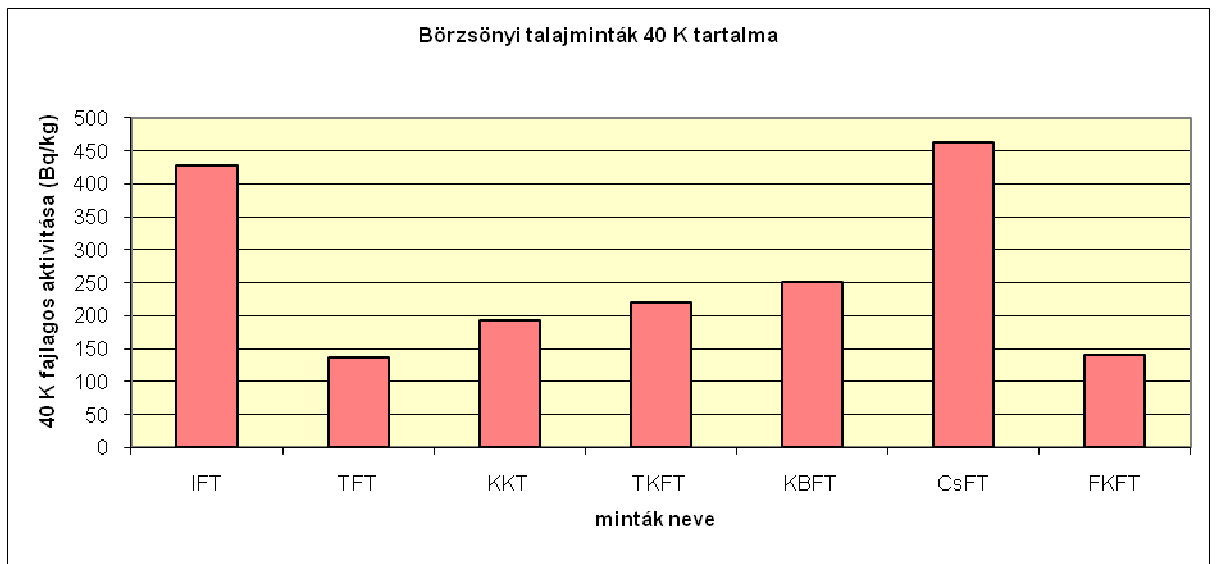
CSFT	143 ( $^{235}\text{U}$ )	0,9±0,4	168,4	5,37±2,26	
	186 ( $^{226}\text{Ra}$ )	11,8±1,3		70,09±7,92	5,7±0,6
	609 ( $^{214}\text{Bi}$ )	4,09±0,17		24,29±1,04	
	661 ( $^{137}\text{Cs}$ )	-		-	
	1461 ( $^{40}\text{K}$ )	78,09±1,9		463,71±11,27	15001,02±364,6
	2614 ( $^{232}\text{Th}$ )	0,61±0,21		9,58±1,26	
FKFT	143 ( $^{235}\text{U}$ )	0,44±0,2	91,96	4,82±2,23	
	186 ( $^{226}\text{Ra}$ )	7,99±0,79		86,91±8,62	7,01±0,7
	609 ( $^{214}\text{Bi}$ )	2,47±0,11		26,83±1,24	
	661 ( $^{137}\text{Cs}$ )	1,75±0,07		19,08±0,74	
	1461 ( $^{40}\text{K}$ )	12,93±0,74		140,61±8,1	4548,73±262,04
	2614 ( $^{232}\text{Th}$ )	0,49±0,13		5,35±1,46	
KBFT	143 ( $^{235}\text{U}$ )	0,69±0,29	91,22	5,28±2,24	
	186 ( $^{226}\text{Ra}$ )	3,78±0,73		41,49±8,03	3,4±0,7
	609 ( $^{214}\text{Bi}$ )	1,3±0,09		14,25±0,99	
	661 ( $^{137}\text{Cs}$ )	0,8±0,06		9,05±0,61	
	1461 ( $^{40}\text{K}$ )	22,9±0,9		250,8±10,2	8113,7±329,9
	2614 ( $^{232}\text{Th}$ )	0,58±0,14		6,3±1,6	

12. Táblázat: Börzsönyben mintavételezett talajmintákban vizsgált radioaktív izotópok koncentrációja



11. ábra: A Börzsönyben vett talajminták radioaktív izotópjainak fajlagos aktivitása az energia függvényében

Az előző alfejezethez hasonlóan, itt is külön diagramon ábrázoltam a kálium koncentrációkat.



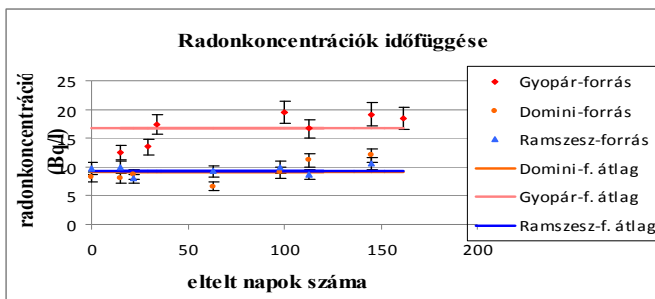
42. ábra: Börzsönyi talajminták  $^{40}\text{K}$  tartalma

A Börzsönyi talajminták közül a CSFT, IFT és az FKFT mintákban kiemelkedően magas a rádiumtartalom 70 Bq/kg, 54 Bq/kg illetve 87 Bq/kg, ezek az értékek meghaladják az előbb említett átlagos fajlagos aktivitásokat. A  $^{40}\text{K}$  tartalom csak az IFT minta esetében haladja meg az átlagos értéket. A  $^{232}\text{Th}$  fajlagos aktivitása minden Börzsönyi mintában 10 Bq/kg alatti.

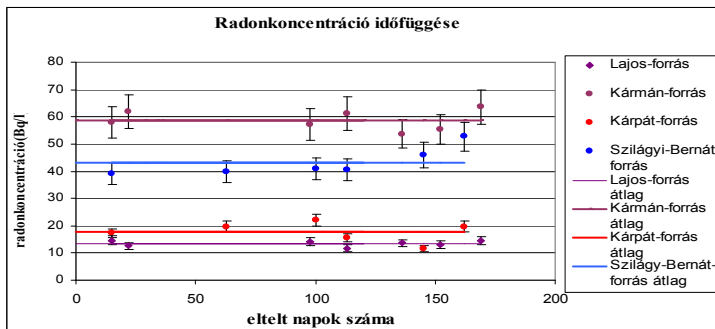
## 8. Diskusszió

### 8.1. Visegrádi-hegység forrásvizeinek $^{222}\text{Rn}$ tartalmának időbeli változékonysága

A mérések során kapott radonkoncentrációkat, mérési bizonytalanságokat és az átlagokat ábrázoltam az idő függvényében. Az alábbi két diagramon láthatóak, hogyan változtak a radonkoncentráció értékek novembertől áprilisig vizsgált időszakban.



13. ábra: A forrásokban mért radonkoncentrációk időfüggése



14. ábra: A forrásokban mért radonkoncentrációk időfüggései

A forrásvizek radonkoncentrációinak időbeli változását számszerűen is lehet jellemezni, a számításaimhoz a következő képleteket használtam fel:

- Átlagos radontartalom:  $c = \frac{\sum_{i=1}^n c_i}{n}$ , ahol  $c_i$  az egyes mintavételekkor tapasztalt koncentráció,  $n$  a mintavételek száma

- Egy mérés átlagos mérési bizonytalansága:  $m = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}$ , ahol  $m_i$  az egyes mintavételekkor tapasztalt koncentrációk mérési bizonytalansága,  $n$  a mintavételek száma

- Empirikus szórás (átlagtól való eltérések átlaga):  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (c_i - c)^2}{n - 1}}$

- Szórás %-ban:  $v = \left(\frac{\sigma}{c}\right)100\%$

- Arány:  $\frac{\sigma}{m_b}$

A számítások értékeit a 13. táblázatban foglaltam össze.

Minta neve	Átlagos radonkoncentráció (Bq/l)	Átlagos mérési bizonytalanság (Bq/l) ( $m_b$ )	Empirikus szórás ( $\sigma$ )	$\frac{\sigma}{m_b}$	Szórás %-ban
DF	9,1	1	1,3	<b>1,3</b>	<b>14,3</b>
RF	9,5	1,1	0,9	0,8	9,5
GYF	16,7	1,5	2,7	<b>1,8</b>	<b>16</b>
LF	13,5	1,5	1,1	0,7	8,1
KF	58,7	4,1	2,8	0,7	4,8
KPF	17,6	1,7	3,7	<b>2,2</b>	<b>21</b>
SZBF	43,2	3,2	4,4	<b>1,4</b>	<b>10,2</b>

13. Táblázat: A forrásvizek radontartalmának időbeli változásának mértéke

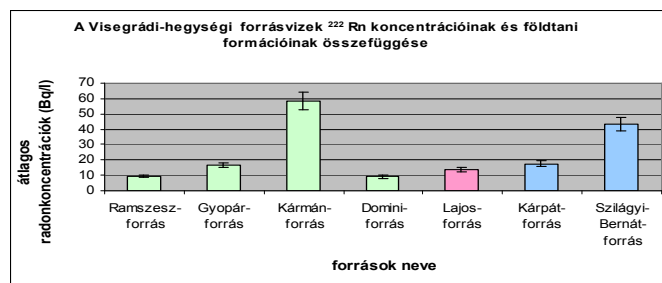
Az empirikus szórás és a mérési bizonytalanság hányadosa megadja, hogy egy forrás radontartalma időben mennyire állandó. Ha a hányados értéke 1-nél kisebb, akkor a radontartalom állandónak vehető, ha 1-nél nagyobb, akkor időben valamennyire változékony. A DF, GYF, KPF és a SZBF minták esetében a radonkoncentrációk időbeli változása figyelhető meg, míg az RF, LF és a KF mintáknál időben állandóak az értékek. A fenti táblázat utolsó oszlopában a szórások százalékos értékei láthatóak. A legnagyobb szórás értéket (21%) a KPF minta esetében tapasztaltam. A DF, GYF és SZBF minták szórás eredményei 10-20% között találhatóak, a RF, LF és KF minták értékei 10% alatt vannak.

Ezek az értékek azt mutatják, hogy a mintavételezett források radontartalmának változékonysága időben gyorsan változó paraméterektől (pl. meteorológiai tényezők) nem függ és a lassan változó hidrogeológiai viszonyok is csak részben befolyásolják. A geológiai háttér és a forrás elhelyezkedése, ami fontos.

## 8.2. A forrásvizek $^{222}\text{Rn}$ koncentrációja és földtani formációja közötti kapcsolat

### 8.2.1. Visegrádi-hegységi forrásvizek

A következő diagramon az átlagos radonkoncentrációk és a földtani formációk közötti összefüggést vizsgálom. Az x tengelyen a minták neve látható, az y tengelyen a forrásvizek átlagos radonkoncentrációi Bq/l egységben.

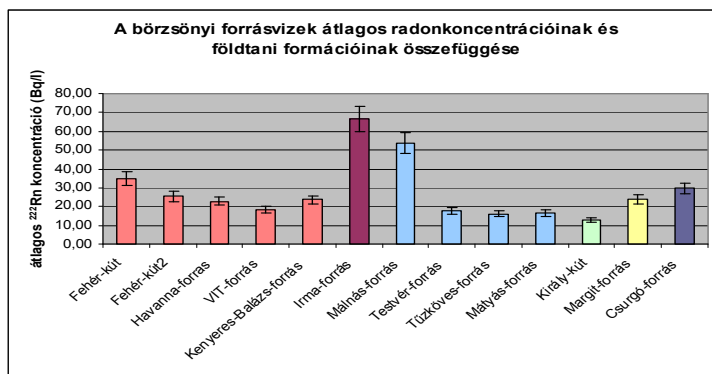


A fenti ábrán azonos színnel jelöltem a Dobogókői andezit formáción elhelyezkedő

15.ábra: A visegrádi-hegységi forrásvizek átlagos radonkoncentrációinak és földtani formációinak összefüggése látható a mérések átlagos mérési bizonytalanságaival feltüntetve (a színek jelentése: zöld-Dobogókői andezit) formáció; rózsaszín-Holdvilágárki dácittufa formáció; kék-folyóvízi üledék)

források, vagyis a Ramszesz-forrást, a Gyopár-forrást, a Kármán-forrást és a Domini-forrást. A Kármán-forrás kivételével a  $^{222}\text{Rn}$  koncentráció értékek hasonlóak. Az Lajos-forrás a Dobogókői andezit formáció és a Holdvilágárki dácittufa formáció határán helyezkedik el, jelen esetben az előbbihez soroltam és külön színnel tüntettem fel, de radontartalma hasonló a többi Dobogókői andezit formáción lévő forrásokhoz. A Kárpát-forrás és a Szilágyi-Bernát-forrás folyóvízi üledéken van, de az utóbbi forrás a lejtőtörmelék formáció határán van. A Kármán-forrás és a Szilágyi-Bernát-forrás vizeiben tapasztalt nagyobb radontartalom lokális radioaktív anyagforrás meglétére utalhat.

### 8.2.2. Börzsönyi források



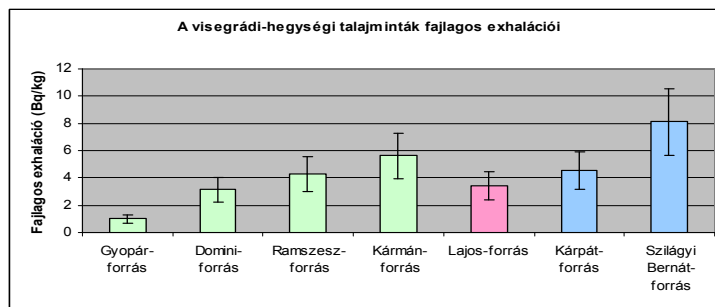
16. ábra: A börzsönyi források radonkoncentrációinak és földtani formációinak összefüggése látható a mérések átlagos mérési bizonytalanságaival feltüntetve (a színek jelentése: rózsaszín-Nagyvölgyi dácittufa; lila-proluviális-deluviális üledék; világoskék-folyóvízi üledék; zöld-Dobogókői andezit formáció; sárga-lösz; sötétkék-Csódihegyi dácittagozat)

A 16. ábrán rózsaszínnel jelöltem a Nagyvölgyi dácittufa formáción lévő források, ide tartozik a Fehérkúti-forrás csoport és a Dr. Kenyeres Balázs forrás. Ezen források radonkoncentrációja 22-35 Bq/l közé esik. A folyóvízi üledéken található források közé sorolható a Málnás-forrás, Testvér-forrás, a Mátyás-forrás és a Tűzköves-forrás, ezeket kék színnel jelöltem. A radontartalmuk a Málnás-forrás kivételével 10-20 Bq/l közötti. Az utóbbi forrás radon koncentrációja 53,7 Bq/l, ez a második legmagasabb érték, amit a Börzsönyben mértem. A legmagasabb radontartalommal az Irma-forrás rendelkezik 66,4 Bq/l, melynek lehetséges oka a nagy exhaláció lehet, de az exhalációs vizsgálatot a börzsönyi mintákon nem végeztem el, így az állításomra csak az átlagos rádiumtartalom

utal és kísérletileg még nem igazolt. A Király-kúti forrás Dobogókői andezit formáción található, ennek radontartalma hasonló a Visegrádi-hegységben vizsgált Domini-forrás, Ramszesz-forrás, és Gyopár-forrás radontartalmával, melyek szintén ezen a földtani formáción vannak. A Curgó-forrás és a Margit-forrás Nógrád községben törnek felszínre, ezek 20-30 Bq/l közötti radontartalommal rendelkeznek, az előbbi a Csódihegyi dácittagozathoz, az utóbbi lösz formáción helyezkedik el.

### 8.3. *A visegrádi-hegységi talajminták fajlagos exhalációi és a földtani formációi közötti kapcsolat*

A fajlagos exhalációkat oszlopdiagramon ábrázoltam és egyforma színnel tüntettem fel azokat a mintákat, melyeket azonos földtani formáción helyezkednek el.



A 17. ábrán azonos színnel jelöltem GYFT; KFT; DFT, RFT mintákat, ezek a Dobogókői andezit formáción bukkannak a felszínre, ez a 3. ábrán látszik a földtani térképen. A fenti ábrából kitűnik, hogy az RFT, DFT minták fajlagos exhalációja

17. ábra: A visegrádi-hegységi talajminták fajlagos exhalációi (a színek jelentése: zöld-Dobogókői andezit formáció; rózsaszín-Holdvilágárki dácittufa formáció; kék-folyóvízi üledék)

hasonló, bár ez várható is volt, hisz alig pár méterre található egymástól a két forrás, ahol a talajmintákat is vettem. Rózsaszínnel jelöltem az LFT mintát, mely a Holdvilágárki dácittufa formációba sorolható, kék színnel ábrázoltam a KPFT és az SZBFT mintákat, melyek folyóvízi üledéken fekszenek. Az SZBFT minta határos a lejtőtörmelékes formációval, ennek a legnagyobb a radon kibocsátás mértéke, ez adódhat a magas rádiumtartalomtól vagy a nagyobb exhaláció mértékéből.

#### 8.4. Exhalációs koefficiens meghatározása

Az exhalációs koefficiens kiszámításához a gamma spektroszkópai és a RAD 7 detektorral történt mérések eredményeit használtam fel. Az exhalációs koefficiens és mérési bizonytalanságát az alábbi képletekkel határoztam meg:

$$\varepsilon = \frac{E}{A_{Ra}} \quad \text{E-exhaláció; } A_{Ra} - {}^{226}\text{Ra aktivitás}$$

$$\sigma_{\varepsilon} = \sqrt{(\sigma_E^2 + (E/A)^2 \sigma_{A_{Ra}}^2) / A^2}$$

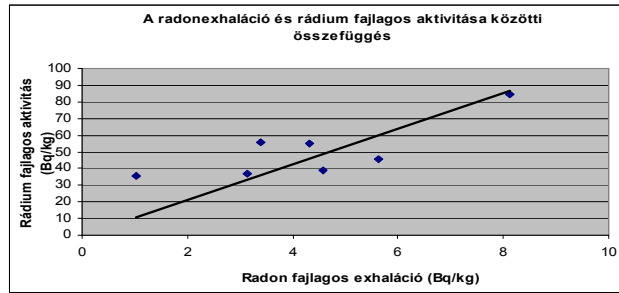
$\sigma_E$  -Exhaláció mérési bizonytalansága

$\sigma_{A_{Ra}}$  -  ${}^{226}\text{Ra}$  aktivitásának mérési bizonytalansága

Minta neve	E (Bq/kg)	A (Bq/kg)	$\varepsilon$	$\sigma_{\varepsilon}$
GYFT	1,02±1,18	35,9±0,12	0,03	0,03
RFT	4,31±1,06	55,3±0,14	0,08	0,02
DFT	3,13±1,07	36,98±0,14	0,08	0,03
LFT	3,4±1,75	55,4±10,3	0,06	0,03
KFT	5,63±2,31	45,39±8,51	0,12	0,05
KPFT	4,58±1,65	38,93±6,75	0,12	0,04
SZBFT	8,13±1,65	84,71±8,73	0,10	0,02

14. Táblázat: Exhalációs együtthatók

A 14. táblázat első oszlopában az exhaláció és annak mérési bizonytalansága van Bq/kg egységben, második oszlopában a  ${}^{226}\text{Ra}$  aktivitása és mérési bizonytalansága (Bq/kg), a harmadik oszlopban az exhalációs koefficiens, negyedik oszlopban az exhalációs koefficiens mérési bizonytalansága látható. Az exhaláció koefficiens értéke azt mutatja meg, hogy a radon milyen mértékben diffundál ki a talajszemcsékből.



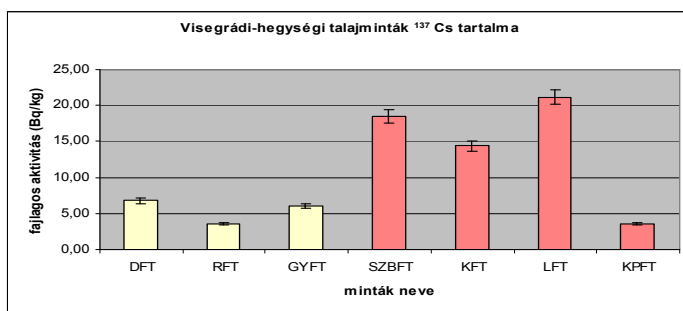
18. ábra:  $^{226}\text{Ra}$  fajlagos aktivitása és a  $^{222}\text{Rn}$  exhaláció közötti összefüggés

A fenti diagramon az x tengelyen a radonexhaláció látható Bq/kg egységben és y tengelyen a rádium fajlagos aktivitása Bq/kg egységben. Az ábrából kitűnik, hogy a rádium - és radontartalom jól korrelál egymással, a korrelációs együttható 0,82 ez azért van, mert a vizsgált talajok exhalációs koefficiensei nagyjából megegyeznek, ami a hasonló talajtípus (barna erdőtalaj) és az egymáshoz közeli elhelyezkedés miatt van.

### 8.5. A $^{137}\text{Cs}$ területi eloszlásának vizsgálata

#### 8.5.1. Visegrádi-hegységben mintavételezett talajminták $^{137}\text{Cs}$ koncentrációja

A talajminták  $^{137}\text{Cs}$  tartalmának területi eloszlását is megvizsgáltam, a mintavételezés minden esetben a talaj felső 0-3 cm-ben történt, mert a cézium nagy része a talaj felső rétegében helyezkedik el, és lassan mozog a talajban lefelé. Az 19. ábrán a cézium területi eloszlását látható.



A 19. ábrán sárga színnel jelöltem azokat a mintákat, melyeket a hegység déli területeiről mintavételeztem, és rózsaszínnel az északi részekről származó talajmintákat. Az ábrából látszik, hogy a Visegrádi-hegység déli részén kevesebb a  $^{137}\text{Cs}$  fajlagos

19. ábra: Visegrádi-hegységi talajminták  $^{137}\text{Cs}$  tartalma (színek jelentése: sárga-hegység déli részén vett minták; rózsaszín-hegység északi részén vett minták)

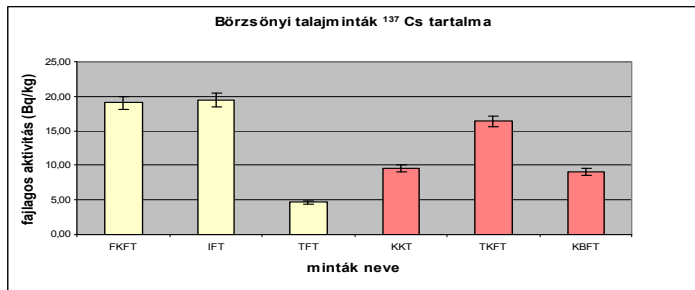
aktivitása, mindhárom minta esetében (DFT, RFT, GYFT) 10 Bq/kg alatti eredményeket kaptam. Az északi területről vett négy minta közül egy 10 Bq/kg alatti, kettő 10 és 20 Bq/kg közötti és egy 20 Bq/kg feletti cézium tartalommal rendelkezik. A  $^{137}\text{Cs}$  fajlagos aktivitása az LFT mintában a legnagyobb 21,18 Bq/kg. Kiszámítottam a vizsgált talajok cézium tartalmának  $1\text{ m}^2$ -re eső aktivitását is, figyelembe véve, hogy én csak  $15\text{ cm} \times 15\text{ cm} = 0,0225\text{ m}^2$  illetve  $13\text{ cm} \times 13\text{ cm} = 0,0169\text{ m}^2$ -es területről vettem mintákat. A kapott adatokból kiszámoltam, hogy 1986-ban mekkora volt a kihullás minimális értéke. A 15. táblázatban foglaltam össze az eredményeket, melyben, az első oszlopban a cézium fajlagos aktivitása látható, a második oszlopban a cézium  $1\text{ m}^2$ -re eső aktivitása a felső 3 cm-ben és a harmadik oszlopban a cézium  $1\text{ m}^2$ -re eső aktivitása 1986-ra visszszámolva. A 15. táblázatban lévő értékeket összehasonlítottam a mellékletben található  $^{137}\text{Cs}$  kihullást bemutató térképpel (1. melléklet, forrás: EURÓPAI CÉZIUM ATLASZ 1998), ami a csernobili reaktorbaleset után mért értékeket mutatja. A mellékletben található térképen az látszik, hogy a Visegrádi-hegységben 1986-ban  $4\text{--}10\text{ kBq/m}^2$  közötti cézium kihullásra következtek. Az általam 1986-ra visszszámolt, feltételezett értékek közül a legnagyobb  $2,23\text{ kBq/m}^2$ , ez a térképen látható tartomány alsó határának kb. a fele.

Minták neve	$^{137}\text{Cs}$ aktivitás (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ ( $\text{kBq/m}^2$ )	$^{137}\text{Cs}$ ( $\text{kBq/m}^2$ ) 1986-ban
DFT	$6,76 \pm 0,34$	$0,4 \pm 0,02$	$0,71 \pm 0,04$
RFT	$3,59 \pm 0,31$	$0,21 \pm 0,02$	$0,37 \pm 0,04$
GYFT	$6,06 \pm 0,31$	$0,36 \pm 0,05$	$0,64 \pm 0,09$
LFT	$21,18 \pm 0,86$	$1,25 \pm 0,05$	$2,23 \pm 0,09$
KFT	$14,4 \pm 0,7$	$0,85 \pm 0,04$	$1,51 \pm 0,07$
KPFT	$3,6 \pm 0,4$	$0,21 \pm 0,02$	$0,37 \pm 0,04$
SZBFT	$18,43 \pm 0,69$	$1,09 \pm 0,04$	$1,94 \pm 0,07$

15. Táblázat: A Visegrádi-hegységi talajminták  $^{137}\text{Cs}$  tartalma, kihullása

#### 8.5.2. Börzsönyben mintavételezett talajminták $^{137}\text{Cs}$ koncentrációja

A vizsgált talajok közül a CSFT mintában nem volt mérhető a  $^{137}\text{Cs}$ , a többi minta céziumtartalmát az alábbi ábrán mutatom be.



A 20. ábrán világosabb színnel jelöltem a Börzsönyaljából (hegység déli része) és sötétebb színnel a Börzsöny északi részéről származó talajmintákat. Az IFT, FKFT, TKFT minták fajlagos cézium aktivitása meghaladja a 15 Bq/kg értéket, a többi

20. ábra: Börzsönyi talajminták  $^{137}\text{Cs}$  tartalma (színek jelentése: sárga-hegység déli részén vett minták; rózsaszín-hegység északi részén vett minták)

mintában 10 Bq/kg alatt vannak az értékek. A börzsönyi talajmintákban is kiszámoltam az egy négyzetméterre eső cézium aktivitást. Az előző alfejezethez hasonlóan itt is visszaszámoltam az értékeket 1986-ra, az eredmények a 16. táblázat utolsó oszlopában láthatóak, ezek közül a legnagyobb érték  $1,29 \text{ Bq/m}^3$ . A Börzsönyben 1986-ban  $2-4 \text{ Bq/m}^3$  illetve  $4-10 \text{ Bq/m}^3$  közötti cézium kihullást mutat az Európai Cézium Atlasz. Mivel a talaj felső részéből 3 cm-ig vettem talajmintákat, így felvetődik a kérdés, hogy valóban a felső rétegben-e a legnagyobb az aktivitás, ha ez így van, akkor a cézium csak lassan migrál a talajban lefelé. Ha ennek az ellenkezőjét tételezzük fel, vagyis a céziumtartalom a talaj felső részén alacsonyabb, akkor valószínűleg nagy szerves anyag tartalommal rendelkeznek. Ha a talajnak nagy a szerves anyag tartalma, akkor a talaj felső részéből gyorsan migrál a cézium a talajvízszint felé [KANYÁR, 1999.]. A 15. táblázat és a 16. táblázat összehasonlításával azt látjuk, hogy az Európai Cézium Atlaszon bemutatott értékekkel összhangban a Börzsönyben mi is kisebb céziumtartalmat mértünk. A térkép kihullási adataiból számolható mai céziumtartalmak nagy részét megtaláltuk a felső 3 cm-ben, ami a cézium lassú mozgását mutatja ezekben a talajokban.

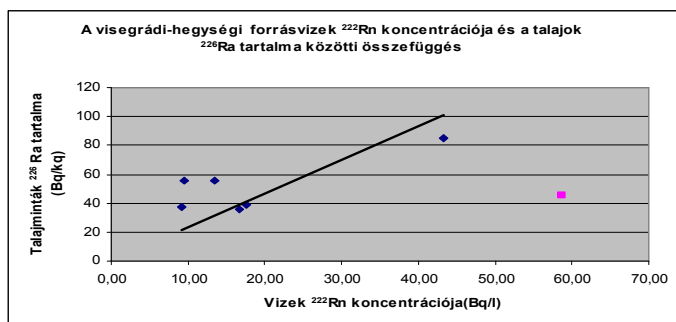
Minták neve	$^{137}\text{Cs}$ aktivitás (Bq/kg)	$^{137}\text{Cs}$ ( $\text{kBq}/\text{m}^2$ )	$^{137}\text{Cs}$ ( $\text{kBq}/\text{m}^2$ ) 1986-ban
IFT	19,5±0,67	0,86±0,03	1,53±0,05
TFT	4,65±0,38	0,21±0,02	0,37±0,04
KKT	9,53±0,39	0,42±0,02	0,75±0,04
TKFT	16,37±0,71	0,73±0,03	1,29±0,05
FKFT	19,08±0,74	0,85±0,03	1,48±0,05
KBFT	9,05±0,61	0,4±0,02	0,71±0,04

16. Táblázat: A börzsönyi talajminták  $^{137}\text{Cs}$  tartalma, kihullása

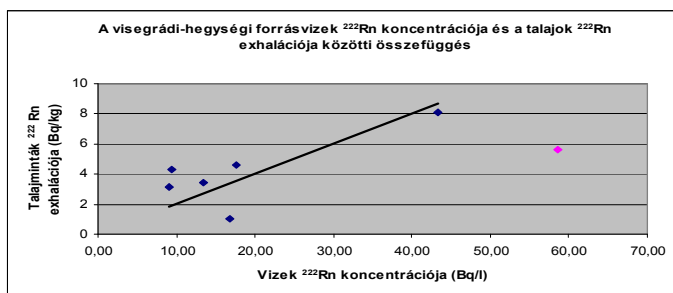
## 8.6. A forrásvizek $^{222}\text{Rn}$ koncentrációja és a talajminták $^{226}\text{Ra}$ tartalma közötti összefüggés vizsgálata

### 8.6.1. Visegrádi-hegységi forrásvizek

A következő ábrákon a vizek radontartalmának a talajok rádiumtartalmával és radonexhalációjával való összefüggését mutatom be. Mindkét diagramon korreláció figyelhető meg. Az első esetben 0,42 a korrelációs együttható értéke, míg a második esetben 0,66, ez azt támasztja alá, hogy a vizek radontartalma jobban függ az exhalációtól, mint a talaj rádiumtartalmától ebben az esetben. A Kármán forrás radontartalma mindkét ábrán kiesik az arányosságból, ennek elhagyásával még erősebb korreláció mutatkozik. Ez felveti azt a kérdést, hogy a Kármán forrásnál milyen folyamat van a kiugró radontartalom hátterében.



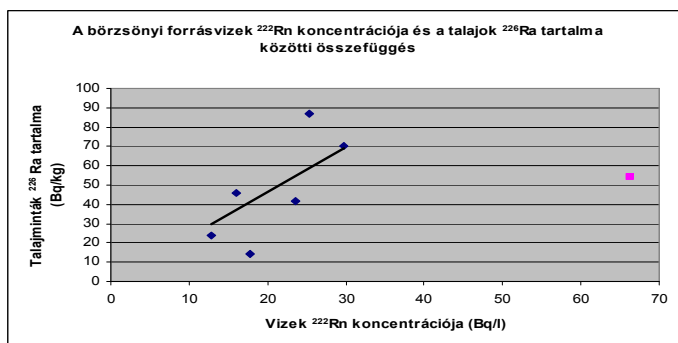
21. ábra: A Visegrádi-hegységi vizek radonkoncentrációja és a talajok rádium tartalma közötti összefüggés



22. ábra: A vizek radonkoncentrációja és a talajok radonexhalációja közötti összefüggés

### 8.6.2. Börzsönyi forrásvizek

A 23. ábrán a börzsönyi vizek radontartalmának és a talajok rádiumtartalmának összefüggését mutatom be. Az ábrából kitűnik, hogy a radon-és a rádium jól korrelál egymással a legtöbb esetben. A korrelációs együtthatójuk 0,76, ami szintén az előbbi állítást igazolja. A rózsaszínnel jelölt kiugró érték az Irma-forrás, melynek radonkoncentrációja nem mutat lineáris kapcsolatot a talaj rádiumtartalmával, így valószínűleg magas radon tartalom a talaj exhalációjából származhat, de ezt a vizsgálatot a börzsönyi mintákon nem végeztem el.



23. ábra: A vizek radonkoncentrációja és a talajok rádiumtartalma közötti összefüggés

## 9. Összefoglalás

A szakdolgozatomban a Visegrádi-hegység és a Börzsöny forrásvizeinek radontartalmát és a forrásvizek közeléből vett talajminták radioaktív izotóptartalmát és radonexhalációját vizsgáltam. A mintavételezések novembertől ápriliséig zajlottak, a Visegrádi-hegységben 15 alkalommal jártam, ahol 47 vízmintát és 7 talajmintát gyűjtöttem. A Leányfalui Termálfürdőben 2 alkalommal vettem vízmintákat a forrást szállító csővezeték elejéből és végéből illetve 1 alkalommal a gyógymedence vizéből. A Börzsönyben 1 alkalommal mintavételeztem 13 forrásvízből és 7 talajmintából.

A Visegrádi-hegység forrásvizeiben hat hónapra átlagolva 9,1-17,6 Bq/l átlagos radonkoncentrációkat mértem, kivétel az Szilágyi-Bernát-forrás és a Kármán-forrás, ezekben 43,2 Bq/l illetve 58,7 Bq/l volt a radontartalom. A Börzsöny megmintázott felszín alatti vizeinek radontartalma 12,8-34,9 Bq/l, kivéve az Irma-forrást és a Málnás-forrást, melyekben 53,7 Bq/l és 66,4 Bq/l radonkoncentrációt mértem. A Leányfalui Termálfürdőben a vízminták radonkoncentrációi 23,6 Bq/l (forrást szállító csővezeték elején vett minta), 14,1 Bq/l (forrást szállító csővezeték végén vett minta) és 3,6 Bq/l (gyógymedencéből vett minta). A gyógymedencében mért alacsony koncentráció oka az lehet, hogy csak 5 cm mélyről vettem mintát és innen még könnyedén ki tud diffundálni a radon. A börzsönyi forrásvizek közül az Irma-forrás, a Tűzköves-forrás és a Mátyás-forrás radontartalmát Kiss Rózsa is vizsgálta 1993-ban, ezek eredményeit összehasonlítottam az általam mért radonkoncentrációkkal. Az Irma-forrás értékei hibahatáron belül megegyeztek, a másik két forrás esetében 2-3 Bq/l volt a különbség, de ez sem jelent számottevő eltérést. Ezen források radontartalmát várhatóan állandónak lehet tekinteni.

A Visegrádi-hegységi forrásvizek radontartalmának megvizsgáltam az időbeli változékonyságát, mely során a legmagasabb szórás is csak 21% volt a Kárpát-forrás esetében, ami annyit jelent, hogy megmintázott vizek radontartalma nem függ a gyorsan változó paramétereiktől, például a meteorológiai tényezőktől és a lassan változó hidrogeológiai viszonyok is csak részben befolyásolják. A geológiai háttér és a forrás elhelyezkedése a fontos.

A Visegrádi-forrásvizek radontartalmának és földtani formációinak összefüggését is megnéztem és ez alapján a Dobogókői andezit formáción lévő forrásvizek közül a Domini-forrás, a Ramszesz-forrás és a Gyopár-forrás hasonló

radontartalommal rendelkezik, kivétel a Kármán-forrás. A Kármán-forrás magasabb radonkoncentrációjának forrása az exhaláció lehet, mert a forrás közeléből vett talajminta exhalációs együtthatója nagyobb a többi talajmintához viszonyítva, de rádiumtartalma nem kiemelkedő. A Lajos-forrás a Holdvilágárki dácittufa formáció és a Dobogókői andezit formáció határán van, a radontartalma hasonló az előbb említett mintákéhoz. A Kárpát-forrás és Szilágyi-Bernát-forrás folyóvízi üledéken található, de utóbbi a lejtőtörmelékes formációval határos, és radonkoncentrációja is magasabb, mint a Kárpát-forrásnak. A Szilágyi-Bernát-forrás magasabb radontartalmának oka a talaj magas rádiumtartalma lehet, illetve az exhaláció mértéke is nagyobb a többi talajmintához képest. A Börzsönyben az Fehérkúti-forrás csoport és a Dr. Kenyeres-Balázs-forrás a Nagyvölgyi dácittufa formáción helyezkednek el, ezek radonkoncentrációja 22-35 Bq/l. A folyóvízi üledéken található források közül a Testvér-forrás, Mátyás-forrás és a Tűzköves-forrás radontartalma 10-20Bq/l közé esik, kivétel a Málnás-forrás, aminek 53,7 Bq/l. Ennek oka, lehet a magasabb rádiumtartalom vagy az exhaláció, de az Málnás-forrás közeléből nem mintavételeztem a talajból, így ezt egyértelműen nem lehet kijelenteni. A Király-kút a Dobogókői andezit formáción tör a felszínre, ennek radon tartalma hasonló a Visegrádi-hegységben vizsgált Domini-forrás, Ramszesz-forrás, és Gyopár-forrás radonkoncentrációjához, melyek szintén ezen a földtani formáción vannak. A Csurgó-forrás és a Margit-forrás Nógrád községében található, 20-30 Bq/l közötti radontartalommal rendelkeznek, az előbbi a Csódihegyi dácittagozathoz, az utóbbi lösz formáción helyezkedik el. Azon földtani képződményekre, ahol több forrás átlagát is megvizsgáltam, kiszámoltam a formációra vonatkozó átlagot, az eredmények a 3. mellékletben találhatóak. Ebben látható, hogy a három formáció forrásainak átlagos radontartalma nem tér el lényegesen egymástól.

A talajmintákban gammaspektroszkópiás módszerrel meghatároztam az egyes radioaktív izotópok fajlagos aktivitását. E mérések eredményei alapján a  $^{226}\text{Ra}$  tartalom 11 mintában 35-55 Bq/kg, 3 mintában (SZBFT, FKFT, CSFT) 71-87 Bq/kg. Az egész világra vonatkoztatva a talaj átlagos rádiumtartalma 32 Bq/kg, ez az érték az előbb említett három mintában közel az átlag 2,5-szerese. A talajminták  $^{40}\text{K}$  tartalmára 136-463 Bq/kg közötti értékeket kaptam, két mintában volt magasabb az átlagos értéknél (412 Bq/kg), a többi mintában alacsonyabb volt a fajlagos aktivitás. A  $^{232}\text{Th}$  fajlagos aktivitása az összes mintában alacsonyabb volt, mint az átlagos világérték (45Bq/kg).

A talajmintákban a  $^{137}\text{Cs}$  tartalmát is vizsgáltam, amiből az derült ki, hogy a csernobili reaktorbaleset következményeként még mindig megtalálható a talajok felső részeiben a cézium. A  $^{137}\text{Cs}$  fajlagos aktivitása a talaj felső 3 cm rétegében KPFT, RFT, TFT mintákban 5 Bq/kg alatti, a DFT, GYFT, KKT és KBFT mintákban 5-10 Bq/kg, és a KFT, LFT, SZBFT IFT, TKFT, FKFT esetében 14-21 Bq/kg. A CSFT mintában nem volt mérhető a  $^{137}\text{Cs}$ . Kiszámítottam a vizsgált talajok cézium tartalmának 1 m<sup>2</sup>-re eső aktivitását és a kapott eredményekből kiszámoltam, hogy mekkora lehetett a cézium kihullása 1986-ban. Az *1. mellékletben* található térképen az látszik, hogy a Visegrádi-hegységben 1986-ban 4-10 kBq/m<sup>2</sup>, a Börzsöny nyugati területein 4-10 kBq/m<sup>2</sup>, keleti részén 2-4 kBq/m<sup>2</sup> cézium kihullás volt várhatóan. Az általam mért legmagasabb eredmények 1986-ra visszszámolt értéke a Visegrádi-hegységben 2,23 kBq/m<sup>2</sup> és a Börzsönyben 1,53 kBq/m<sup>2</sup>. Ebből arra lehet következtetni, hogy a cézium valószínűleg mélyebben is megtalálható, nemcsak a felső 3 cm-ben, ami azért van, mert a cézium migrál a talajban és a nagyobb szerves anyag tartalom például segíti a cézium gyorsabb vándorlását a talajvízszint felé. A cézium területi eloszlását is megvizsgáltam, amiből az látszik, hogy a Visegrádi-hegység déli részein vett mintákban alacsonyabb a fajlagos aktivitás értéke, mint az északi területeken. A Börzsönyben fordított a helyzet, ott az északi részeken alacsonyabb a fajlagos aktivitás.

A forrásvizek radonkoncentrációjának és a talajok rádiumtartalmának összefüggését is megvizsgáltam, ami mindkét hegységben vett mintáknál közel lineáris kapcsolatot mutat. A börzsönyi mintákban a radon-és rádium közötti korrelációs együttható 0,76, a visegrádi-hegységi mintákban 0,42, utóbbi érték gyenge korrelációra utal.

Az exhaláció vizsgálatokat csak a Visegrádi-hegységben vett mintákon végeztem el, az eredmény 1-8Bq/kg közötti értékek. A radonexhaláció és vizek radontartalma közötti korreláció figyelhető meg (*21. ábra*), amit a korrelációs együttható értéke is alátámaszt, ez 0,66. Ez alapján arra lehet következtetni, hogy a vizek radontartalma jobban függ az exhalációtól, mint a rádiumtartalomtól. A vizek radonkoncentrációi a talaj rádiumtartalmával és az exhalációval meglepően jól korrelálnak, ahhoz képest, hogy a talajmintákat a források 4-8 méteres környezetében lévő talajból mintavételeztem. Ez alapján arra lehet következtetni, hogy a vizsgált vizek radontartalma lokális jellegű forrásból származik, ami lehet az ott lévő talaj rádiumtartalma vagy az exhaláció jelensége.

## 10. IRODALOMJEGYZÉK

BARADÁCS, E.-HUNYADI, I.-DEZSŐ,Z.-CSIGE,I.-SZERBIN, P. (2001.):  $^{226}\text{Ra}$  in geothermal and bottled mineral waters of Hungary, Radiaton Measurements, (2001.), p. 385-390.

CSÁSZÁR G. (2005.): Magyarország és környezetének regionális földtana, ELTE Eötvös Kiadó Kft., Budapest, pp. 162-163

EPA (Environmental Protection Agency) (2002): Facts About Cesium-137, 2002 jul, Environmental Protection Agency

ERIKSSON, J.- SIMONSSON, M. (2005): Wiklanders Marklara Studentliteratur, Lund, pp. 67

EURÓPAI CÉZIUM ATLASZ (1998) : European Commission, 1998. ATLAS of caesium deposition on Europe after the Chernobyl accident. EUR 16733, Office for Publications of the European Communities, Luxembourg. European Commission, 176 A3

HÁMORI K.(2004.): A magyarországi lakások radonszintje - Egészségtudomány, 2004/48,

KANYÁR B. (1999.): A tápláléklánc szennyeződése radioaktív anyaggal - Fizikai Szemle, 1999/6, p.241.

KARÁTSON D. (2002.): Magyarország földje, M.Kvklub Kiadó, Budapest, pp. (355-362)

KISS R. (1998.): A talajvizek radonkoncentrációjának mérése és környezeti hatásainak tanulmányozása

KÖTELES GY.(1994.): Radon a környezetünkben - Fizikai Szemle, 1994/6, p. 233-240.

MARX. GY.(2002.): Atommag-közelben, Mozaik Kiadó, Szeged, pp.(49-53;197-203.)

ORBÁN I. (2008): Felszín alatti vizek radontartalmának vizsgálata Békés és Pest megyékben szakdolgozat-ELTE Atomfizikai Tanszék

SOMLAI J. (2004): Atomerőművek környezeti hatásai (Magyar Atomforum Egyesület)

SZATMÁRI M.-ASZÓDI A. (2005): Csernobil: tények, okok, hiedelmek, pp. 110-112

TÓTH Á. (1999.): A lakosság természetes sugárterhelése, Akadémiai Kiadó, Budapest, pp.(87-97; 127-129; 135-143)

TÓTH E. (1999.): Radon a magyar falvakban - Fizikai Szemle, 1999/2, p.44-48.

TÓTH E. (2004.): Lakótéri radon és rák kockázata Magyarországon - XIV. Környezeti ártalmak konferencia, Hévíz (2004.)

UNSCEAR Report (2006.): Exposures from natural radiation sources- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York; p. 97-99.

UNSCEAR Report (2008.): Sources and effects of ionizing radiation- United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York; p. 5-7, 18.

VÁSÁRHELYI, A.- CSIGE, I.-HAKL, J.-ÉS HUNYADI, I. (1997.): Spatial distribution of radon content of soil-gas and well-waters measured with etched track radon monitors, Radiation Measurements,(1997.), p.685-690.

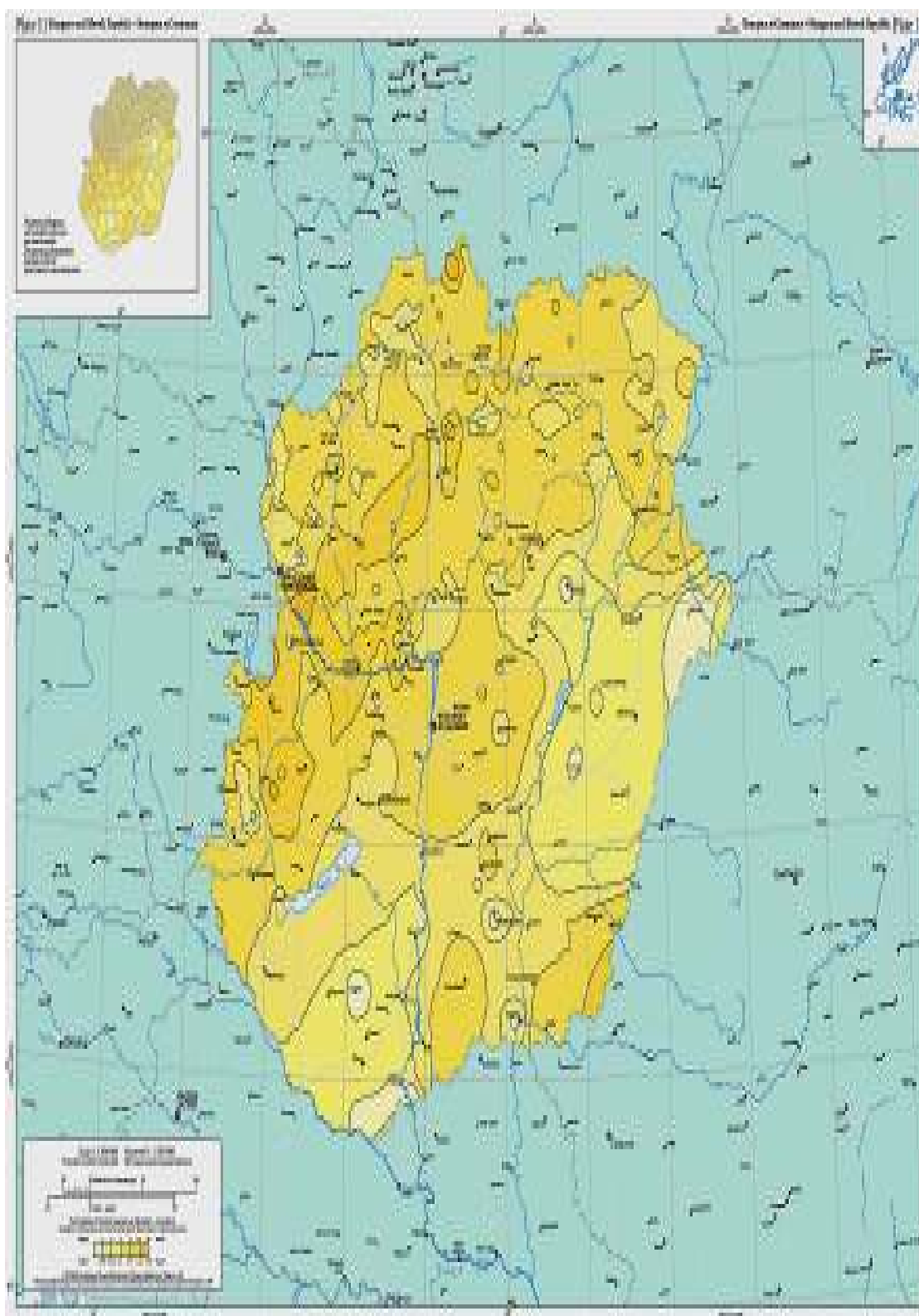
WHO (2009.): Handbook on indoor radon- WHO Library Cataloguing-in-PublicationData, edited by Hajo Zeeb, and Ferid Shannoun

ZOURIDAKIS, N.-OCHSENKÜHN, K.M.-SAVIDOU, A. (2002.): Determination of uranium and radon in potable water samples, Journal Of Environmental Radioactivity (2002.), p.227-228.

[1] <http://ludens.elte.hu/~akos/sflab/rex>

[2] <http://ludens.elte.hu/~akos/sflab/gam>

## 11. MELLÉKLET



1. melléklet:  $^{137}\text{Cs}$  kihullása Európában 1986-ban (Forrás: EURÓPAI CÉZIUM ATLASZ 1998, Szabó Katalin Zsuzsanna segítségével)

Minta neve	Mért vízhozam (liter/perc)	Mérés időpontjai
Domini-forrás	4,3±0,02	2010. 11.28.
Ramszesz-forrás	4,43±0,02	2010.11.28.
Szilágyi-Bernát-forrás	1,45±0,02	2011.02.06.
Gyopár-forrás	0,65±0,02	2010.11.28.
Kárpát-forrás	1,87±0,02	2011.02.06.
Lajos-forrás	24,4±0,02	2011.02.06.
Király-kút	1,78±0,02	2011.04.14
Margit-forrás	8,3±0,02	2011.04.14.

2. melléklet: Az egyes forrásokban mért vízhozamok értékei és időpontjai

Földtani formációk	Források	Források átlagos $^{222}\text{Rn}$ tartalmainak átlaga (Bq/l)	Források átlagos $^{222}\text{Rn}$ tartalmainak minimuma (Bq/l)	Források átlagos $^{222}\text{Rn}$ tartalmainak maximuma (Bq/l)
Nagyvölgyi dácittufa	KBF; FHKF	24,5±2,2	18,5±1,8	34,9±2,8
Dobogókői andezit formáció	RF; KF; DF; GYF; KK	21,4±1,8	9,1 ±1	58,7±4,1
Folyóvízi üledék	KPF; SZBF; MF; TF; MF2; TKF;	27,5±2,3	16±1,6	53,7±3,8

3. melléklet: Az egyes földtani formációkon található források radontartalmainak átlaga, minimuma, maximuma és azok mérési bizonytalansága

