EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM
TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

KÖRNYEZETTUDOMÁNYI CENTRUM

FELSZÍN ALATTI VIZEK RADONTARTALMÁNAK VIZSGÁLATA ISASZEG TERÜLETÉN

SZAKDOLGOZAT

Készítette:
KLINCSEK KRISZTINA
KÖRNYEZETTUDOMÁNY SZAKOS HALLGATÓ

Témavezető:
HORVÁTH ÁKOS
egyetemi docens

Budapest
2010

1. Bevezetés

***1. A természetes radioaktivitás eredete*……....1**

1. Az emberek viszonya a lakosságot érő sugárterheléshez……...2

2. A természetes radioaktivitás forrásai……2

***2. Radioaktív bomlási sorok*…….....3**

***3. A radon tulajdonságai*……...4**

2. Irodalmi áttekintés a radonról

***1. A radon vizsgálatának története*……....5**

***2. Radontérképezés*……...6**

***3. Magyarországi radonmérések eredményei*……..7**

***4. A radon egészségügyi hatásai*……10**

***5. A radon jótékony hatása*……12**

***6. Radon a termálvizekben, gyógyfürdőkben*…….……13**

7. *Radon felszín alatti vizekben*……..14

***8. A radon felszín alatti útja*……...15**

3. A mintavételi terület jellemzése, geológiai háttere, a mintavételi pontok leírása

***1. Isaszeg földtani jellemzői*……16**

***2. A felszínt alkotó kőzetek minősége*……17**

***3. Talajtípusok a területen*……..18**

***4. Felszíni vizek a területen*……18**

***5. A mintavételi pontok elhelyezkedése*……..19**

1. Ásott kutak leírása………21

2. Fúrt kutak leírása………23

***6. A megcsapolt rétegek geológiai tulajdonságai*……..27**

4. Mintavételi eljárás

***1. Előkészületek mintavételhez*……...31**

***2. Mintavételi eljárás*……...31**

***3. A mintavételi eljárásból származó radon veszteség*……...32**

***4. A minta előkészítése méréshez*……....33**

5. A radontartalom meghatározásának módszere

***1. A mérési módszer elve*……..34**

***2. A Printen szereplő adatok*……..35**

3. Kiértékelési eljárás

1. Az excel tábla felépítése……...36

2. A minta radontartalmának kiszámítása……...37

6. Eredmények bemutatása

1. Ásott kutak mérési eredményeinek bemutatása……...38

2. Fúrt kutak mérési eredményeinek bemutatása……38

3. Ásott kutak radonkoncentrációjának időbeli átlaga……39

4. Fúrt kutak radonkoncentrációjának időbeli átlaga……40

7. Diszkusszió

***1. Átlagértékek vizsgálata a területi átlaghoz viszonyítva ásott kutak* esetében**……41

***2. Átlagértékek vizsgálata a területi átlaghoz viszonyítva fúrt kutak esetében*.42**

3. A Pleisztocén és Felső Pliocén korú kőzetrétegekre jellemző radonkoncentráció értékek……..43

4. Időbeli változékonyság vizsgálata……...44

1. Ásott kutak eredményei ……...45

2. Fúrt kutak eredményei……47

5. A felszín alatti vizek jellemzése egészségügyi szempontból……50

6. Gamma dózisteljesítmény mérésének eredményei……50

1. Mérési eredmények és következtetés……...51

8. Összefoglalás……...53

Köszönetnyilvánítás……54

Irodalomjegyzék……..55

Ábrajegyzék……57

Táblázatok jegyzéke……58

Függelék……...59

1. Bevezetés

Jelen dolgozat során célkitűzésünk Isaszeg területének radioaktivitás szempontjából történő jellemzése, ezen belül a geológiai formációk mennyiségi jellemzésével felszín alatti vizekből, kutakból vett vízminták radontartalmának vizsgálatával, valamint felszíni gamma dózisteljesítmény területi eloszlásának jellemzésével. Ez a felmérés része lehet természetes radioaktivitás felméréseknek és radonpotenciál térképezéshez is használható adatokat szolgáltat.

A vizsgálati terület kiválasztásánál három fontos szempontot vettünk figyelembe. Egyrészt Isaszeg területén még nem történt ilyen jellegű radonvizsgálat felszín alatti vizekből, így új információt kaphatunk a területről. Másrészt ez a méréssorozat segítheti az Isaszeg területéről készülő radonpotenciált vizsgáló tanulmányt, végül pedig szubjektív okok, mivel Isaszeg a szülővárosom, ahol saját és családtagjaim ismeretségi köre sokat segített a mintavételi helyek, kutak elérésében, az Isaszegi Településüzemeltetési és Vízmű Kft-vel való kapcsolatfelvételben. Természetesen a kíváncsiság is közre játszott a helyszín kiválasztásában otthonom radioaktivitás szempontjából történő vizsgálatának eredménye iránt.

Fontosnak tartom, hogy az emberek tisztában legyenek saját környezetük, lakóhelyük környezeti adottságaival, megismerjék az őket körülvevő természetes jelenségeket. Érdemes tisztában lenni a minket érő környezeti hatásokkal, eredetükkel, és kockázatukkal, tudjunk ezekről, egészségügyi hatásaikról tudományos igényességgel beszélni, legyen szó akár a természetes radioaktivitásról, akár más egyszerű, „a hétköznapokban” rendszeresen mért értékekről, mint a levegő hőmérséklete.

1. A természetes radioaktivitás eredete

Az élőlények, köztük az ember evolúciós fejlődése során kezdettől fogva kapcsolatban állt környezetének természetes eredetű radioaktivitásával. Az idő múlásával ezen radioaktív elemek száma folyamatosan csökkent, így az élet kialakulásakor magasabb radioaktivitással kell számolnunk, mint a jelenben. Így természetes hatásként tartjuk számon a környezetből származó radioaktivitást, melyhez szervezetünk evolúciós fejlődése során alkalmazkodott.

1. Az emberek viszonya a lakosságot érő sugárterheléshez

Napjainkban sokan indokolatlan mértékben tartanak a radioaktivitás hatásaitól. Ennek a társadalmi jelenségnek több oka lehet, mint például a megfelelő információk, tudás hiánya, az ismeretlentől való félelem jelensége. Nem segíti ezen vélemény enyhítését az sem, hogy a médiában gyakran megalapozatlan, túlzó állítások hangzanak el a radioaktivitás veszélyeit illetően, valamint politikai, gazdasági szereplők intézkedései is szerepet játszhatnak a túlzott félelem kialakulásában. Szót kell ejtenünk még az antinukleáris aktivistákról, akik sok esetben tudományosan megalapozatlan, eltúlzott nézeteket hangoztatnak a radioaktivitás fogalmáról, tekintet nélkül arra, hogy az emberi társadalom számára az őt érő radioaktív hatások többsége természetes jellegű.
A lakosságot érő sugárterhelés összetétele a következő:

- Természetes háttérsugárzás a népességet érő kollektív dózis.
- Diagnosztikai és orvosi sugárterhelés, ami napjainkban könnyen csökkenthető a diagnózis minőségének romlása nélkül.
- Mesterséges radioaktív sugárzás, mint a kísérleti atomrobbantásokból, nukleáris fűtőanyagciklusból származó terhelés, illetve atomerőmű baleset radioaktív maradványai. *(*Becker, K. 1995.*)*

Jelen dolgozat során a természetes eredetű radioaktivitással, azon belül a ^{222}Rn (radon) nemesgázzal kapcsolatos kérdésekkel foglalkozunk.

2. A természetes radioaktivitás forrásai

Az univerzum kialakulása során történt szupernova robbanások következtében születtek a vasnál nagyobb rendszámú ***stabil elemek, rövid felezési idejű izotópok****, és* ***hosszú felezési idejű elemek****. ez utóbbiak közül* az urán, tórium izotópok ma is megtalálhatóak a természetben. (Ezek alfa bomló atommagok, és leányelemeik is radioaktívak lesznek, bomlási sorokat alkotnak, melyek végén az ólom, illetve bizmut stabil izotópjai találhatóak.)
A természetes radioaktivitás összetevői továbbá a ***kozmikus sugárzás hatására kialakuló izotópok***.

Az elemek keletkezése után milliárd éves nagyságrendű felezési idővel rendelkező izotópok, mint például a ^{238}U, ^{232}Th, ^{235}U, továbbá a ^{40}K izotóp, melynek felezési ideje 1,227 milliárd év. Ez az izotóp 0,018 % gyakoriséggal fordul elő a stabil ^{39}K izotóp mellett. A Földön jelen lévő Argon, ami a légkör 1%-át alkotja, ^{40}K –ből jött létre béta bomlással (10,7% valószínűséggel), így látható, hogy igen nagy

mennyiségben van jelen ^{40}K a Földön. A ^{40}K-ból negatív béta bomlással ^{40}Ca is képződik.

Egy másik jelentős tényező a természetes radioaktivitás tekintetében a trícium és a ^{14}C. Keletkezésének oka, hogy a felső légrétegekben a kozmikus sugárzást alkotó nagy energiájú protonok kölcsönhatásba lépnek a légréteg anyagával, és semleges neutront hoznak létre. Ez nekiütközik a légköri nitrogénnek, és bizonyos valószínűséggel kiüt egy protont az atommagból, így 5730 év felezési idejű ^{14}C képződik. Ha a nitrogén magával ránt egy neutront és egy protont, akkor 12,3 év felezési idejű ^{3}H (trícium) és stabil ^{12}C keletkezik.

A ^{12}C és ^{14}C diffúzióval szétterjed a légkörben, beépül az élő szervezetekbe, valamint a természetes radioaktivitás egyik forrása is ez lesz, például a felszíni vizekben.

A ***radiokarbon kormeghatározás*** elve éppen a ^{14}C és ^{12}C izotópok arányának meghatározásán alapul. Ez azonban csak maximum 40-50 ezer éves minták esetén alkalmazható, hiszen a ^{14}C izotóp ezután teljesen lebomlik. Az élőlény halála után az anyagcsere megszűnik, így a $^{14}C/^{12}C$ arány a bomlás miatt folyamatosan csökkenni fog a mintában.

2. Radioaktív bomlási sorok

A radioaktív bomlásoknak három főbb fajtáját kell megemlítenünk:

- Alfa-bomlás: az atommagból kiválik egy hélium atommag (2 proton, 2 neutron). A tömegszám néggyel, a rendszám kettővel csökken. Áthatoló képessége kicsi, 1 mm alatti, viszont ionizáló hatása igen nagy.
- Béta-bomlás: az atommagban egy neutronból proton lesz, miközben elektron kibocsátása történik (tömegszáma változatlan marad, rendszáma eggyel nő). Ez az elektron alkotja a béta sugárzást, mely közepesen ionizáló, hatótávolsága levegőben pár 10 cm.
- Gamma-bomlás: az atommagból energia távozik nagy energiájú fotonként. A rendszám és tömegszám változatlan marad, az atommag energiája csökken. Az alfa és béta bomlások kísérőjelensége szokott lenni. Igen nagy hatótávolsága van, nagy tömegszámú elemekkel (pl.: ólommal) lehet gyengíteni.

Radioaktív bomlás során egy kiindulási elemből (anyaelem) új (leányelem) jön létre, amely szintén radioaktív lehet, így újabb bomlás történik mindaddig, amíg a soron következő leányelem nem egy stabil izotóp lesz.

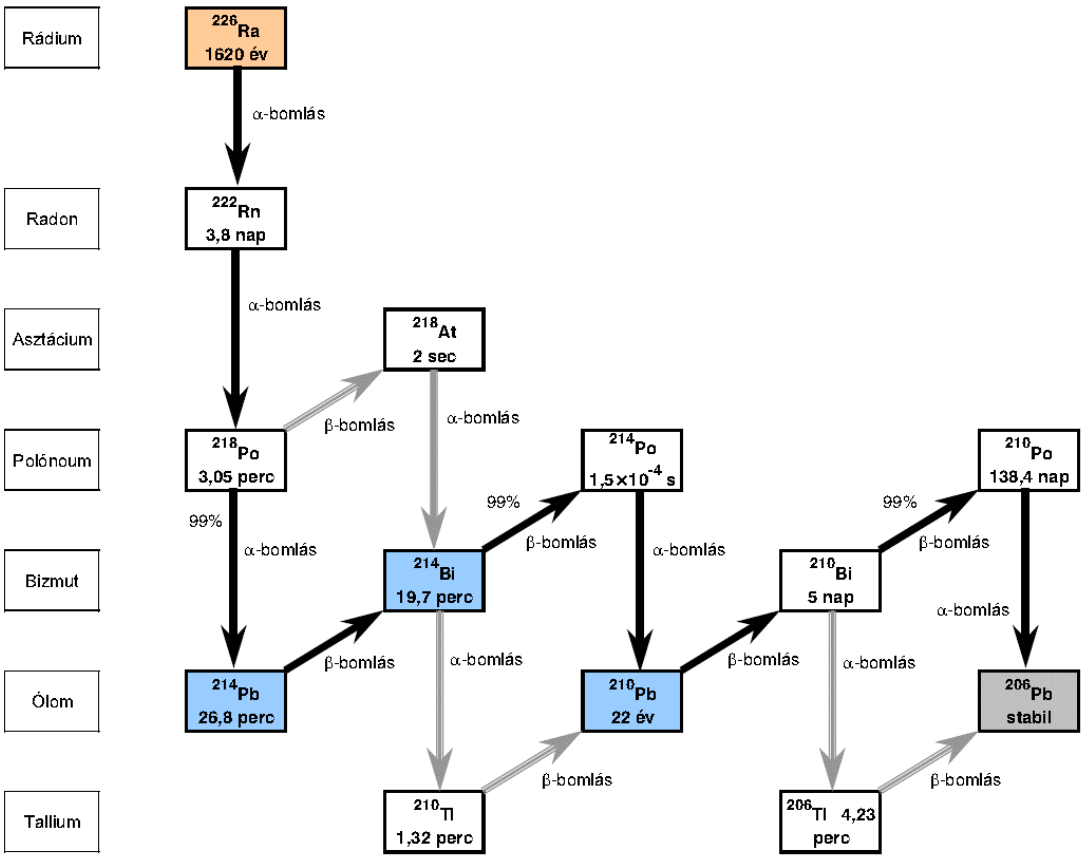
Radioaktív alfa bomlás esetén a tömegszám tehát néggyel csökken, béta és gamma bomlás esetén nem változik, ezért a tömegszám változás 4 többszöröse lehet egy radioaktív soron belül. Ez alapján négy bomlási sor létezik, attól függően, hogy az adott elem tömegszámát néggyel osztva 0, 1, 2 vagy 3 maradékot kapunk.

A négy sorból mára csak három maradt meg, a ^{238}U, ^{235}U és a ^{232}Th sora, mert a negyedik, ^{237}Np sor anyaelemének felezési ideje rövid, 2 millió év,vagy még kevesebb, így ez a sor már gyakorlatilag lebomlott, a természetben nem található meg, csak mesterséges forrásból származhat ebbe a sorba tartozó elem.

Az említett bomlási sorok közül számunkra a ***^{238}U sora*** lesz a továbbiakban a legjelentősebb. Ezen sor elemei között található ugyanis a ***^{222}Rn izotóp (radon),*** ami 3,8 nap felezési idejű radioaktív nemesgáz. Felezési ideje lehetővé teszi, hogy ha a felszín alatt nem túl nagy mélységben keletkezik, illetve ha a keletkezési helyét borító kőzetek és talaj tulajdonságai azt lehetővé teszik, kijusson a felszínre, ott felhalmozódjon barlangokban, a házak pincéjében, földszinti szobáiban, illetve beoldódjon felszín alatti és felszíni vizekbe.

3. A radon tulajdonságai

A radon az urán sor hatodik eleme, közvetlenül rádiumból keletkezik alfa bomlással. Leányelemei szintén radioaktívak: a ^{218}Po 3 perc felezési idejű alfa bomló izotóp, melyből ^{214}Pb és ^{214}Bi keletkezik. Ezek béta bomló izotópok, felezési idejük nagyjából fél óra. A ^{214}Bi-ból létrejövő ^{214}Po felezési ideje csak néhány mikroszekundum. Belőle alfa bomlással ^{210}Pb lesz, mely felezési ideje már nagy, 21 év. Az emberi léptékben nagy felezési idő miatt azt mondják, hogy a „radon bomlási sora itt megszakad”. Pár hét alatt minden radon leányelem lebomlik, és ^{210}Pb lesz belőlük.



1.ábra A radon leányelemeinek radioaktív bomlásai, felezési idejük.

(SOMLAI J. et al. 1999)

A hogy a radonnak három izotópja fordul elő a természetben. A ^{238}U sorába tartozó radon (^{222}Rn), mellyel a továbbiakban foglalkozunk, a ^{232}Th sor elemei közé tartozó toron (^{220}Rn), valamint a ^{235}U sor egyik rövid felezési idejű eleme, az aktínion (^{219}Rn). Utóbbi kettőt rövid felezési idejük miatt nehéz vizsgálni.

Ezek tulajdonságait az *1. táblázatban* láthatjuk.

Név	Izotóp	Felezési idő	Bomlási sor	Bomlási sor anyaelemének izotóp aránya (%)
Radon	^{222}Rn	3.82 nap	^{238}U	99.28
Toron	^{220}Rn	55.6 s	^{232}Th	100.00
Aktínion	^{219}Rn	4 s	^{235}U	0.72

1.táblázat A radon izotópjai és azok tulajdonságai

2. Irodalmi áttekintés a radonról

1. A radon vizsgálatának története

A radioaktivitás 1896-os felfedezését követően egyre több vizsgálatot végeztek ezen jelenségek jobb megismerése érdekében. Ezt megelőzően már a XVI. századtól

felfigyeltek a bányászok körében gyakori tüdőbetegségekre, de ennek kiváltó okának a kőport, toxikus fémeket tartották. A tüdőrák főleg uránbányászok körében történő nagy arányú kialakulásának okaként később már a Rutherford által 1900-ban felfedezett radont tették felelőssé (WHO 2009.) (VÉRTES A. 2010.).

Hazánkban a radioaktivitás kérdéskörével Szilárd Béla foglalkozott elsőként az 1900-as évek elején. Lengyel Béla a magyarországi ásványvizek radioaktivitását kutatta, valamint elsőként mérte fel a Lukács fürdő vizének aktivitását. (MÓCSY et al. 2009.)

1908-12 között Szászországban végzett kutatás során magas radonkoncentrációt mértek egy gyógyforrás vizében. További vizsgálatok során megállapították, hogy a vizsgált bányában lévő víz és levegő nagy mennyiségű rádiumemanációt tartalmaz. (KÖTELES GY. 1994.)

Ludewig és Lorenser mutatták ki elsőként a rádium és a tüdőrák közti lehetséges kapcsolatot. A megállapítás után harminc évvel jöttek rá, hogy a tüdőrák kialakulásáért a radon, és rövid felezési idejű leányelemei tehetőek felelőssé. (EDDLING, C. 2007.)

Az tudomány fejlődése során arra is rájöttek, hogy a földkéregből származó radon zárt terekben, mint lakóházak pincéi, földszinti helyiségei, feldúsulhat és megfelelő szellőztetés, esetleg radonmentesítés nélkül egészségre ártalmas koncentrációt is elérhet, akár a szellőzetlen uránbányákban.

Ezek a tények, valamint a radon egészségügyi hatásainak tanulmányozása során elért felismerések vezettek oda, hogy napjainkban már jelentős nemzetközi szervezetek, mint az EPA (Environmental Protection Agency), IRPA (International Congress of the International Radiation Protection Association), NAÜ (Nemzeti Atomenergia Ügynökség) foglalkoznak a radonméréssel, határértékek megállapításával, mentesítéssel a lakosság egészségének megőrzése érdekében.

2. Radontérképezés

Annak érdekében, hogy a leginkább veszélyeztetett területeket felkutassák, több országban zajlottak, és ma is zajlanak nagyszabású felmérések a lakótéri radonkoncentrációk megállapítására. Az Európai Unió Egyesült Kutatóközpontja (Joint Research Center – JRC) oly módon foglalkozik a radon kockázatának kutatásával, hogy tagországainak részvételével egységes radontértép elkészítésén dolgozik. Az egyes országokból összegyűjtött adatsorok egységesítése igen nagy feladat, hiszen egyes helyeken az adott területekre vonatkoztatott átlagos radonszint értékeket mérték fel,

másutt azoknak a lakásoknak a számát becsülték meg, ahol határértékeket meghaladó radonkoncentráció értékek fordulhatnak elő.

A radontérkép készítése nehéz feladat, mivel egy területre jellemző radonkoncentráció érték rövid időszakon belül is széles határok között változhat. Az egyes országokban végzett kutatások célja a leginkább veszélyeztetett területek meglelése, ennek érdekében több millió mérést végeztek. Ezeknek a méréseknek az eredményeit radontértépeken összegezték, de mivel a különböző országokban más-más vizsgálati módszerekkel dolgoztak, nem lehet teljes mértékben összehasonlítani ezeket egymással. A JRC arra törekszik, hogy egységesítse ezeket a radontérképeket meghatározott paraméterek alapján. (JRC 06/08/08) [2]

3. Magyarországi radonmérések eredményei

A lakótérben lévő radon jelenlétének és koncentrációjának meghatározására az egyik legelterjedtebb módszer a nyomdetektoros mérés. Ezzel a módszerrel a levegőben lévő aktivitást tudjuk meghatározni. A módszer lényege, hogy az alfa részecskék roncsolásokat okoznak a detektor anyagszerkezetében (hosszú szénláncú műanyag molekulák), amely következtében mikroszkóppal sem látható „látens nyom” keletkezik a detektoron. Az ilyen nyomokat számlálják meg, miután NaOH vizes oldatával történő maratás után már mikroszkóppal is láthatóvá tették. A nyomok száma arányos a vizsgált légtér radon aktivitáskoncentrációjával és a besugárzás idejével, így az aktivitáskoncentráció meghatározható.

Ilyen nyomdetektoros méréseket végzett Somogyi György, Nikl István és Csige István 1988-tól másfél éven keresztül 122 magyarországi lakótérben. Ennek a méréssorozatnak eredményeként 55 Bq/m^3-t kaptak az átlagos aktivitáskoncentráció értékeként.(TÓTH E. 1999. – SOMOGYI GY. et al. 1989. alapján)

Nikl István 1996-tól fél éves méréseket végzett 998 lakótérben, melynek eredményeként 107 Bq/m^3-t kapott a magyarországi radonszint súlyozott középértékeként. Ezek a mérések azonban az országos átlag meghatározásához túl kevés mérési pontot tartalmaznak. (TÓTH E. 1999. – Nikl I. 1996. alapján)

A RAD-Lauder Labor 1994-98 között 10 000 lakásban végzett nyomdetektoros vizsgálatokat ősztől tavaszig terjedő időszakokban. (Nyáron nem érdemes mérni a nagymértékű szellőztetés miatt, a nyári átlagértékeket az őszi-téli értékek átlagának ötödével becsülték). A mérések középértékeként 140 Bq/m^3 értéket kaptak.

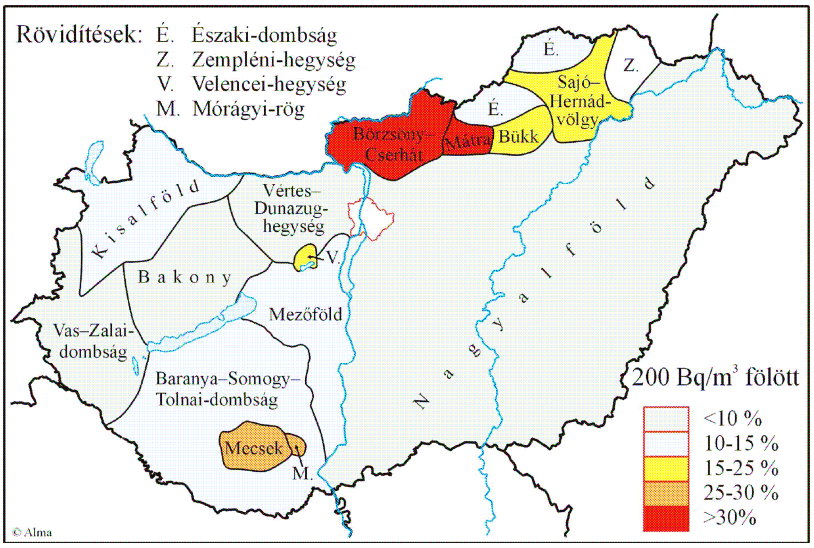
A magyarországi népesség-nagyságcsoportok szerinti vizsgálat újabb eredményeket hozott ugyanennek a méréssorozatnak a felhasználásával:
„az 5000 főnél kisebb településeken élő lakosság hálószobáiban mért radonkoncentráció éves átlagainak a falvak lakosságával súlyozott középértéke 128 Bq/m^3" (TÓTH E. 1999.)

A 10000 főnél kisebb településeken ugyanezt az értéket kapták, a 10000 főnél nagyobb településeken viszont ennél kisebb értékeket. Ennek oka a települések földrajzi elhelyezkedésében keresendő, hiszen a nagyobb városok általában síkságokon, a kisebb falvak dombságokon, hegyvidékeken helyezkednek el, ráadásul nem egyenletes eloszlásban az ország területén. A geológiai viszonyok így jelentősen befolyásolják az egyes népesség-nagyságcsoportra jellemző értékeket.

Szintén meghatározták a radonszintek megyénkénti értékeit. Országos átlagot ugyan nem kaphattak a mérés eredményeként, hiszen ahhoz több házban kellett volna mérni, valamint több megye alulreprezentált vagy egyáltalán nem történtek mérések. A megyénkénti átlagok felhasználásával számított átlag 132-134Bq/m^3. Ez az érték még nem veszi figyelembe azt, hogy a lakosság nagy része emeleti lakásokban, vagy alföldi területen él, így szükséges ennek az értéknek a lakosság számával történő súlyozása. Borsod megye magas értékeit figyelmen kívül hagyva az ország átlagaként 121Bq/m^3-t kaptak.
(TÓTH E. 1999)

A RAD-Labor további kutatásait 2005-től kezdve GVOP pályázaton elnyert támogatás tette lehetővé. Az ekkor indult kutatás célja, hogy megkeressék a magas radonszintű házakat, lépéseket tegyenek a radonszint csökkentése érdekében, valamint hogy körültekintő vizsgálatokat folytassanak a radon rákkockázat-növelő hatását illetően.

A vizsgálati helyszínek kiválasztása a korábbi mérési eredmények alapján történt, amelyik területen magas radonszint értékekre bukkantak, ott nagy számú mérést végeztek, akár a település majdnem összes házában (mint Mátraderecske esetében). Ezeket a területeket a *2. ábra* mutatja.



2. ábra A 200 Bq/m3-t meghaladó radonszintő lakások aránya Magyarország tájegységein. Az adatok a tájegységek 10 ezer finél kisebb lélekszám településeinek földszinti lakásaira vonatkoznak. ”(HÁMORI K. - TÓTH E. 2006.)

A legveszélyeztetettebb területnek a Börzsöny-Cserhát, valamint a Mátra bizonyult, így itt részletesen feltérképezték a kistelepülések földszinti, alápincézetlen házainak radonszintjét. *(radonszint: éves átlagos aktivitáskoncentráció)*

A méréssorozat kivitelezésében a helyi iskolák fizikatanárai és diákjai működtek közre, ők helyezték ki a nyomdetektorokat a kiválasztott szobákba, illetve gyűjtötték be és küldték vissza őket elemzésre. A mérések megkezdése előtt a RAD-Labor munkatársai előadást tartottak a radonmérés múdszeréről, lényegéről, tudnivalókról vele kapcsolatban, ezzel céljuk volt az érdeklődés felkeltése a diákok, lakosság részéről ezen tudományos vizsgálatok iránt.

A mérések eredményei azt mutatták, hogy a Börzsöny-Cserhát területén lévő települések lakásaiban a radonszint meghaladja az országos átlagot, illetve hogy az itt vizsgált magas radonszinttel rendelkező lakások aránya magasabb, mint az ország többi részén.

Azt is megvizsgálták, hogy az időjárás szerepe nem volt-e túlzottan nagy befolyással a radonszintek alakulására. Kontrolltelepülésként jelöltek ki több olyan falut, emiben korábbi években is mértek, és összehasonlították az eredményeket. Kiderült, hogy a 2005/06-os időszakban mért eredmények nem különböznek jelentősen az eddigi eredményektől, így elmondható volt, hogy a radonszint éves átlagának eltéréseit nem az időjárás okozta.

	Magyarország	Börzsöny-Cserhát
geometriai átlag (*GM*)	97 Bq/m^3	145 Bq/m^3
geometriai standard deviáció (*GSD*)	2,13	2,19
lakások becsült aránya 200 Bq/m^3 fölött	5,92 %	33,90 %
lakások becsült aránya 400 Bq/m^3 fölött	0,78 %	9,65 %

Magyarország és a Börzsöny-Cserhát összehasonlítása lakótéri radon szempontjából

	1994-2005	2005/06
radonszintek átlaga	193 ± 41 Bq/m^3	177 Bq/m^3
radonszintek mediánja	119 ± 48 Bq/m^3	67 Bq/m^3

Az elmúlt 11 évben, illetve az idén mért radonszintek a kontroll településeken

3. ábra Magyarország és a Börzsöny-Cserhát összehasonlítása lakótéri radonszint szempontjából, valamint kontrolltelepülések eredményei (HÁMORI K. - TÓTH E. 2006.)

A **2006/07 időszakban** újabb pályázati támogatásnak köszönhetően további 3000 lakótérben mérték meg a radonszintet. A korábban mért helyszínek közül többnél ismét kontrollméréseket végeztek. Ebben az évben a Börzsöny-Cserhát, valamint az ezidáig „fehér foltként" számon tartott Zempléni hegység területéről választottak kistelepüléseket, azokon belül pedig földszinti alápincézetlen szobákat, ahová a helyi iskola diákjai és tanárai által jutatták el a nyomdetektorokat, valamint gyűjtötték vissza azokat. A mérést megelőző előadások is szerepet játszhattak abban, hogy a detektorok visszakerülése 90%-os volt, holott hasonló méréseknél a 40%-os arány volt jellemző.

Arra a következtetésre jutottak a mérési eredmények kiértékelése során, hogy a lakások radonszint eloszlása lognormális. Ezen hipotézist alapján kiszámolták az elméleti radonindexet, ami a 200 Bq/m^3-t meghaladó radonszintű lakások számaránya. Ha nem követtek lognormális eloszlást a mérési eredmények, akkor empírikus radonindexet adtak meg (a mért lakások közül a 200 Bq/m^3 feletti radonszinttel rendelkező lakások számaránya). Ebben az esetben nem tudtak statisztikailag megbízható előrejelzést adni a nem mért lakások radonszintjéről.

Az eredmények öszegzése után elmondható volt, hogy feltérképeztek az országos átlagnál nagyobb radonszintű területeket, valamint a Zempléni hegységet is. Megbecsülték, hogy az egyes területeken hány ház radonszintje várható 200 illetve 400

Bq/m^3 feletti értékűnek, mindezt a mérési eredményekhez leginkább illeszkedő lognormál eloszlás alkalmazásával.

Tájegység	lakások aránya	
	200 Bq/m^3 fölött	400 Bq/m^3 fölött
Börzsöny	22,76 %	4,66 %
Cserhát	31,46 %	7,00 %
Zemplén	24,95 %	2,03 %
Bárna	8,54 %	0,30 %
Mátraderecske	46,54 %	18,28 %
Magyarország*	5,92 %	0,78 %

4, ábra A 200 Bq/m3-t, illetve a 400 Bq/m3-t meghaladó radonszintő lakások aránya a vizsgált területeken.
(HÁMORI K. – TÓTH E. 2007.)

A Börzsöny és a Cserhát településeinek vizsgálata alapján kiderült, hogy főleg a Cserhát területén fordulnak elő nagyobb radonszintek. A legmagasabb értéket viszont a Börzsönyben mérték (1567 Bq/m^3).

A Zempléni hegységben is magas a 200 Bq/m^3 feletti radonszintű lakások aránya, de nem várhatóak kiugróan magas értékek. A legmagasabb ott mért érték 694 Bq/m^3

A Börzsöny és a Mátra területének geológiai tulajdonságairól elmondható, hogy az itt található kőzeteket olyan hidrotermális folyadékok járják át, melyek urántartalma emeli azok radioaktivitásának értékét.

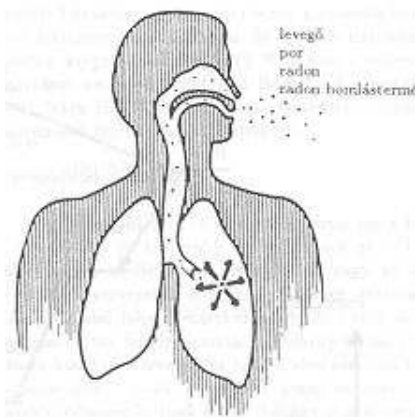
4. A radon egészségügyi hatásai

Szó esett már arról, hogy a radonszint vizsgálatát mennyire fontosnak tartják a szakemberek, és mekkora erőfeszítéseket tesznek a magas radonszintű területek, házak felkutatása érdekében. Ennek a tevékenységnek a hátterében az emberek egészségének megőrzése áll. Vizsgáljuk meg most, hogy pontosan milyen hatásai lehetnek a radonnak az emberi szervezetre.

A radon (^{222}Rn) radioaktív nemesgáz, ezért leginkább a belőle képződött radioaktív leányelemek jelentik a fő veszélyforrását, melyek kémiailag aktívak. A radon belélegzése nem jelenti feltétlenül, hogy a szervezetbe kerülve ott is marad, egyszerűen ki is lélegezhetjük. A belőle képződött leányelemekkel már más a helyzet (mint az

ólom, polónium és bizmut izotópjai). Ezek rövid idő alatt ioncsoportokká állhatnak össze a levegőben. Ezek az ioncsoportok a levegőben lévő kondenzációs magokra tapadhatnak (például porra, füstre, vízgőzre), radioaktív aeroszolokat hozva létre.

Ha ezek az aeroszolok a légzőrendszerbe jutnak (amennyiben ezt mérettartományuk megengedi), a tüdő, légutak falához tapadhatnak, és radioaktív bomlásuk ott következhet be. A legveszélyeztetettebb helyek ebből a szempontból a légzőrendszer elágazásai, illetve a hörgők. Ha a szervezeten belül zajlik le radioaktív bomlás, akkor még a nagyon kis hatótávolságú sugárzások is jelentős kárt tehetnek a szövetekben, mint az alfa sugárzás. A sejtszintű, sugárzásból származó sérülések következtében a sejtek elpusztulhatnak, vagy kis valószínűséggel mutáció történhet bennük. Ezek a sejtek osztódhatnak, és további káros hatások, például dohányzás, vegyszerek hatására rákos sejtekké osztódhatnak A tüdőrák kialakulásának így az egyik legfőbb kockázati tényezőjeként tartják számon a radon belélegzését a dohányzás mellett. (MÓCSY I. et al. 2009.) (Samuelsson, L. 1990.)



5. ábra Radon a légzőrendszerben (SAMUELSSON, L. 1990)

Mivel a radon jól oldódik vízben, vérben, ezért a szervezetbe kerülve eljuthat a tüdőtől távolabbi szövetekhez is, és ott zajlik le radioaktív bomlása. Ezért a radont akár több szerv rákos megbetegedéséért is felelőssé tehetjük, ám sokan kizárólag a tüdőrák kialakulásának kiváltójaként emlegetik.

Meg kell jegyezni, hogy nem csupán belélegzéssel juthat radon a szetvezetben, hiszen jó vízoldékony hatása miatt az ivóvíz is jelentős radonforrás lehet.

5. A radon jótékony hatása

Az orvostudomány napjainkra felfedezte és alkalmazza a radon jótékony hatásait. Mozgásszervi megbetegedések kezelésére már a század elejétől használnak radonos fürdőket. A rheumatoid arthritis (reuma) kezelésénél a gyógyszeres és fizikoterápia mellett ennek hatékonyságát kísérleti módon tesztelték. 60 reumás beteget véletlenszerűen két egyenlő csoportra osztottak, az egyik csoport természetes szénsavval dúsított magas radontartalmú ásványvizes fürdőkezelésben részesült (1,3kBq és 1,6g/l CO2), míg a másik mesterségesen szénsavval dúsított radonmentes fürdőben,

15-15 alkalommal. A vizsgálati szempontok a fájdalom analóg skálán történő mérése, illetve a funkcionális tulajdonságok mérése voltak az étintett testrészeken.

A vizsgálat eredménye a 15 kezeslés után nem mutatott jelentős különbséget a két csoport állapota között, fél év múlva azonban a radonos fürdővel kezelt csoport eredményei kimutathatóan jobbak voltak. Ezzel a kísérlettel megerősítették a feltevést miszerint a radonnak fájdalomcsökkentő, immunstimuláló, valamint gyulladáscsökkentő hatása van. (FRANKE, A. et al. 2000.)

A radonos kezelések fokozhatják az immunsejtek aktivitását, ha rövid ideig tartó besugárzásokat alkalmaznak a betegeken. A kezelés lehet fürdő vagy ivókúra is természetes forrásból származó ásványvizek alkalmazásával. A rövid ideig tartó besugárzás hatására kis mértékű sejtkárosodás lép fel, amit az immunsejtek még ki tudnak javítani. Ezzel ösztönzik az immunsejtek működését. Nem érdemes azonban túlzásba vinni az ilyen jellegű terápiákat, hiszen a sugárzás hatására történő sejtkárosodás mértéke átlépheti azt a küszöböt, amit az immunrendszer még helyre tud hozni, ennek következtében a megbetegedés, rák kialakulásának kockázata megnőhet. (NAGY K. et al. 2008.)

6. Radon a termálvizekben, gyógyfürdőkben

Az emberek már igen régen felfedezték egyes ásványvizek, termélvizek gyógyító hatásait, gondoljunk csak a római fürdőkultúrára, vagy a török fürdőkre. A tudomány fejlődésével az is világossá vált, honnan származik az ezeknek a vizeknek tulajdonított gyógyhatás.

Az ásványvizek és termálvizek felszínre kerülésük előtt hosszú utat járhatnak be különböző felszín alatti kőzet környezetében, ahonnan ásványi elemeket, természetes radioaktív anyagokat oldhatnak ki (pl.: ^{226}Ra, ^{222}Rn, ^{238}U, ^{230}Th, 210Pb, 40K, stb) Ezek hatása az emberi szervezetre fogyasztás, fürdőként való alkalmazás során ma már nagyrészt ismert. (MÓCSY I. 2009.)

A radonfürdőket számos betegség gyógyítására hatékonyan használják; a szív- és érrendszeri, idegrendszeri megbetegedesek, valamint bőrbetegségek gyógyítására alkalmazzák. Emésztési problémák kezelésére fogyasztását is javasolják ivókúra szerűen. Hatásosak lehetnek még a rádiumtartalmú iszapkezelések.

A magyarországi gyógyfürdők közül többet alkalmassá tesz radontartalma gyógyászati célokra való alkalmazásra a bennük való megengedett tartózkodási idők

betartása mellett. Ilyen gyógyvizeket találunk Hévízen, Egerben, Budapesten (Rudas fürdő). (REINER L. et al.)

Fontos tudni azt is, hogy a radioaktív gyógyvizek jótékony hatásának jelentős része a benne lévő ásványi anyagoknak köszönhető, a barlangok levegője, ahol szintén nagy mennyiségben lehet jelen radioaktivitás, szintén sok tényező összességének köszönheti jótékony hatását. Ilyen a csíramentes, egyenlő hőmérsékletű levegő, magas páratartalom, melyet a nátha, légúti betegségek és az asztma kezelésében, gyógyításában használnak. (MAKRA ZS. 1983.)

Az egri Törökfürdő vizének és a fürdő légterének radonkoncentráció vizsgálatát elvégezték (Nagy Katalin, Bereczki János) és a Magyar Balneológiai Egyesület 2004-es Kongresszusán ismertették. Eszerint a gyógyvizek radontartalma 80-140 Bq/l, ami nem kiemelkedően magas aktivitáskoncentráció, de gyógyászati tevékenységekre alkalmas. Jelentős radonkoncentrációt a pezsgőfürdő környékén mértek, ennek okozói a kiáramló gázok, nem pedig a vízből való kipárolgás. Itt rendszeres szellőztetést javasoltak, a látogatók rövid idejű benntartózkodása alatt pedig nem érheti őket jelentős sugárterhelés. (NAGY K. et al. 2004.)

7. Radon felszín alatti vizekben

Sok tanulmány témája volt már a termálvizek, ásványvizek, felszín alatti vizek radontartalma, de messze nem foglalkoztak annyit ezzel a területtel, mint a levegő radontartalmának vizsgálatával. Nem hanyagolható el azonban az ivóvizek radonvizsgálata sem, hiszen azzal a mindennapi élet során gyakrabban találkozunk, mint a gyógyürdők vizeivel.

Mint azt tudjuk, a radon igen jól oldódik vízben (vérben és zsírban). Oldhatósága mértéke függ a hőmérséklettől, a Henry-törvény által meghatározott módon, amely a gázok folyadékban való oldhatóságát írja le.

Annak tudatában, hogy a vizekben oldott radontartalom is az egyik összetevője a zárt terekben előforduló felgyülemlett radonnak, meglepő, hogy a lakótéri radonvizsgálatok során ezt a tényezőt általában nem veszik számításba. Ennek oka az lehet, hogy a vízből kipárolgó radon csak kis hányadát adja a lakótéri radonnak, inkább fogyasztás útján kerülhet a szervezetünkbe. (HORVÁTH I. – TÓTH GY. 2005.)

8. A radon felszín alatti útja

A háromfázisú zóna a kőzetek-talajnedvesség-talajgáz összetevőkből áll. A kőzet- és ásványszemcséket ebben a zónában vízburok veszi körül, így a rádium tartalmú kőzetekből származó radon gáz közvetlenül a vízburokba kerülhet, ott a vízben oldódhat.

A vízburok, amely közvetlenül érintkezik a kőzetekkel, lehet:

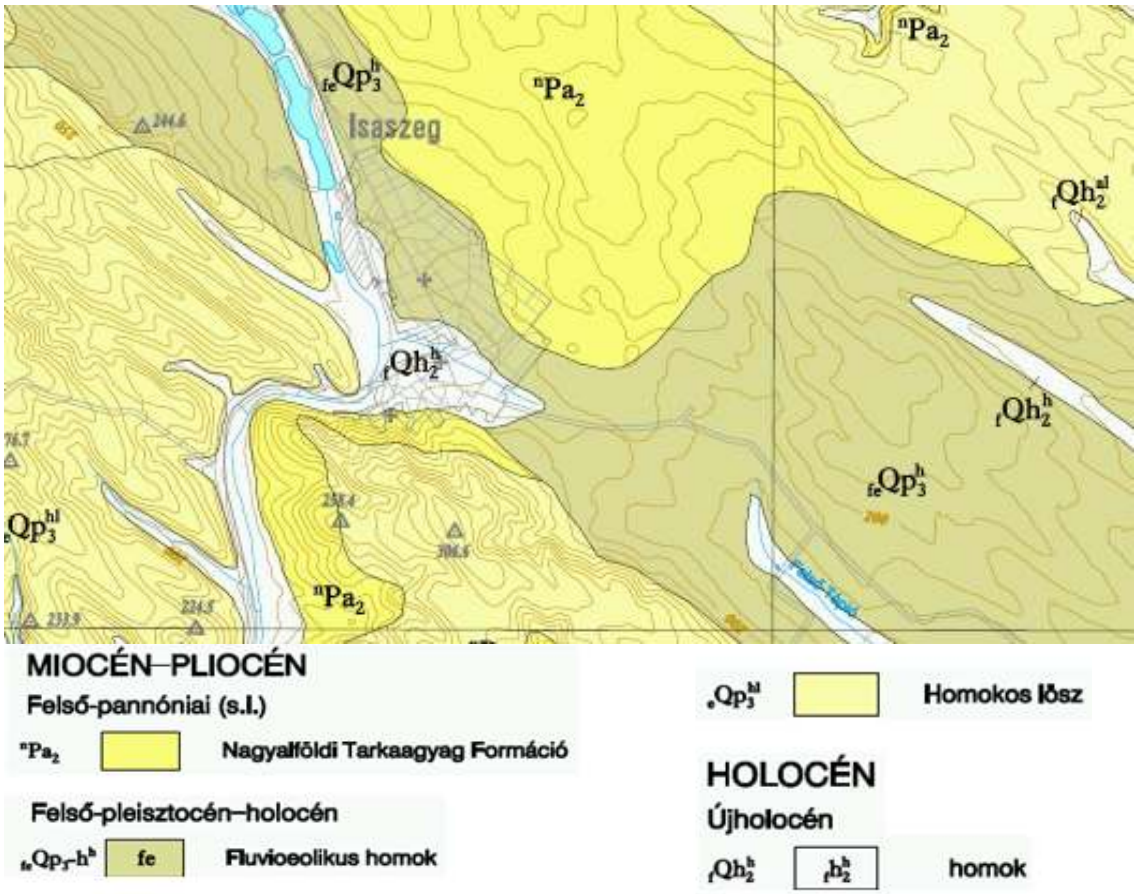
- erősen kötött, adszorbeált víz, ami természetes módon mindig jelen van
- gyengén kötött adhéziós víz
- függővíz, ami a gravitációs és kapilláris erő együttes hatására alakulhat ki
- kapilláris víz közvetlenül a talajvíztükör felett
- leszivárgó víz, a gravitáció hatására például esővízből (HORVÁTH I. TÓTH GY. 2005.)

A radon felszín alatti vizekbe történő bejutását több tényező is befolyásolja. Nyilvánvaló, hogy ezek közül a legfontosabb a közet- és ásványszemcsék rádiumtartalma. Leginkább a radon azon kis részének van esélye a vízbe jutásra, amelyik az ásványszemcse felszínén keletkezik (a külső 0,1-0,01 μm-es hájban). Az a radon, amelyik az ásványszemcse közepén keletkezik, nagyobb eséllyel bomlik el, mielőtt a pórustérbe és így a vízbe kerülhetne.

Amennyiben az ásványszemcséből a pórusvízbe oldódott, előfordulhat, hogy kutak szivattyúzásával a felszínre, emberi fogyasztásra kerül. A felszín alatti vizekből idővel ki is párolog a radon, ha a körülmények lehetővé teszik a levegővel történő hosszabb ideig tartó érintkezést. Az oldott radontartalom a talajgázba is bekerülhet, ami kijuttathatja a felszínre, és esetleg lakóházak zárt terében felhalmozódhat. (HORVÁTH I. TÓTH GY. 2005.)

3. A mintavételi terület jellemzése, geológiai háttere, a mintavételi pontok leírása

1. Isaszeg földtani jellemzői



6. ábra Isaszeg területéről készült fedett földtani szelvény és magyarázata
(forrás: Magyarország 1:100 000-es fedett földtani szelvénye)

Isaszeg Budapesttől keleti-északkeleti irányban 30 km távolságra elhelyezkedő város, 431 hektár belterülettel, és mintegy 5053 hektár külterülettel, melyet nagyrészt szántóföldek, legelők tesznek ki, de az utóbbi évtizedekben egyre több lakóház épül a város széli területeken. Lakossága 10 000 fő körül van (2000-ben végzett felmérés szerint 10 041 fő volt). Kezdetben a templom köré kiépült halmazos település volt, majd fokozatosan alakult át kertvárossá.

A település földrajzi elhelyezkedését tekintve a Gödöllő-Ceglédberceli dombság része, a Felső- és Alsó-Tápió, valamint a Rákos-völgy szegélyezte dombvidéken terül el.

Az itt található felszíni rétegeket legfőképp Fels-pannon rétegek, Felső-pleisztocén-holocén üledékek és Holocén homokrétegek alkotják napjainkban.

A területet az alsó és középső Oligocén korban a Pannon tenger borította, mely a felső Oligocénban egyre sekélyebbé vált. A Miocénban kiemelkedés és feldarabolódás volt jellemző az északi részekre, míg a déli rész lesüllyedt. (Szabó 1973) A feldarabolódás eredményeként jött létre például a Kálvária-hegy (301 m).

A mai felszíni kőzetanyag nagy része több mint egy millió éves. Ebben az időszakban a lesüllyedt részek miatt az ős Duna folyt a területen, mely a visegrádi szoroson talált utat magának a terület felé.

A folyó különböző szemcsenagyságú üledékekkel, hordalékanyagokkal borította a tájat. Isaszegnél a folyó elérte a Pannon tenger visszahúzódása után maradt beltó-rendszert, melynek bizonyítékául az itt található vastag keresztrétegzett homok delta jelleg szolgál. A homokrétegek képződésének ideje a felső pannon, alsó pleisztocén (1,8 millió éve) időszakokra tehető.

(*A pannont kort a pliocén alsó időszakának tartották, ám a Kárpát medencében elterülő Pannon tenger fejlődés már a miocén végén útnak indult. Ezért az alsó-pannont a miocén végére sorolják, a felső-pannont a pliocénnel azonosítják.*) [3]

A felszín alakulásában nagy szerepe volt a víz és szél munkájának. Egyrészt a felszín egyenetlenségei sok helyen feltöltődtek, másrészt a felső rétegek erodálásával öregebb kőzetek jutottak a felszínekre. A laza üledékeket a szél elhordta, másutt szélárnyékos helyeken vastag felhalmozott rétegeket alakított ki belőlük (löszfelhalmozódásokat). (Bacsó 1973.)

A negyedkor klímaváltozásai is hatással voltak a felszín alakulására épp úgy, mint az ember környezet átalakító tevékenysége, például az erdők kiirtása.

2. A felszínt alkotó kőzetek minősége

Mint ahogyan a fedett földtani szelvényen megfigyelhető, Isaszeg legjelentősebb részét Felső-Pleiszticén-Holocén kori Fluvioeolikus homok fedi (*a szél és a vízfolyások együttes munkája által került a területre*), ($_{fe}Qp^{h}_{3,}$ a földtani szelvényen a legsötétebb, khaki színnel jelölték.). Szintén jelentős területet borít homokos lösz ($_{e}Qp^{hl}_{3}$ világos citromsárga színnel láthatjuk a *6. ábrán*). A területen található még Holocén, új-holocén homok ($_{f}Qh^{h}_{2}$, fehér jelöléssel), illetve Miocén-Pliocén Felső-pannóniai Nagyalföldi Tarkaagyag Frakció is ($^{n}Pa_{2}$ sötétebb citromsárga színnel jelölve a *6. ábrán*.). Ez utóbbi jellemzői: *„Változó vastagságú kékesszürke homok- és szürke, sárgásszürke,*

vörösesbarna foltos agyagrétegek váltakozásából áll, gyakori lignit és kavicsos homok rétegekkel. Jellegzetes tavi-folyóvízi összlet. Vastagsága több száz méter."
(GAJDOS I.-PAP S.)

3. Talajtípusok a területen

A város területén igen jelentős a talajerózió, főként a déli területeken. A még meglévő, szerencsére igen jelentős erdőterület az eróziót kisebb-nagyobb mértékben mérsékelni tudja. A város délkeleti részén típusos lösz talajt találunk, amit csernozjom barna erdei talaj borít, helyenként pedig Ramann-féle erdőtalaj.

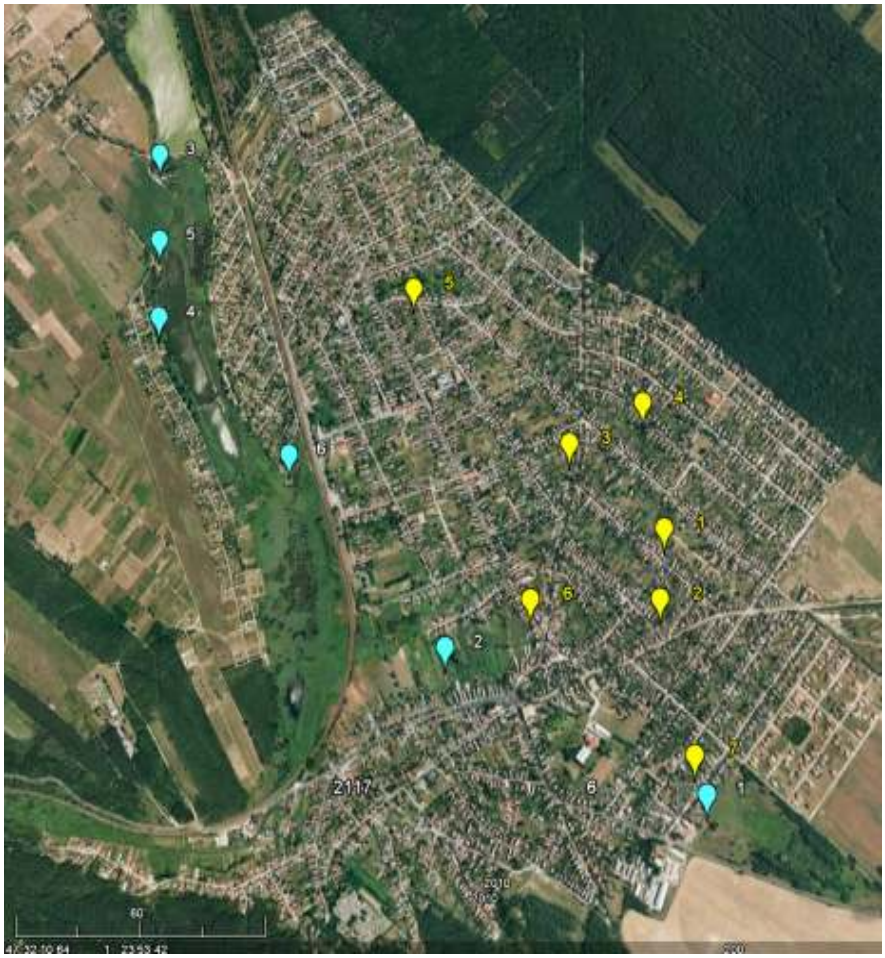
4. Felszíni vizek a területen

A Rákos-patak keresztülfolyik a városon, melynek vize korábban malmokat hajtott, mára azonban a benne folyó vízmennyiség jelentősen lecsökkent. A Kis-Rákos vízeret öntözésre használták a Kántor földeken telepített kertgazdaságokban, ahol primőr zöldségeket termesztettek Gödöllő felvevőpiaca számára. *(Kántor földek: a kántorok – egyházzenészek- illetményföldjeként kijelölt területek)* Az Isaszeg határában lévő tórendszert a mai napig sportolási, horgászati célokra használják.

Isaszeg ivóvíz ellátását a település megjelenésétől kezdődően ásott kutakból biztosították. Az így kinyert víz besorolása I. osztályú rétegvíz. A vizet nem csak fogyasztásra, az állatok itatására, öntözésre használták, hanem a házak építésének kezdő lépése is kút ásása volt az építkezéshez szükséges vízmennyiség fedezésére.
1962-ben megalakult az Isaszegi Ivóvíz Társulat, innentől kezdve megindult a település vezetékes ivóvíz hálózatának kiépítése. Az első fúrt kutat 1975-ben helyezték működésbe, ami 97 méter mély volt, 500 l/perc vízhozammal termeltek belőle 10-13 ºC hőmérsékletű, kitűnő minőségű rétegvizet. (ASZTALOS I. 2007.)

A mintavételezés során 7 ásott kútból, és 6, a Vízművek által üzemeltetett fúrt kútból tudtam vízmintákat gyűjteni.

5. A mintavételi pontok elhelyezkedése



7. ábra Mintavételi pontok: sárga-ásott, kék-fúrt kutak helye

A kutakból összesen 58 mintát vettem az alábbi táblázatban látható megoszlás szerint:

			Minta-vételek (db)
1	IS1	Szt. László u. 33.	6
2	Is2	Árpád u. 54.	6
3	Is3	Dózsa György u. 46.	5
4	Is4	Béke u. 19.	6
5	Is5	Wesselényi u. 22.	6
6	Is6	Kossuth Lajos u. 20.	4
7	Is7	Belsőmajor u. 6.	6

			Minta-vételek (db)
1	If1	9. sz. vízmű kút	3
2	If2	7. sz. vízmű kút	4
3	If3	1/a sz. vízmű kút	3
4	If4	3. sz. vízmű kút	3
5	If5	2/a sz. vízmű kút	4
6	If6	4. sz. vízmű kút	4

2. táblázat Az egyes kutakból vett minták száma

A mintavételi pontok, kutak helyét *GPSMAP 60 CS* készülékkel határoztam meg. Az így kapott GPS koordinátákat a FÖMI Kozmikus Geodéziai Obszervatórium által kifejlesztett EEHHTT (EHT2) szoftver segítségével transzformáltam az Egységes

Országos Vetületi (EOV) rendszer koordinátáira. Az EOV rendszert 1976 óta használják hazánkban, összhangban az Egységes Országos Térképrendszerrel (EOTR).

kút	**EOV koordináták**		**GPS koordináták**			
	X	**Y**	**szélesség °**	° ´ ´´	**hosszúság °**	° ´ ´´
Is1	243410	677018	47.5340484	47°32´2.57´´	19.4062945	19°24´22.66´´
Is2	243197	676982	47.5321397	47°31´55.7´´	19.4058037	19°24´20.89´´
Is3	243695	676677	47.5366252	47°32´11.8´´	19.4017804	19°24´6.41´´
Is4	243832	676947	47.5378475	47°32´16.3´´	19.4053772	19°24´19.36´´
Is5	244229	676096	47.5414544	47°32´29.2´´	19.3940958	19°23´38.75´´
Is6	243178	676531	47.5319821	47°31´55.1´´	19.3998116	19°23´59.32´´
Is7	242688	677103	47.5275559	47°31´39.2´´	19.4073781	19°24´26.56´´

3 .táblázat Ásott kutak GPS és EOV koordinátái

kút	**EOV koordináták**		**GPS koordináták**			
	X	**Y**	**szélesség °**	° ´ ´´	**hosszúság °**	° ´ ´´
If1	242565	677151	47.5264439	47°31´35.2´´	19.4080031	19°24´28.81´´
If2	243020	676227	47.5305732	47°31´50.1´´	19.3957615	19°23´44.76´´
If3	244706	675115	47.5457781	47°32´44.8´´	19.3810952	19°22´51.94´´
If4	244120	675145	47.5405129	47°32´25.9´´	19.3814546	19°22´53.24´´
If5	244394	675132	47.5429717	47°32´34.7´´	19.3812937	19°22´52.66´´
If6	243648	675647	47.5362431	47°32´10.5´´	19.3881011	19°23´17.16´´

4. táblázat Fúrt kutak GPS és EOV koordinátái

1. Ásott kutak leírása

Isaszeg területén hét ásott kútból vettem mintákat. Ezek magánházak udvarán találhatóak a város különböző pontjain, tulajdonosaikkal előzetesen egyeztetve hétvégi napokon tudtam mintavételezést végezni.

A mintavételezés célja ebben az esetben a talajvíz vizsgálata volt. A talajvízhez lefúrni nem egyszerű és nem olcsó eljárás, ezért használtam a városban elérhető ásott kutak vizét mintavételre. Ezek radontartalma természetesen különbözik a talajvízétől a kipárolgás miatt, hiszen ezeknél a kutaknál a víz viszonylag nagy felületen érintkezik a levegővel, és a kút lefedése esetén is jelentős tényezőnek számít. Ezzel a radonveszteséggel előre számoltunk.

A kutak mélységét egyrészt a tulajdonosok elmondása alapján ismerjük, amennyiben ők nem tudtak pontos adattal szolgálni, egy mérőszalagra erősített súly segítségével mértem meg a kút mélységét (természetesen a többi esetben is ellenőriztem a mélység adatokat helyszíni méréssel).

Is1 mintavételi hely:

Kertes családi ház udvarán található ásott kút a Szent László utca 33. szám alatt. Mélysége **15,75 méter**, és a település ásott kútjaihoz hasonlóan betongyűrűkkel bélelték ki a beomlás elkerülése érdekében. A legfelső gyűrű 60 cm magasan emelkedik ki a talaj szintjétől, a kút fölé pedig tetőt építettek. Két éve használaton kívül van, szivattyúzás és vízkivétel egyáltalán nem történik belőle, de az ehhez szükséges berendezések el vannak helyezve benne. A tulajdonos tervei szerint törmelékektől való kitisztítása után vizét ismét használni fogják a tavasztól őszig terjedő időszakban öntözésre. Átlagosan **70 cm** víz található benne.

Is2 mintavételi hely:

Az Árpád utca 54. szám alatt található kutat 1935-ben ásták. Ez a terület, az úgynevezett „öreghegyi szőlő”, korábban mezőgazdasági művelés alatt állt, majd az 1930-as években felparcellázták és építkezések indultak itt. A családi házak építésekor szokás volt először kutat ásni, hogy biztosítsák a munkálatokhoz szükséges vízmennyiséget. A vizsgált kút ásásakor a tulajdonos beszámolója szerint (a telek azóta is e család birtokában van) sárga színű agyagos homokot, márgát hoztak a felszínre. Jelenleg rendszeres vízkivétel történik belőle, átlagosan napi 20 litert használnak öntözésre és az állatok itatására főleg a nyári időszakban, de télen is használják vizét

itatásra. Mélysége **9,45 méter**, a talajszint fölé 75 cm-rel emelkedik ki a legfelső betongyűrű, mellyel kibélelték, fölé pedig tetőt építettek. Átlagosan **90 cm** víz található benne.

Is3 mintavételi hely:

Ez az ásott kút a Dózsa György utca 49. számú kertes ház udvarán található. A ház az 1940-es években épült, ezt megelőzően a szokásoknak megfelelően készítették a kutat. Korábban a területen szőlőt termesztettek, majd a parcellázások idején értékesítették a telket. A tulajdonos elmondása szerint nehéz volt ásni a köves, kavicsos, kemény rétegek miatt, csákány használata is szükséges volt. Ez a megfigyelés különböző kőzetrétegek jelenlétét mutatja az előző helyszínhez képest. A kút **19 méter** mély, vízkivétel csak ritkán, a nyári időszakban van, mivel az idős tulajdonos nem bírja vödörrel felhúzni a vizet, szivattyú berendezés pedig nincs elhelyezve benne. A kutat tető és fém fedőlapok is védik, melyek főleg a téli időszakban állandó lefedettséget biztosítanak.

Is4 mintavételi hely:

Következő helyszín a Béke utca 19. számú ház kertjében lévő ásott kút. Az 1960-as években, valószínűleg 1962-ben ásták, a lakók elmondása alapján azt is megtudtam, hogy 17-18 méter mélységben találtak egy körülbelül 40 cm széles, kemény kőzetből álló réteget, melyet csákánnyal tudtak csak áttörni, hogy az alatta lévő vízhez jussanak. A kút **18,4 méter** mély, 80 cm magas betongyűrűkkel van bélelve, melyek közül a legfelső 70 cm-rel nyúlik a talajszint fölé.

Általában április és október között rendszeresen, naponta történik belőle vízkivétel, a kert öntözéséhez használják. Szintén tetővel és felnyitható fémlemezekkel fedik be a kutat, ha használaton kívül van. A kút lefedése nem jelent teljes elszigeteltséget, van lehetőség a levegő áramlására, légcserére, így a radon kipárolgására.

Átlagos vízoszlop magassága **40 cm**, de gyakori üledékkiszedést igényel, mivel hamar feltöltődik.

Is5 mintavételi hely:

A Wesselényi utca 22. szám alatt lévő ház udvarán található a következő vizsgált kút. Mélysége **5,4 méter**, fölötte tető magasodik, de a legfelső gyűrűt csak néhány deszkával takarják le, nincs teljesen lefedve. Történetéről, kiásásáról nem tudtam meg

információkat, mert a jelenleg ott élő család később költözött be. A kutat nem használják, esetleg ritkán, nyári időszakban növények öntözésére.
Az átlagos vízoszlop magassága **1 méter**.

Is6 mintavételi hely:

A következő mintavételi helyszín a Kossuth Lajos utca 20. számú ház udvarán lévő kút. Pontos információkat az ásásról nem kaptam a tulajdonostól, de az 1800-as évekre, a ház építését megelőző időszakra tehető a készítése. Ez a kút nem rendelkezik talajszint feletti gyűrűvel, teteje egy betonlappal van lefedve, búvárszivattyút és slagot helyeztek bele, mely kis résen keresztül jut a felszínre. Vízkivétel csak a tavasztól őszig terjedő időszakban zajlik napi-háromszori rendszerességgel a kert locsolására. A vízoszlop magassága körülbelül **40 cm**.

Is7 mintavételi hely:

A sor végén a Belsőmajor utca 6. szám alatt lévő kútból vettem mintát. 1963-ban ásták a kutat az 1964 őszén kezdődő házépítéshez szükséges víz biztosítására, mészoltáshoz és ivásra is felhasználták. A ház megépülése után ivóvízként már nem, csak a kert öntözésére húztak belőle vizet. Ásáskor az első 6-7 méteren agyagos rétegekkel találkoztak, melyen csákánnyal tudtak tovább haladni, majd homok illetve sárga színű homokkő réteg következett. 7-8 méter mélyen körülbelül fél méter vastag kőrétegbe ütköztek, melyet áttörve ez alatt 2-3 méterrel érték el a talajvíz szintjét.
Jelenleg a kutat csak ritkán használják, az alján vastag üledékréteg halmozódott fel. A legfelső kútgyűrű 70 cm-rel emelkedik a talajszint fölé, mely fából készült fedővel van letakarva. A kúthoz tető is tartozik.
A kút fenekének mélysége **11,05 méter**, átlagos vízoszlop magassága pedig **30 cm**.

A radontartalom szempontjából meghatározó tényezők a vízoszlop magassága, illetve a kút adottságai szellőzés szempontjából.

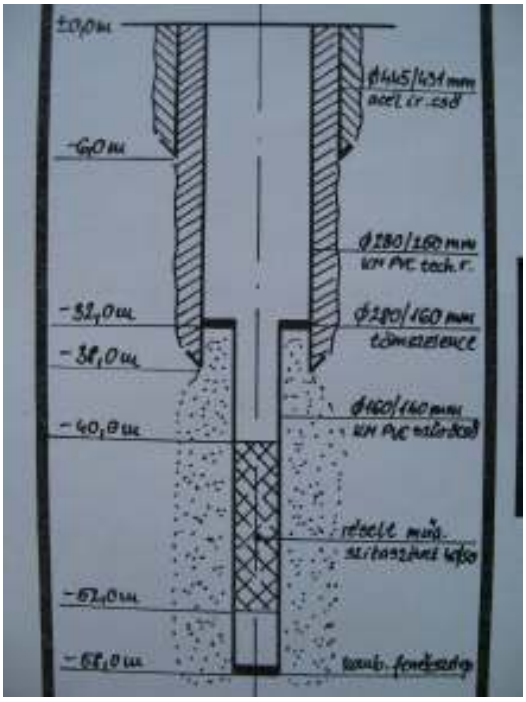
2. Fúrt kutak leírása:

Az Isaszegi Településüzemeltetési és Vízmű Kft által üzemeltetett hat kútból vettem mintákat, melyek a város ivóvíz ellátásáért felelősek. Az általam vizsgált kutak szinte kivétel nélkül a Rákos patak medréhez közel, annak völgyében, a város többi részéhez képest alacsony tengerszint eletti magasságokon helyezkednek el. Folyamatos

használatban voltak, vizüket a városi hálózatra juttatva a mintavételek előtt és közben, mintavevő csapjaikon tudtam vizet nyerni belőlük. Ezen kutak vize kezelés nélkül, szükség esetén minimális klórozás után kerül az ivóvízhálózatra, mivel minősége kifogástalan, fogyasztásra alkalmas, így kizárólag ezek a kutak biztosítják a város ivóvízellátását. Folyamatos ellenőrzéseket végeznek vízminőségük nyomon követésére, éves rendszerességgel pedig átfogó kémiai vizsgálatokat végeznek. A kitermelt víz minősítése: I. osztályú rétegvíz. Az üzemeltetett kutakkal lekötött összes vízmennyiség 498000 m^3 évente.

Mivel a fúrt kutak vize ilyen jó minőségű, felmerül a kérdés, hogy az ásott kutak vizét miért nem használják szintén ivóvízként. Ennek okát a vezetékes ivóvíz bevezetésénél kell keresnünk, hiszen ez a szolgáltatás kényelmesebbé, egyszerűbbé tette a lakosság számára a víz használatát, mint ha maguknak kellene a kutakból húzni, szivattyúzni. Fontos szempont, hogy a vezetékes ivóvíz minőségét folyamatosan ellenőrzik, nem kell tartani az esetleges szennyeződésektől, ferőzésektől.

If1 mintavételi hely:



8. ábra If1 kút felépítése

A Vízművek **9. számú kútja**, melyet 2004-ben létesítettek Isaszeg külterületén (hrsz: 02/5).

EOV koordinátái: X= 242564, Y= 677151.

A kút talpmélysége **58 méter**, a terepmagasság ezen a helyen 175,09 m B.f. A vízadó réteg **pleisztocén homok**.

0-0,6 m holocén

0,6-51 m pleisztocén

51-72 m-ig felső pliocén (Levantei) réteg.

Nyugalmi vízszintje -16 méter, vízkivételkor:

212 liter/perc esetén -20,58 m

318 liter/perc esetén -22,89 m

424 liter/perc esetén pedig -25,5 m

Állandó üzemben kitermelhető vízmennyisége 340 liter/perc, ekkor a vízszint -25,19 m.

If2 mintavételi hely:

Az 1995-ben létesített **7-es számú kútból** vettem mintákat, mely a város belterületén található, a Vízművek épülete mellett. Talpmélysége **43,8 m,** a terepmagasság pedig 178,20 m B.f.. A vízadó réteg anyaga **pleisztocén homok**.

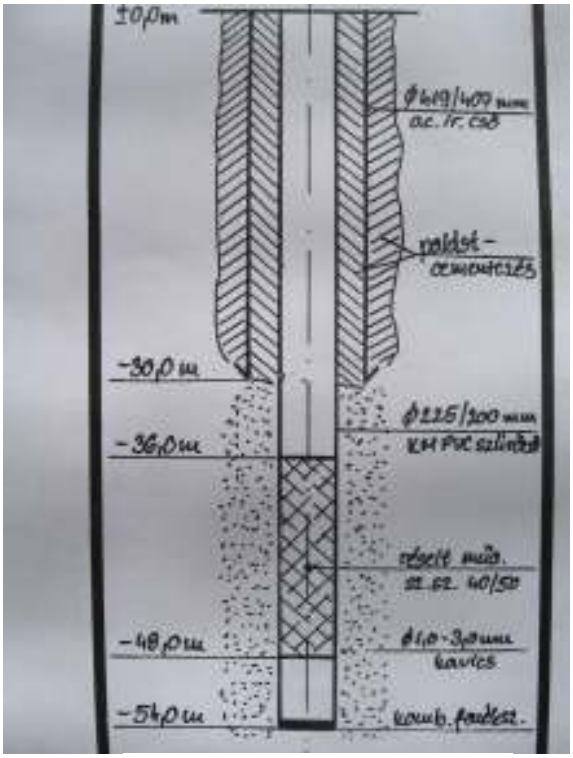
0-08 m-ig holocén, 0,8-100 m-ig pleisztocén rétegeken halad át.

Nyugalmi vízszintje -3,8 m, vízkivétel esetén:

420 l/percnél -16,7 m, 560 l/percnél -20,7 m, 650 l/percnél -25,05 m.

Állandó üzemben kitermelhető vízmennyiség ebből a kútból 500 l/perc

If3 mintavételi hely:



9. ábra If3 kút felépítése

A Vízművek **1/a számú kútja**, mely 2004. óta üzemel Isaszeg külterületén (Hrsz.: 014/27. A kút talpmélysége **54 m**, terepmagassága **175,41 m B.f..**

A megcsapolt réteg **pleisztocén homok**.

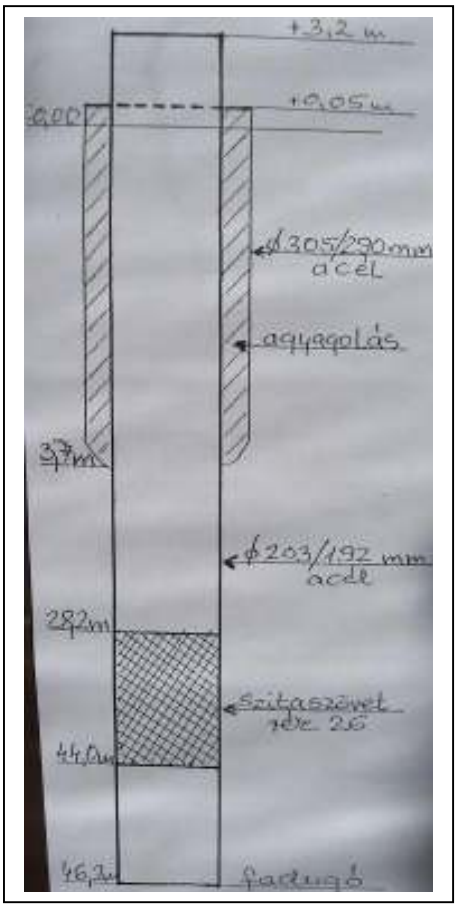
- 0-1 m holocén
- 1-51 m pleisztocén
- 51-70 m felső pliocén (Levantei) rétegek.

Nyugalmi vízszintje **-4,5 m**, vízkivételkor pedig a következő értékeket mérték:

- 360l/percnél -15,89 m
- 550 l/percnél -21,91 m
- 730 l/percnél -27,60 m
- 910 l/percnél 33,3 m, ez egyben az üzemszerűen kitermelhető vízmennyiség is.

If4 mintavételi hely:

Az Isaszeg külterületén, úgynevezett Tőzeg telepen található **3. számú kutat** 1963-ban létesítették. Helyrajzi száma 0143/6. Talpmélysége **46,2 m**, terepmagassága pedig **175,08 m B.f..** A megcsapolt réteg **felső-pannon homok, kavicsos homok**.



10. ábra If4 kút felépítése

- 0-1,2 m-ig holocén
- 1,2-23,6 m-ig pleisztocén
- 23,6-38,5 m-ig felső pliocén

-38,6-46,2 m-ig felső pannon rétegek találhatóak.

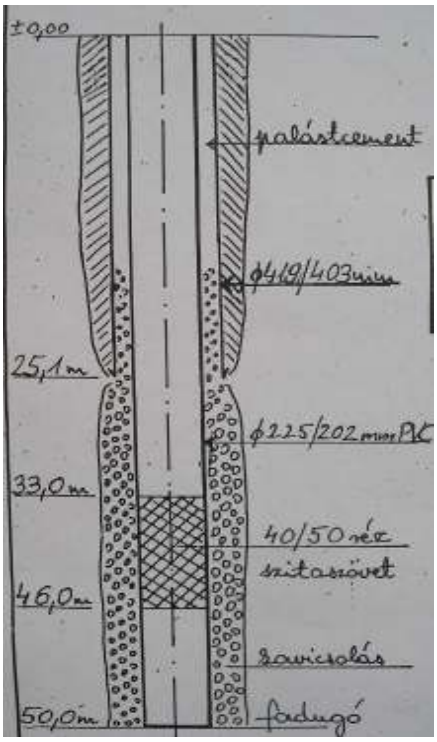
A kút nyugalmi vízszintje fúráskor +3 m volt, jelenleg **-2,5 m** a felszín alatt.

Vízkivételkor:

- 660 l/percnél -5,5 m
- 1000 l/percnél -6,5 m

Üzemszerűen 300 l termelhető ki percenként, ekkor a vízszint -8 m-en található.

If5 mintavételi hely:



11. ábra If5 kút felépítése

Az 1999-ben létesített **2/a számú vízmű** kút szintén a Tőzeg telepen helyezkedik el, helyrajzi száma 0143/7.

Talpmélysége **51,5 m**, terepmagassága **173,87 m B.f..**

A megcsapolt réteg pleisztocén homok.

- 0-0,5 m-ig holocén
- 0,5-50 m-ig pleisztocén rétegek találhatóak ezen a helyen.

Nyugalmi vízszintje -3,1 m, vízkivételkor pedig:

- 500 l/perc esetén -7,3 m
- 1000 l/perc esetén -16,9 m, ami az üzemszerűen kitermelhető mennyiség
- 1500 l/perc esetén -22 m.

If6 mintavételi hely:

Utolsó vizsgált pontom a Vízművek 4. számú kútja, mely 1961-től működik az isaszegi vasútállomás közelében. Helyrajzi száma 0145/68. Talpmélysége **70 m**, terepmagassága **173,41 m B.f.**

A megcsapolt réteg ezen a helyen felső pleisztocén /levantei/ homok.

- 0-0,4 m-ig holocén
- 0,4-3,3 m-ig pleisztocén
- 3,3-70 m-ig felső pliocén (Levantei) rétegek.

A nyugalmi vízszint fúráskor +1 m tol, jelenleg -1 m. Üzemszerűen 200 l termelhető ki percenként, ekkor a vízszint -3,28 m. A legnagyobb vízhozam 300 l/perc volt, ekkor a vízszint -2,8 m-en állt.

6. A megcsapolt rétegek geológiai tulajdonságai

Mind az ásott kutak tulajdonosainak beszámolóiból, mind pedig a Vízművek által rendelkezésre bocsátott vízföldtani naplók alapján sokat megtudtam a térség geológiai jellemzőiről és arról, milyen anyagú a megcsapolt vízadó réteg az adott kutaknál, valamint hogy a vizsgált víz milyen földtani rétegekkel kerül kapcsolatba, ahonnan radon beszivárgására számíthatunk.

Mivel a felszín alatti vizek radontartalmát a velük érintkező földtani képződmények urántartalma határozza meg, érdemes figyelembe venni a várt radon tartalom becslésénél a RAD Lauder Labor 1994-1998 között végzett vizsgálati eredményeit, melyet „Radon a magyar falvakban” címmel tettek közzé.

A hazai kőzetek átlagos urántartalma 0,5-5,0 g/tonna. Az idősebb, szerves anyagokban dús, savanyú magmás kőzetek, agyagpalák uránban gazdagabbak, így az ilyen kőzetekre épült településeken magasabb radonszint várható, míg a fiatalabb, folyóvízi üledékkel, homokkal borított területeken kisebb értékek várhatóak, Isaszeghez hasonlóan.

Vannak azonban módosító tényezők, például ha a kőzeteket utólagosan hidrotermális oldatok járják át, melyekből magas urántartalmú anyagok válhatnak ki, ezzel megemelve a mért értékeket (pl. Börzsöny, Mátra térsége – andezites vulkanitok).
Másik befolyásoló tényező lehet a geokémiai csapdák esete: oxidatív környezetben az uránvegyületek oldódnak, reduktív viszonyok közt kicsapódnak. A talajvízszint fölött oxidáció, alatta redukció zajlik, így a fiatal folyóvízi üledékkel borított területeken is létrejöhetnek magas urántartalmú területek.

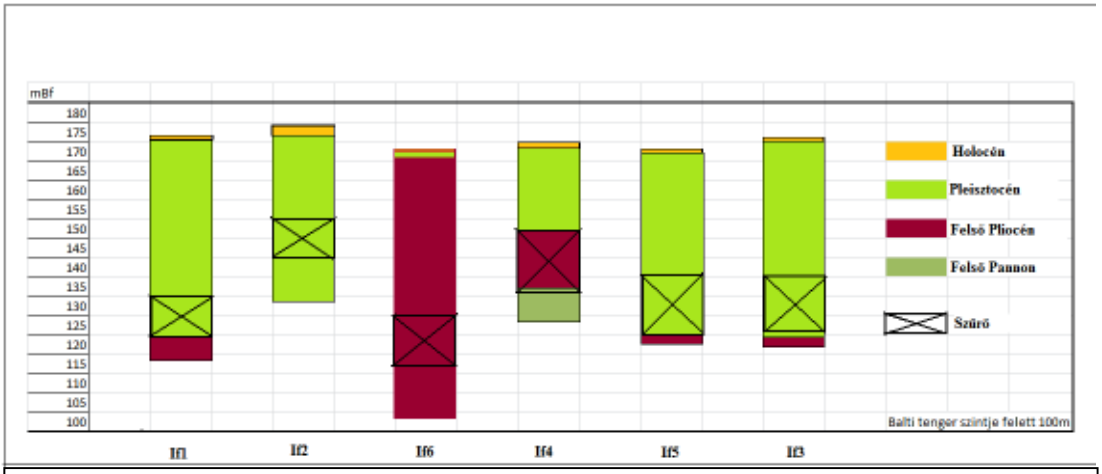
Homokos talajokra általában akkor jellemző magas radioaktivitás, ha gazdagok cirkonban, monacitban, xenotimban, melyek U és Th koncentrációja magas lehet a ritkaföldfémek beépülése miatt.

A Vízművek által rendelkezésemre bocsátott vízföldtani naplók alapján megtudtuk, hogy minden általam vizsgált fúrt kút megcsapolt vízadó rétegének anyaga homok, esetleg homokkő, agyagos rétegekkel szabdalva (*12. ábra*). A térség geológiai történetéből kiderül, hogy ezek a rétegek főleg a Pliocén, Pleisztocén, korban képződtek.

A rétegek anyagából adódóan nem várunk magas radonkoncentrációkat a fúrt és ásott kutakból vett vízminták esetén.

1. Fúrt kutak geológiai viszonyainak ábrázolása

A vízföldtani naplók alapján pontosan meg lehet határozni az általuk megcsapolt vízadó rétegek minőségét, földtörténeti korokba sorolásuk lehetővé válik.



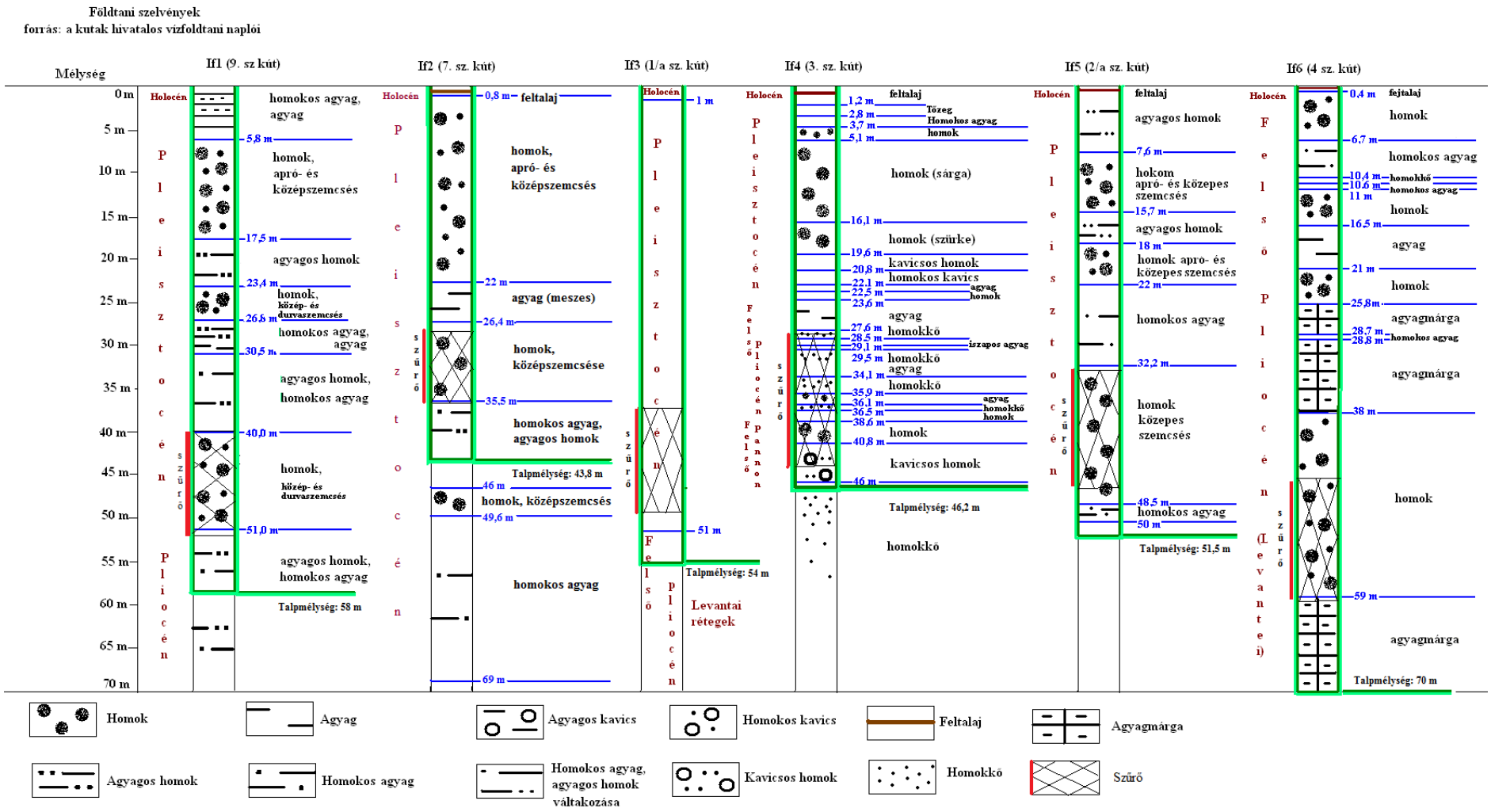
12. ábra Fúrt kutak DK-Ény-i irányú sorrendben, és a az őket jellemző földtani képződmények korai (saját készítésű ábra a vízföldtani naplók alapján)

A *12. ábrán* a fúrt kutakat ábrázoltam azokból a földtörténeti korokból származó kőzetrétegekkel, melyeken keresztül haladnak. A rajz a vízföldtani naplók alapján készült. A kutakat nem sorszám szerint rendeztem, hanem elhelyezkedésük alapján, DK-Ény-i irányban haladva. Ha megvizsgáljuk a terület fedett földtani szelvényét (*6. ábra*), azt látjuk, hogy minden kút Holocén homokkal fedett területen található, kivéve az If5, ami a Holocén homokkal fedett és a Felső Pleisztocén – Holocén fluvioeolikus homokkal fedett terület határán fekszik. A vízföldtani naplóból kiderül, hogy nagyon vékony, fél méteres holocén homokréteg takarja a kút környékét.

A megcsapolt vízadó rétegek az If6 és If4 kutak kivételével Pleisztocén korból származnak, míg az említett két kút Felső Pliocén rétegekből kapja a vizet.

Az ásott kutak esetében kettő, az Is6 és Is7 található Holocén homokkal fedett területen. A többi kút a fedett földtani szelvény alapján Felső-pleisztocén-holocén Fluvioeolikus homokkal fedett területen van. Ezen kutak talpmélysége 5,4-19 méter közötti, ezért, bár nem áll rendelkezésre vízföldtani napló az általuk keresztezett rétegekről, de feltételezzük, hogy minden kút Pleisztocén korban keletkezett vízadó rétegből kapja a vizét.

Arról, hogy milyen anyagi minőségű rétegekből szerzik a kutak vizüket, a vízföldtani naplók alapján részletes ábrát készítettem fúrt kutak esetében (*13. ábra*). A vízadó réteg ezeknél a kutaknál nagyrészt középszemcsés homok, esetleg homokkő rétegekkel keresztezve. Ásott kutaknál kizárólag a tulajdonosok elbeszélése alapján tudhatjuk, milyen anyagi minőségű rétegek kerültek felszínre a kutak ásásakor. Ezek felsorolása az ásott kutak leírásában szerepel (**3.5**.*1.* fejezet).



13. ábra Fúrt kutak földtani szelvényei (saját készítésű ábra a vízföldtani naplók alapján)

4. Mintavételi eljárás

1. Előkészületek mintavételhez:

Mintavételezés előtt a laboratóriumban előkészítettem a szükséges eszközöket: 12 ml-es orvosi fecskendőt, 3 dl-es műanyag poharat, szükséges mennyiségű 23 ml-es henger alakú küvettákat, illetve ezek lezárásához szükséges műanyag kupakokat és parafilmet.

14. ábra OptiFluor O-val és vízmintával teli küvetta, valamint orvosi fecskendő

A küvettákba fecskendő segítségével 10-10 ml OptiFluor O szcintillációs folyadékot fecskendeztem és kupakkal lezártam őket. Szállításuk papírdobozban történt. Isaszegi otthonunkban készítettem elő az ásott kutakból történő mintavételt segítő eszközt: 30 méter hosszú, erős, széles selyemszálból készült szalagra alkoholos filctoll és mérőszalag segítségével skálát készítettem centiméterenkénti jelölésekkel 25 méter hosszúságban. A szalag végére súlyt erősítettem (egy használaton kívüli kalapács fejét), valamint 20 ml-es mintavevő edényt (fém hengert, a tetején akasztó füllel ellátva). A szalagot vízvételen kívül az ásott kutak mélységének méréséhez is fel tudtam használni.

Fúrt kutakból történő mintavételhez kevesebb eszközt kellett felhasználnom, mivel ezen kutak mintavételi csappal vannak ellátva. Így csak a 20 ml-es mintavételi hengert, 12 ml-es orvosi fecskendőt, valamint a laboratóriumban előkészített, 10 ml OptiFluor O-val töltött küvettákat és parafilmet használtam.

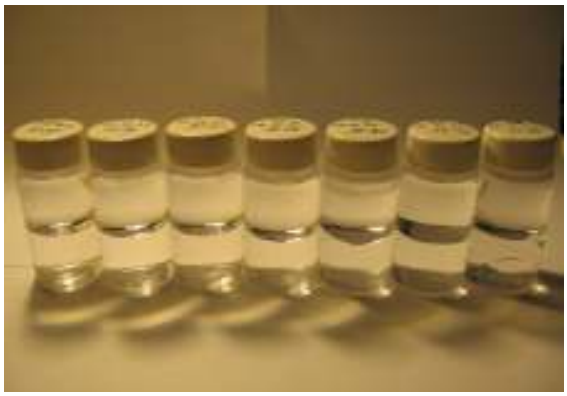
2. Mintavételi eljárás

A mintavételezések során arra törekedtem, hogy minimálisra tudjam csökkenteni az eljárásból adódó radon veszteséget.

A fúrt vízmű kutak esetén a Vízművek munkatársával előre egyeztetett időpontokban tudtam mintavételeket végezni a kijelölt kutakból. Ezek az esetek többségében folyamatos szivattyúzás alatt voltak, vizet juttatva az isaszegi ivóvíz hálózatra.

A mintavételi csapból pár perces kifolyatás után 20 ml vizet vettem a mintavételi hengerbe úgy, hogy a hengert a csaphoz a lehető legközelebb tartottam. A radon nagymértékű veszteségét megelőzendő, fecskendővel azonnal felszívtam 10 ml vizet a henger aljáról, és az előre elkészített követtába töltöttem, az OptiFluor O szcintillációs folyadék alá. A küvettát gyorsan lezártam, a kupakot és az oldalfalhoz való illeszkedés helyét pedig parafilmmel háromszor körbetekertem. A kupakra alkoholos filctollal felírtam a minta számát, a mintavétel dátumát és időpontját.

Ásott kutak esetében a kinyert vízminta sajnos több ideig érintkezett a levegővel, így a radon kipárolgásának esélye is nagyobb volt. Ezeknél a kutaknál a 20 m-es súllyal ellátott szalagra erősített mintavevő hengert használtam. A kutak aljáig engedtem a mintavevő eszközt, ezt a mélységet a súly fenékre érkezésével tudtam megállapítani. A hengert a lehető leggyorsabban húztam ki a kútból, majd fecskendő segítségével az alsó vízrétegből 10 ml-t szívtam fel, és fecskendeztem a küvettában lévő OptiFluor O szcintillációs folyadék alá. Az eljárás innentől a fúrt kutakéhoz hasonlóan folytatódott, parafilmmel körbetekertem a kupakot, valamint a küvetta felső részéhez való illeszkedésének helyét, és alkoholos filctollal felírtam a kupakra a szükséges azonosítókat.



15. ábra Ásott kutakból vett mintákkal teli küvetták, Is 1 sorozat

3. A mintavételi eljárásból származó radonveszteség

Mindkét típusú kútnál számolni kell a radon mintából való kijutásával a mintavételi eljárás során. Ez a veszteség különböző mértékű az ásott illetve fúrt kutak esetében.

Ásott kutaknál a leeresztett mintavételi henger felhúzása több időt vesz igénybe, mint a fúrt kutak mintavételi csapjából történő vízkivételkor, ezért a vízminta több ideig érintkezik a levegővel. A radon vesztesége ebből adódóan nagyobb mértékű lesz. A veszteség csökkentése érdekében törekedtem a lehető leggyorsabban elvégezni a mintavételt, és a vízmintát a küvettába az OptiFluor O folyadék alá fecskendezni.

Szintén csökkentheti az ásott kutak radon tartalmát, hogy a bennük lévő víz folyamatosan, viszonylag nagy felületen érintkezik a levegővel. Azt várjuk, hogy azon kutak vizében volt megfigyelhető nagyobb radon tartalom, melyek állandóan magas vízszinttel rendelkeznek, jó vízadó rétegből származik a vizük, és nem jellemző rájuk az időszakos kiszáradás.

A Vízművek fúrt kútjainál kisebb arányú radon veszteséggel számolhatunk, hiszen ezek a kutak folyamatos szivattyúzás alatt állnak, zárt csőrendszerükben nem fordul elő, hogy a víz levegővel érintkezne, és minden mintavételkor a megcsapolt vízadó rétegből frissen szivattyúzott mintát tudtam vizsgálni. Ezen mintavételi eljáráskor is gondolni kell azonban az eljárásból származó veszteségre: a mintavételi csapból a mintavevő hengerbe történő kiengedés illetve az innen fecskendővel a küvettákba juttatás során a vízminta levegővel érintkezik. Ezt az időt gyors munkával a lehető legrövidebbre kell csökkenteni.

4. A minta előkészítése méréshez

A vízmintákat legkorábban a szcintillációs folyadék alá helyezésük után 5 órával, legkésőbb viszont a mintavételt követő 3. napon kell lemérni.

A vízminta nem elegyedik a szcintillációs folyadékkal, hanem a sűrűségkülönbség miatt alatta, külön fázisként helyezkedik el. A mintában lévő radon atomok diffúzióval kerülnek az őket jobban kötő szcintillátor fázisba. Ez a folyamat a koncentrációk egyensúlyának kialakulásáig zajlik (körülbelül 5 óra alatt áll be). A diffúziós egyensúly beállásakor a radon atomok többsége a szcintillátor folyadékban lesz.

A radon (^{222}Rn) felezési ideje 3,8 nap, ezért ha a méréseket ennél több ideig halogatjuk, a minta aktivitásának már csak a felét tudjuk mérni, ez a kimutathatóság alsó határát növeli. (RAD labor jegyzet)

5. A radontartalom meghatározásának módszere

1. A mérési módszer elve

A vízmintákat az ELTE Atomfizikai Tanszékén található TRI-CARB 1000 TR típusú folyadékszcintillációs spektrométerrel vizsgáltam.

A folyadék-szcintillációs méréstechnika elve azon alapul, hogy a radioaktív sugárzás a körülötte lévő atomokat gerjesztett állapotba hozza, ionizálja, ám ezek az atomok és molekulák hamar leadják a gerjesztés során kapott energiát, visszatérnek eredeti állapotukba. Szcintillációról (felvillanásról) akkor beszélünk, ha a gerjesztési energia látható fény formájában adódik le.

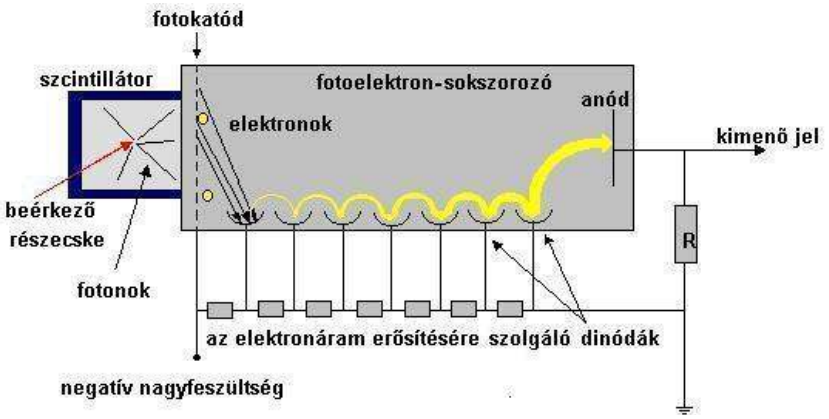
Radioaktív bomlás során keletkező részecske, például egy elektron egyszerre rengeteg gerjesztett atomot, molekulát tud létrehozni, melyek jól szcintilláló anyagban sok látható fotont keltenek. Ha a detektoranyag folyadék, folyadék-szcintillációról beszélünk. Méréseim során OptiFluor O koktélt használtam detektoranyagként.

A vízben lévő radon radioaktív alfa bomlásának detektálására kitűnő a folyadékszcintillációs vizsgálat, mivel a vízminta jól keveredik a koktéllal, így a mikrométeres hatótávolságú bomlások is észlelhetőek.

Az észlelés fényhozam mérésével történik (fényhozam: egy bomlást követően felvillanó fotonok száma), amely nagyságát az mutatja meg, hány atomot, molekulát hozott gerjesztett állapotba a radioaktív sugárzás. Mértékegysége energia jellegű: KeVee (kiloelektronvolt-elektron-ekvivalens), ami megadja, hogy hányszor több foton keletkezett, mint egy olyan felvillanásban, amit egy 1 KeV energiájú elektron keltene.
A radon bomlásakor körülbelül 300 KeVee a fényhozam. (Alfa bomláskor nem csak fotonok kibocsátásával térnek vissza a gerjesztett részecskék alapállapotukba, hanem az intenzív ionizálás miatt megnyílik az út más energialeadási módok felé is.)

A keletkezett fotonok detektálására, a felvillanások számlálására a XX. századközepétől fotoelektron sokszorozót használnak, amely a fotonokat elektromos jellé alakítja. Működésének lényege, hogy a keletkezett fotonokat egy általában berilliummal bevont üveglapra irányítják, ahonnan azok elektronokat löknek ki (fotoeffektusal). Az elektronokat gyorsítják néhány 100 V feszültséggel, és a dinódákra fókuszálják. Az elektronok itt újabb 3 elektront löknek ki, amiket szintén gyorsítanak, majd ezek egy újabb dinódáról 9 elektront löknek ki, és így tovább 8-12 dinódán

keresztül. Az így keletkezett nagy számú elektron egy ellenálláson való áthaladását követően áraminpulzus keletkezik, amit már detektálni lehet elektronikus eszközökkel.



16. ábra Fotoelektron-sokszorozó
(PAPP B.)

A mintákat tehát TRI-CARB 1000 TR folyadékszcintillációs spektrométerrel vizsgálva kaptam eredményeket a vízminták radontartalmáról. A spektrométer egy számítógéppel, valamint nyomtatóval áll összeköttetésben, így a mérési eredményeket print formájában kaptam.

2. A Printen szereplő adatok

Elsőként a mérési protokoll számát láthatjuk (6-os), mellette a mérés kezdetének időpontja (10 MAR 10 11:23). Alatta találjuk a mérések időtartamát (15 perc), a REGION A-C a csatornaszélességet jelöli, a QTP=SIS pedig a külső standarddal való kioltást gépen belül.

A printről a következő értékek olvashatóak le:

- P# : a protokoll száma, ami minden esetben 6-os volt
- S# : a minta sorszáma a mérés során
- TIME: a mérés időtartama, ami mindig 15 perc volt
- CPMA/K, CPMB/K, CPMC: a csatornák percenkénti beütésszámait jeölik
- 2S%A, 2S%B: az A és B csatorna percenkénti beütésszámában százalékos bizonytalanságai
- SIS: spekrtális index, ami a spektrumra jellemző
- ELTIME: a mérés kezdete óta eltelt idő

- A print szélén kézzel írva szerepel a vizsgált minta száma.

A minták mérését követően a printen szereplő adatokat egy előre elkészített, radontartalom meghatározására használatos excel fájlba írtam be. A szükséges mezők kitöltését követően a program függvények segítségével számolta ki a keresett eredményeket.

3. Kiértékelési eljárás

1. Az excel tábla felépítése

A mintavétel dátumát és időponját mintavételkor jegyeztem fel, ez az adat került a táblázatba. A mérés kerdetének dátuma és ideje, valamint a mérési idő, az eltime, cpm, cpm hiba, sis, tsie adatokat a mérés során kapott printről olvastam le.

A dt, c1, Bq, kon (Bq/l), hiba és jóhiba cellák értékeit az excel számolta ki a beírt adatok felhasználásával, függvények segítségével a következőkben bemutatott módon.

1	A	B	C	D	E	F	G
2	***Minta***	**If1/3**	**If2/3**	**If3/3**	**If4/3**	**If5/3**	**If6/3**
3	minta (hó)	3	3	3	3	3	3
4	vétel (nap)	9	9	9	9	9	9
5	(óra)	18	18	17	17	17	17
6	(perc)	15	5	25	35	45	55
7	mérés (hó)	3	3	3	3	3	3
8	kezdete (nap)	10	10	10	10	10	10
9	a printen (óra)	11	11	11	11	11	11
10	(perc)	23	23	23	23	23	23
11	mérési idő	15	15	15	15	15	15
12	eltime	14,97	32,27	54,97	71,14	87,38	103,56
13	**cpm**	**26,4**	**24,8**	**31,53**	**25,8**	**24,53**	**26,07**
14	**cpmhiba**	**10,05**	**10,37**	**9,2**	**10,17**	**10,43**	**10,11**
15	**sis**	**359,04**	**344,19**	**411,39**	**399,01**	**378,18**	**384,02**
16	**tsie**						
17	dt	16,88283	17,33783	18,3828333	18,48567	18,58967	18,69267
18	c1	0,88027	0,87725	0,87035285	0,869677	0,868994	0,868318
19	Bq	6,969697	6,161616	9,56060606	6,666667	6,025253	6,80303
20	kon (Bq/l)	**7,917677**	**7,023784**	**10,9847472**	**7,665681**	**6,933594**	**7,834719**
21	hiba	0,95408	0,868842	1,23029168	0,932913	0,861846	0,948785
22							
23	jóhiba	1,707408	1,648813	1,92777772	1,704496	1,653763	1,717056

5. táblázat A fúrt kutakból történt harmadik mintavételezéshez tartozó excel tábla

A táblázat cellái a következő függvényeket használják:

dt=(B7-B3)*24+B8-B4+(B9-B5)/60+(B11-2*B10)/60+(B6-B2)*31*24

c1=(EXP(-0,0075536*B16))

Bq=(B12-12,6)/1,98

kon (Bq/l)=B18/B17

hiba=(B13+2)/100*B19

jóhiba=(SQRT((B12*B13/100)^2+0,25)/1,98+B18/50)/B17

2. A minta radontartalmának kiszámítása

A mérés előtt ismert radontartalmú, aktivitású minta által keltett CPM értéket vizsgálunk. Ez lesz a kalibrációs mérésünk, ami a CPM és a 10 ml-es mintánk aktivitását öszeköti.

Első lépésben tehát megmérjük, hogy a vizsgált vízminta hány elektromos jelet kelt percenként (CPM). Mivel ismerjük a minta térfogatát, ezután már meghatározható lesz annak aktivitás-koncentrációja (jele: c).

$$c = \frac{A}{V}$$

A= aktivitás, egy másodperc alatt lezajló bomlások száma a mintában

V= térfogat, esetünkben 10 ml

Az ismert radontartalmú mintával végzett kalibráció eredménye:

$$c = \frac{(CPM - 12{,}6)}{1{,}98 Bq/l}$$

(az aktivitás-koncentráció mértékegysége Bq/l)

A méréskor meghatározott aktivitás-koncentráció a minta méréskori radontartalmára utal, viszont a vizsgálat során nekünk a mintavételkori aktivitásra van szükségünk. Ennek kiszámolásához az exponenciális bomlástörvényt használható:

$$c(méréskor) = c(\min tavételkor) \times e^{-\lambda t}$$

t = a mintavétel és mérés közt eltelt idő.

6.Eredmények bemutatása

1. Ásott kutak mérési eredményeinek bemutatása

Isaszeg területén 7 ásott kútból 7 alkalommal vettem vízmintákat, ezek radonkoncentráció vizsgálatának eredményei, illetve hibái az alábbi, *6. táblázatban* láthatóak.

A táblázatból látható, hogy nem minden kút esetében hiánytalan az adatsor. Ennek oka az Is3 számú kút esetében az volt, hogy az idős tulajdonos betegsége miatt nem tartózkodott otthon, így nem tudtam mintát venni a 2010. februári és májusi mintavételi napokon. Az Is6 számú kutat a tulajdonos téliesítette, így januárban és februárban nem tudtam mintát venni belőle.

Ásott kutakból vett vízminták radonkoncentrációi és hibái (Bq/l)														
	2009.10.18		**2009.11.22**		**2009.12.13**		**2010.01.17**		**2010.02.28**		**2010.03.27**		**2010.05.02**	
	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba
Is1	2,96	1,41	2,23	1,4	1,43	1,36	2,04	1,32	2,84	1,41	3,15	2,18	1,55	1,24
Is2	5,84	1,63	9,16	1,91	5,36	1,59	7,66	1,73	8,04	1,88	11,39	2,82	5,78	1,57
Is3	4,78	1,55	3,63	1,51	7,1	1,73	2,61	1,37			4,9	2,35		
Is4	1,9	1,32	0,59	1,25	1,03	1,26	0,08	0,16	1,79	1,34	2,25	2,14	3,66	1,43
Is5	2,2	1,37	1,47	1,33	2,84	1,41	0,97	1,24	3,39	1,48	2,05	2,13	0,67	1,19
Is6	1,31	1,28	0,84	1,28	1,67	1,31					4,23	2,31	1,65	1,26
Is7	3,1	1,44	1,18	1,31	1,6	1,31	0,12	1,15	2	1,36	1,66	2,12	1,93	1,29

6. táblázat Ásott kutakból vett vízminták radonkoncentráció értékei és mérési bizonytalanságai

2. Fúrt kutak mérési eredményeinek bemutatása

Az isaszegi ivóvízellátást szolgáló vízműkutak közül hatot vizsgáltam összesen négy alkalommal. Ezek folyamatosan szivattyúzzák az I. osztályú rétegvizet a város ivóvíz hálózatára. A kutak közül kettőnél találunk hiányos adatsort a mérési eredmények között: az If3 számú kút 2010. januárjában üzemen kívül volt, szerepét egy hozzá közel lévő, általam nem vizsgált kút látta el. Az If4 számú kút esetében szintén egy alkalommal fordult elő, hogy nem tudtam mintát venni, 2010. augusztusában a kút nem termelt vizet a hálózatra.

Fúrt kutakból vett vízminták radonkoncentrációja és hibái (Bq/l)								
	2009.11.05.		2010.01.17.		2010.03.09.		2010.06.20.	
	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba
If1			8,41	1,81	7,92	1,71		
If2	3,94	1,47	4,17	1,50	7,02	1,65	2,95	1,59
If3	10,25	1,93			10,98	1,93	8,16	1,98
If4	4,67	1,53	9,03	1,85	7,67	1,70		
If5	4,60	1,53	3,94	1,48	6,93	1,65	2,85	1,58
If6	7,55	1,74	8,48	1,82	7,83	1,72	7,75	7,75

7. táblázat Fúrt kutakból vett vízminták radonkoncentráció értékei és mérési bizonytalanságai

3. Ásott kutak radonkoncentrációjának időbeli átlaga

Az ásott kutakból vett vízminták vizsgálatának eredményeként kapott radonkoncentráció értékek átlagát képeztem úgy, hogy az egyes mintavételi helyeken mért eredmények értékeit összeadtam, és elosztottam az azon a helyen végzett mérések (eredmények) számával. Az így kapott átlagértékeket csökkenő sorrendbe rendeztem, így látható, hogy az Is2 számú kút radonkoncentrációjának időbeli átlaga volt a legmagasabb az ásott kutak közül.

Ásott kutak	Átlagok	Mérési bizonytalanságok átlaga
Is2	7,6	1,88
Is3	4,6	1,70
Is1	2,31	1,47
Is5	1,95	1,45
Is6	1,94	1,49
Is7	1,66	1,43
Is4	1,61	1,27
átlagok átlaga:	3,09	1,28

8. táblázat Ásott kutak radonkoncentráció átlagértékei és a mérési bizonytalanságok átlagai

Az egyes kutakra számított átlagértékek átlagolásával megkaptam az ásott kutak vizeire jellemző átlagos radonkoncentrációt, ami 3,1Bq/l. A mérési bizonytalanságok átlagos értéke 1,28 Bq/l.

4. Fúrt kutak radonkoncentrációjának időbeli átlaga

Fúrt kutak	Átlagok	Mérési bizonytalanságok átlaga
If3	9,80	1,95
If1	8,16	1,54
If6	7,9	1,81
If4	7,12	1,69
If5	4,58	1,56
If2	4,52	1,55
átlagok átlaga	7,01	1,72

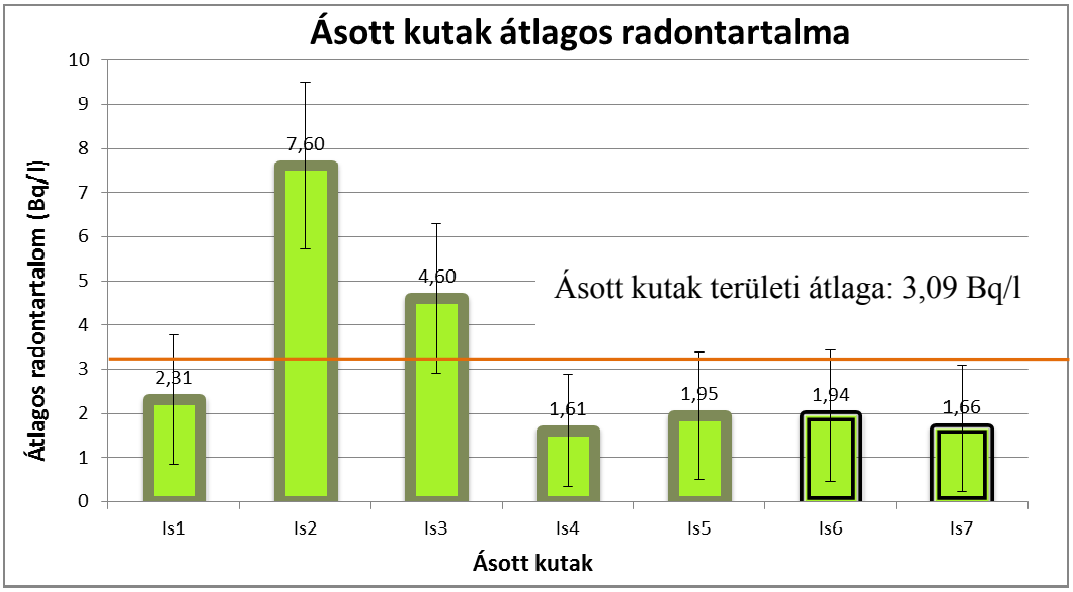
9. táblázat Fúrt kutak radonkoncentráció átlagértékei és a mérési bizonytalanságok átlagai

Fúrt kutak esetében szintén megvizsgáltuk az egyes kutakból vett vízminták átlagos radontartalmát az ásott kutak vízmintáihoz hasonló módon (az egyes mérések eredményeként kapott radonkoncentráció értékeket összeadtuk, az eredményt osztottuk a mérések számával), majd az átlagértékekből a fúrt kutak vizére jellemző területi átlagot számítottunk:

$$c_{átlag}=\frac{c_{If1}+c_{If2}+c_{If3}+c_{If4}+c_{If5}+c_{If6}}{6}=7{,}01\ Bq/l$$

7. Diszkusszió

1. Átlagértékek vizsgálata a területi átlaghoz viszonyítva ásott kutak esetében



17. ábra Ásott kutak átlagos radontartalma a megcsapolt réteg korának illetve a felszíni réteg minőségének feltüntetésével

Jelmagyarázat:

A zöld kitöltéssel jelölt kutak Pleisztocén vízadó rétegekből kapják vízutánpótlásukat. Látható, hogy minden általam mintázott ásott kút ebből a rétegből kapja a vizet.

A vastag khaki keret azt jelöli, hogy a kút Fluvioeolikus homokkal [$feQP_3^h$] fedett területen található. az Is6 és Is7 kutak kivételével minden ásott kút ilyen területen található.

A dupla szegéllyel ellátott oszlopok az Újholocén Homokkal [fQh_z^h] fedett területen lévő kutakat jelzik, ezek az Is6 és Is7-es számú kutak.

Az ásott kutakra jellemő területi átlag az egyes kutak átlagos radonkoncentrációinak átlagértéke. Ez a 8. táblázatban található, 3,09 Bq/l. A területen végzett mérések átlagos mérési bizonytalansága az egyes kutak átlagos mérési bizonytalanságainak átlagértéke, 1,28 Bq/l

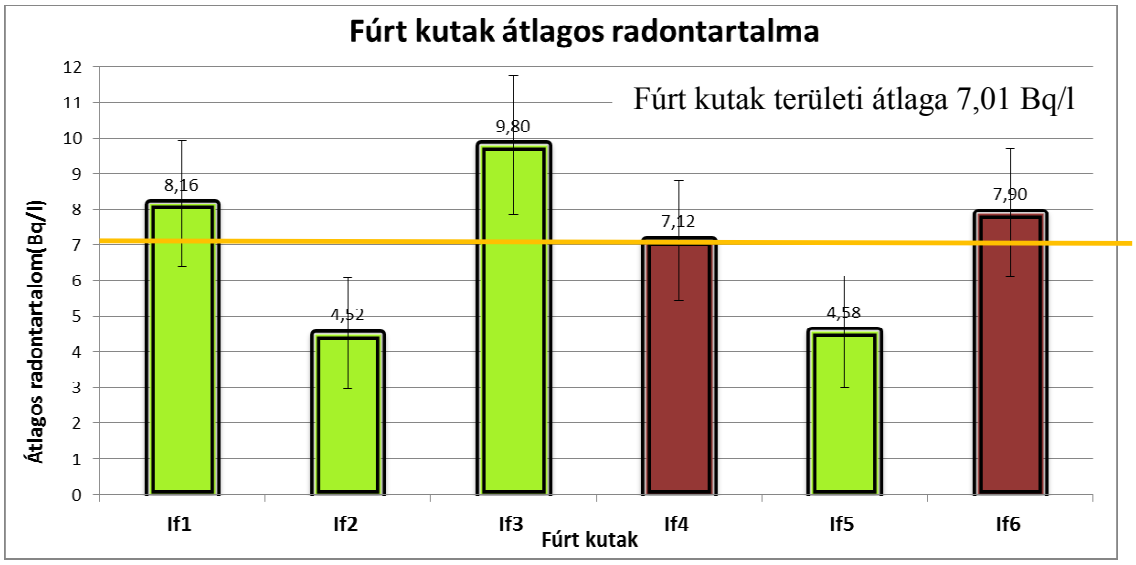
A *17. ábrán* megfigyelhető, hogy két kút esetében kaptunk az ásott kutakra jellemő területi átlagnál magasabb értékeket, ezek az Is2 és Is3 számú kutak. Az Is2 jelű kút esetében láthatunk egyedük kiemelkedő átlagértéket (7,6 Bq/l). Az Is3 átlagértéke (4,6

Bq/l) már nem tér el ilyen jelentősen a területi átlagtól, de majdnem duplája a soron következő, Is1 számú kút átlagértékének.

Az Is1 (2,31 Bq/l), Is5 (1,95Bq/l), Is6 (1,94 Bq/l), Is7 (1,66 Bq/l) és Is4 (1,61 Bq/l) számú kutak átlagos radontartalma külön csoportot alkot, a területi átlaghoz közeli, az alatti radonkoncentrációt mutatnak.Átlagos mérési bizonytalanságukat figyelembe véve az Is1, Is3, Is5 és Is6 kutak a területi átlaghoz igazodnak, míg az Is2 fölé, az Is4 és Is6 kutak kevéssel a területi átlag alá esnek.

Az Újholocén Homokkal fedett területen lévő Is6 és Is7 kutak átlagos radonkoncentráció értékei a területi átlaghoz igazodnak, kevéssel alacsonyabbak.

2. Átlagértékek vizsgálata a területi átlaghoz viszonyítva fúrt kutak esetében



18. ábra Fúrt kutak átlagos radontartalma a megcsapolt réteg korának illetve a felszíni réteg minőségének feltüntetésével

Jelmagyarázat:

A zöld kitöltéssel jelölt kutak Pleisztocén vízadó rétegekből kapják vízutánpótlásukat. Látható, hogy Az If1, If2, If3 és If5 számú kutak vízadó rétege származik ebből a földtörténeti korból.

Vörös kitöltéssel a Felső Pleisztocén korból származó rétegekig hatoló kutakat jelöltem, ezek az If4 és If 6 számúak.

A dupla szegély a felszínt borító rétegek minőségére utal, az Újholocén Homokkal [fQh_z^h]fedett területeken lévő kutakat jelöli. Látható, hogy szinte minden kútra ez jellemző, kivétel az If5 kút, ami félig már a Felső Pleisztocén – Holocén Fluvioeolikus homokkal fedett területhez tartozik.

A fúrt kutakra jellemő területi átlag az egyes kutak átlagos radonkoncentrációinak átlagértéke. Ez a 9. táblázatban található, 7,01 Bq/l. A területen végzett mérések átlagos mérési bizonytalansága az egyes kutak átlagos mérési bizonytalanságainak átlagértéke, 1,72 Bq/l

A *18. ábrán* látható, hogy az If3 számú kút átlagos radonkoncentrációja a legmasabb (9,8 Bq/l), kiemelkedik fúrt kutak átlagai közül.

Az If1 (5,44 Bq/l), If6 (7,9 Bq/l) és If4 (7,12 Bq/l) számú kutak átlagai egy csoportba sorolhatóak, emellett ezek állnak legközelebb a fúrt kutak vizét jellemző átlagértékhez. Ha átlagos mérési bizonytalanságukat is figyelembe vesszük, ezek a területi átlaghoz igazodnak.

Az If5 (4,58 Bq/l) és If2 (4,52 Bq/l) számú kutak átlagos radonkoncentció értékei a legalacsonyabbak, ezeket szintén külön csoportként tartjuk számon, átlagos mérési bizonytalanságuk figyelembe vételével sem érik el a területi átlag értékét..

A fúrt és ásott kutak mérési eredményeinek összehasnlításából látható, hogy a fúrt kutak lényegesen magasabb radonkoncentráció értékekkel rendelkeznek az ásott kutak vizénél. Ennek oka lehet, hogy az ásott kutak mélysége maximum 18 méter, vízoszlop magasságuk pedig legfeljebb 1 méterig terjed. A vizükben oldott radon könnyen kiszökik belőlük, mivel a kútgyűrűk átmérője miatt viszonylag nagy felületen érintkezik a víz a levegővel, és nincs állandó szivattyúzás, ami a radonban gazdagabb vizet a felszínre hozná utánpótlást biztosítva.

A fúrt kutak mélysége 43-70 méter között változik, és csőrendszerük átmérője is jóval kisebb, valamint közvetlenül csatlakozik a városi ivóvíz hálózatra, így a víz nem érintkezik a levegővel. Emiatt kisebb esély van rá, hogy a radon kiszökjön a kutak vizéből.

3. A Pleisztocén és Felső Pliocén korú kőzetrétegekre jellemző radonkoncentráció értékek

Ha megvizsgáljuk, hogy milyen földtörténeti korú rétegekből származnak a mintázott kutak vizei, láthatjuk, hogy a vízadó rétegek Pleisztocén és Felső Pliocén korúak.

- **Pleisztocén** korú kőzetek közül 7 mintavételi helyről összesen 45 mintavételt végeztem ásott kutakból, maximum 18 méter mélyen elhelyezkedő vízadó rétegből Erre a rétegre (Pleisztocén korú, a felszíntől legfeljebb 18 m

mélységben lévő kőzetrétegek) jellemző átlagos radonkoncentráció érték 3,09 Bq/l , átlagos mérési bizonytalansága pedig 1,72 Bq/l

- A **nagyobb mélységekben lévő Pleisztocén rétegekre** jellemző (fúrt kutakból vett vízminták alapján számolt) radonkoncentráció átlagértéke 6,77 Bq/l, átlagos mérési bizonytalansága 1,7 Bq/l.
- A **mélyebben lévő Felső Pliocén korú rétegek** jellemzésére két kút, If4 és If6, összesen 7 db mérés eredményét tudjuk felhasználni. ezek alapján a rétegből származó vizek átlagos radonkoncentráció értéke 7,51 Bq/l, az átlagos mérési bizonytalanság a mérések során 1,75 Bq/l volt.

A különböző földtörténeti korokból származó kőzetekből vett vízminták radonkoncentráció méréseinek eredményét a *10 táblázat* foglalja össze:

Vízadó réteg kora	átlagos radonkoncentráció (Bq/l)	átlagos mérési bizonytalanság (Bq/l)
Pleisztocén felszínközelben	3,09	1,72
Pleisztocén 43-70 m mélyen	6,77	1,70
Felső Pliocén 43-70 m mélyen	7,51	1,75

10.táblázat Különböző földtörténeti korban keletkezett vízadó rétegek átlagos radonkoncentráció értékei és átlagos mérési bizonytalanságai

Az eredmények alapján elmondható, hogy legmagasabb radonkoncentrációjú vizek a nagy mélységben lévő Felső Pleisztocén rétegekből származnak, ezt követik a mélyen lévő Pleisztocén rétegekből származó vizek, legkisebb radonkoncentráció értékeket pedig a felszín közeli pleisztocén rétegekből származó vizekben mértünk.

4. Időbeli változékonyság vizsgálata

Fontos információkkal szolgál a vizsgált vizek radontartalmának időbeli változékonysága. Az adott terület kőzettani és talajtani adottságairól árulkodik, hogy időben állandó vagy változékony-e egy adott kútból vett vízminta sorozat radonkoncentrációja. Egy-egy mérési pontnál a mérési eredmények azért változhatnak, mert a mérés statisztikus bizonytalansága ezt megengedi, ezen felül azért, mert maga a radontartalom változik a vízben.

Ennek kiszámításához első lépésben megvizsgáltuk az egyes kutakra vonatkoztatott mérési bizonytalanságok átlagát:

$$\sigma_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \sigma 1}{n}$$ (az adott kút egy mérésének átlagos bizonytalansága)

A kutak mérési eredményeinek empírikus szórását szintén megadjuk:

$$\sigma_m = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \frac{(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$ (mért szórás)

Az időbeli változékonyság (σ_i) kiszámítása a következő képlet alapján történik:

$\sigma_m^2 = \sigma_1^2 + \sigma_i^2$

A fenti összefüggésből kifejezve az időbeli változékonyság $\sigma_i = \sqrt{\sigma_m^2 - \sigma_1^2}$

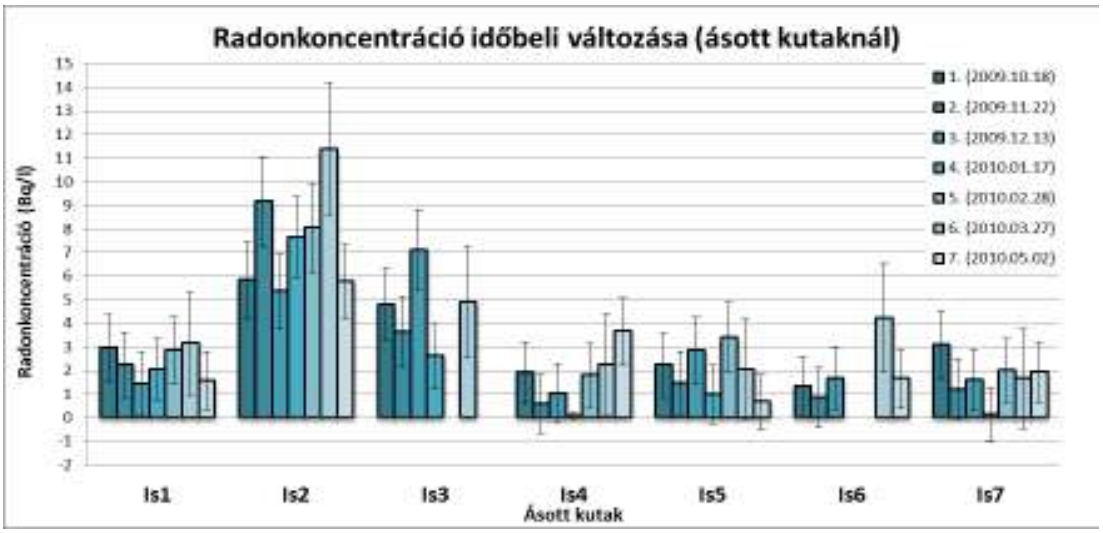
Végül megadjuk a σ i/c értékét, ahol c az adott kút vizének átlagos radontartalma.

Amennyiben az egy kútra számolt átlagos mérési bizonytalanság (σ_1) értéke nagyobb, mint az időbeli változékonyság (σ i), a kút vizének radontartalmát időben állandónak tekinthetjük. Az időben állandó radontartalmú vizek jellemzik a terület kőzeteinek radioaktivitását.

1. Ásott kutak eredményei

A fenti számítások eredményeit a *11. és 12. táblázatokban* összegeztem. Megfigyelhető, hogy **ásott kutaknál** szinte minden esetben a detektálási bizonytalanságnál kisebb mértékben változtak az eredmények, így állandó radonkoncentrációról beszélhetünk, kivétel ez alól az IS2 számú kút vize. Ennél az időbeli változékonyság 14,5%-nak adódott 7 mérés alapján.

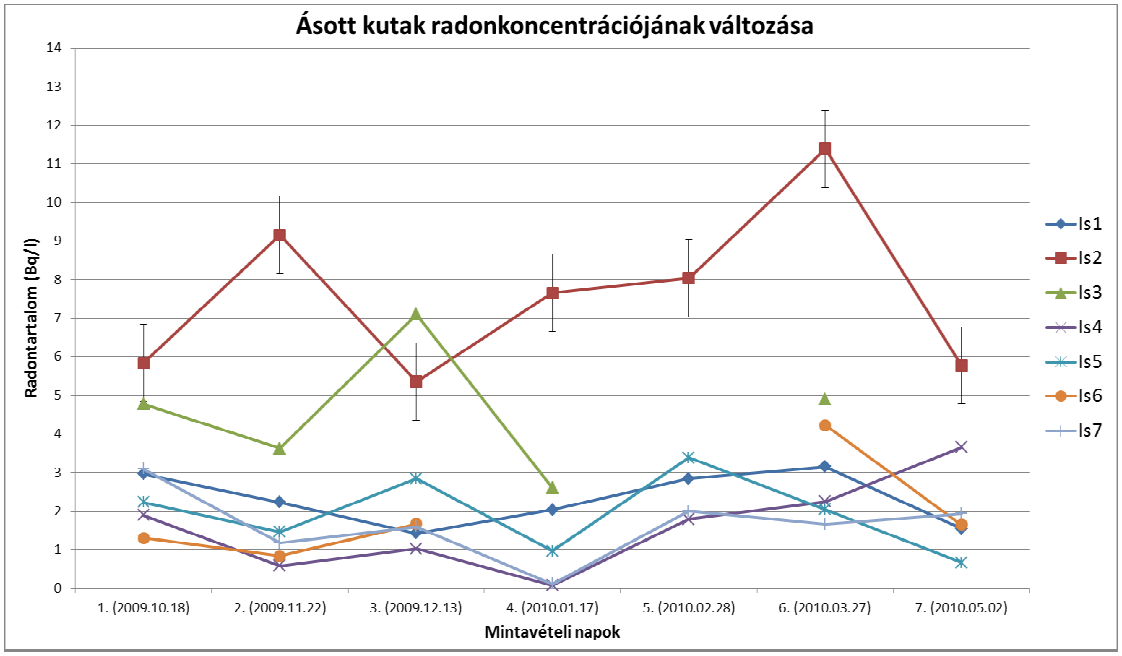
Az ásott kutak területi eloszlását is vizsgáltuk. Az Is2 kiugró értéket mutat a többi kúthoz képest. ennek egyik oka lehet, hogy az Is2 kút környezetében a többihez képest magasabb urántartalmú kőzet (márga) található a tulajdonos elmondása alapján. Amennyiben ennek a kút átlagos radontartalmát nem vesszük figyelembe a területi átlag megállapításánál, úgy 3,096 Bq/l helyett 2,35 Bq/l értéket kapunk az ásott kutak átlagos radontartalmának jellemzésére, az átlagos mérési bizonytalanság pedig ebben az esetben 1,47 Bq/l .



19. ábra A radonkoncentráció időbeli változása ásott kutaknál

A *19 ábrán* látható az ásott kutak vizéhez kapcsolódó összes mérés időpontja, radonkoncentráció értékei és mérési bizonytalanságai.

Végül összegeztem egyetlen diagramon az ásott kutak radonkoncentrációinak időbeli változásait. Az ábra áttekinthetőségének érdekében a mérési bizonytalanságokat csak az Is2 kút eredményeinél jelöltem, a többié kiolvasható a *11. táblázatból.* . Amennyiben két kúthoz tartozó egyenes nem metszi egymást az ábrán, úgy elmondható, hogy jobban különbözik két kút radontartalma, mint egy adott kút radontartalma két különböző időpontban. Ez a különbség megfigyelhető az Is2, és (az Is3 kivételével) az összes többi kút között. Az Is2 radontartalma tehát jobban különbözik az összes többitől, mint az Is2 kút radontartalma két különböző időpontban.

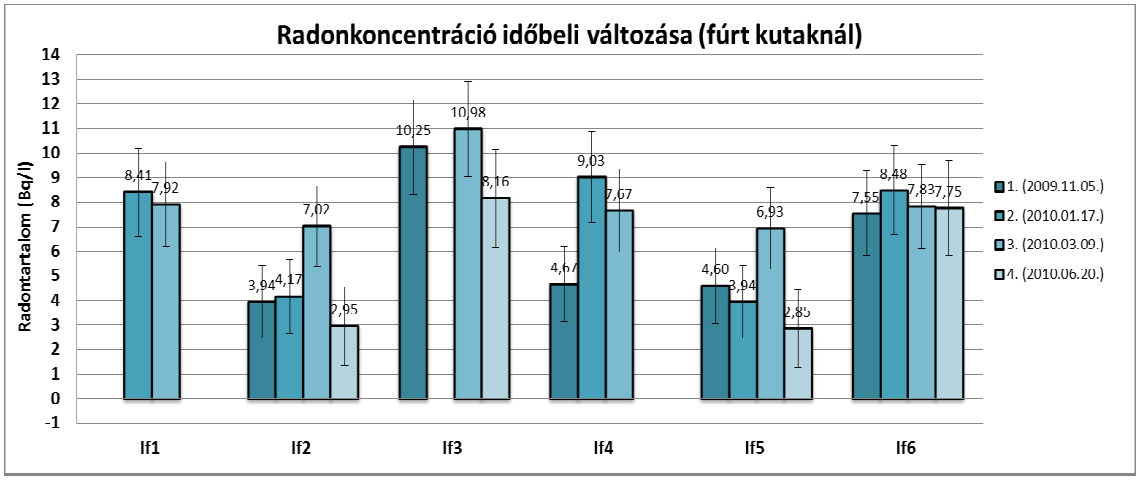


20. ábra Radonkoncentrációk időbeli változásának összehasonlítása

2. Fúrt kutak eredményei

Fúrt kutaknál az If1, If3 és If 6 számú kutak vizének radontartalma tekinthető időben állandónak, ezeknél a mérési adatok szórása kisebb, mint egy mérés átlagos bizonytalansága. a *12 táblázat alapján* Az állandónak tekintett radonkoncentrációjú kutak átlagaiból számított átlagos radontartalom 7,51 Bq/l, 1,84 Bq/l átlagos mérési bizonytalansággal. Az If1 kútnál végzett első mérés nem adott értékelhető eredményt, ezért azt figyelmen kívül hagytuk a táblázatban. Az időben változékony radontartalmú kutak az If2, If4 és If5. Ezek radontartalmának időbeli válzotékonysága 18 %, 20% és 16%.

Az összes fúrt kút figyelembe vételével az átlagos radontartalomra 7,01 Bq/l értéket kaptunk. Ezt tekintjük a fúrtsott kutakra jellemző átlagos radontartalomnak.

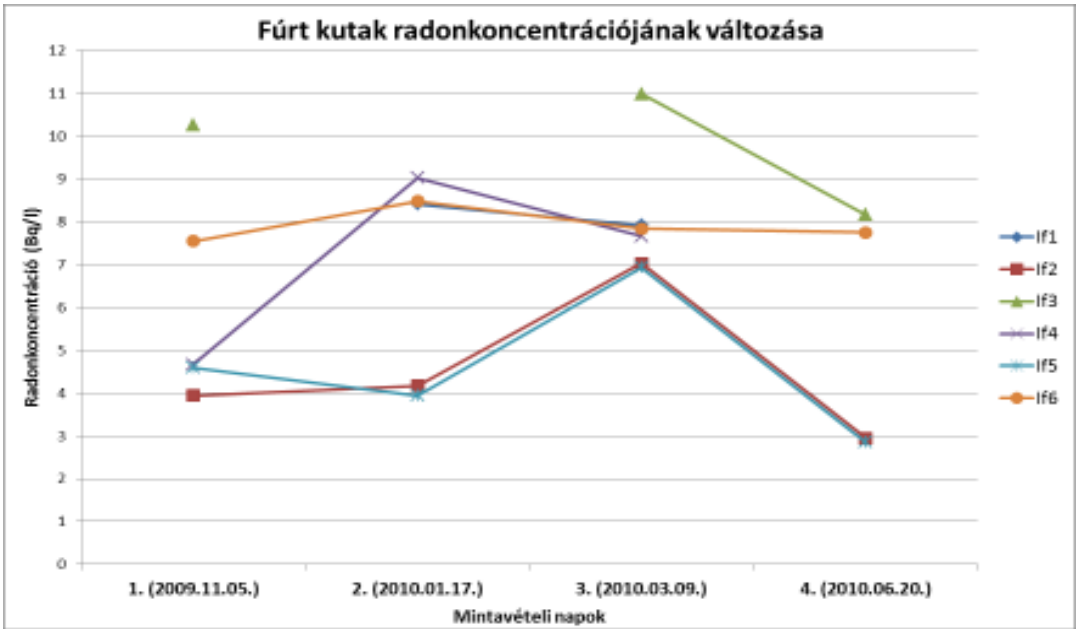


21. ábra A radonkoncentráció időbeli változása ásott kutaknál

A fúrt kutak radontartalmának időbeli változását szintén ábrázoltam vonaldiagramon. A mérési bizonytalanságok a *12. táblázatból* olvashatóak ki.

Az If4 és If6 kutak Felső Pliocén rétegekből kapják vizüket. Az If6 kút vizének radonkoncentrácija időben állandónak bizonyult, így ez a kút alkalmas az említett kőzeteken áthaladó víz radontartalmának jellemzésére, ezzel a kőzet jellemzésére is, hiszen annak minősége határozza meg a vele érintkezésbe kerülő víz radontartalmát. Eszerint az átlagis radontartalom 7,9 Bq/l, az átlagos mérési bizonytalanság 1,81 Bq/l, ami nem számít magas értéknek.

Sajnos csak egyetlen kút eredménye alkalmas a Felső Pliocén kőzetek jellemzésére, így nem tudjuk összehasonlítani más, hasonló vízadó kőzeteket jellemző eredménnyel.



22.ábra Radonkoncentrációk időbeli változásának összehasonlítása

A Pleisztocén rétegeket mintázó fúrt kutak közül az If1 é If3 kutak vize tekinthető időben állandónak. Az ezekből számolt átlagos radonkoncentráció értéke 8,98 Bq/l, átlagos mérési bizonytalansága 1,85 Bq/l.

3.Állandónak tekintett radonkoncentrációjú kutak eredményei

Amennyiben a fúrt és ásott kutak esetében is csak az időben állandó radonkoncenrtációjú kutak eredményeit használjuk fel a különböző földtörténeti korok kőzeteinek jellemzésére, a következő eredményt kapjuk:

Vízadó réteg kora	átlagos radonkoncentráció (Bq/l)	átlagos mérési bizonytalanság (Bq/l)
Pleisztocén felszínközelben	2,35	1,47
Pleisztocén 43-70 m mélyen	8,98	1,85
Felső Pliocén 43-70 m mélyen	7,9	1,81

11.táblázat Különböző földtörténeti korban keletkezett vízadó rétegek átlagos radonkoncentráció értékei és átlagos mérési bizonytalanságai az időben állandó radontartalmú kutak alapján

Ásott kutak mérési eredményei

	1. mérés		2. mérés		3. mérés		4. mérés		5. mérés		6. mérés		7. mérés		átlag	szórás	szórás/átlag	σ 1	σ i	σ i/c
kút	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	c	(σ m)				
Is1	2,96	1,41	2,23	1,4	1,43	1,36	2,04	1,32	2,84	1,41	3,15	2,18	1,55	1,24	2,31	0,69	0,30	1,47	0	0
Is2	5,84	1,63	9,16	1,91	5,36	1,59	7,66	1,73	8,04	1,88	11,39	2,82	5,78	1,57	7,60	2,18	0,29	1,88	1,104	0,145
Is3	4,78	1,55	3,63	1,51	7,1	1,73	2,61	1,37			4,9	2,35			4,60	1,68	0,36	1,70	0	0
Is4	1,9	1,32	0,59	1,25	1,03	1,26	0,08	0,16	1,79	1,34	2,25	2,14	3,66	1,43	1,61	1,19	0,73	1,27	0	0
Is5	2,23	1,37	1,47	1,33	2,84	1,41	0,97	1,24	3,39	1,48	2,05	2,13	0,67	1,19	1,95	0,98	0,50	1,45	0	0
Is6	1,31	1,28	0,84	1,28	1,67	1,31					4,23	2,31	1,65	1,26	1,94	1,32	0,68	1,49	0	0
Is7	3,1	1,44	1,18	1,31	1,6	1,31	0,12	1,15	2	1,36	1,66	2,12	1,93	1,29	1,66	0,90	0,54	1,43	0	0

12. táblázat Ásott kutak mérési eredményei

Fúrt kutak mérési eredményei

	1. mérés		2. mérés		3. mérés		4. mérés		átlag	szórás	szórás/átlag	σ 1	σ i	σ i/c
kút	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	Bq/l	hiba	c	(σ m)				
If1			8,41	1,81	7,92	1,71			8,16	0,35	0,04	1,76	0	0
If2	3,94	1,47	4,17	1,50	7,02	1,65	2,95	1,59	4,52	1,75	0,39	1,55	0,81	0,18
If3	10,25	1,93			10,98	1,93	8,16	1,98	9,80	1,47	0,15	1,95	0	0
If4	4,67	1,53	9,03	1,85	7,67	1,70			7,12	2,23	0,31	1,69	1,45	0,20
If5	4,60	1,53	3,94	1,48	6,93	1,65	2,85	1,58	4,58	1,73	0,38	1,56	0,74	0,16
If6	7,55	1,74	8,48	1,82	7,83	1,72	7,75	1,94	7,90	0,40	0,05	1,81	0	0

13. táblázat Fúrt kutak mérési eredményei

5. A felszín alatti vizek jellemzése egészségügyi szempontból

A WHO 1993-as ajánlása kimondja, hogy az a víz alkalmas emberi fogyasztásra, amelynek (napil 2 literes bevitt mennyiség esetén) éves, szervezetre gyakorolt sugárterhelése 0,1 mSv alatti értékű, ami 632 mBq/l Ra aktivitáskoncentrációnak felel meg. Radonra vonatkozó ajánlás nincsen, ezt azzal indokolták, hogy a radon a víz szállítása, tárolása, forralása közben kipárolog a vízből. A WHO és ICRP ajánlásai alapján az országok megszabják radonra és rádiumra vonatkozó határértékeiket a fogyasztásra szánt vizekben. Ezek széles tartományok közt változhatnak, azEgyesült államokban 10 Bq/l a radonkoncentráció határértéke ivóvizekre, míg Nagy-Britanniában 100Bq/l, Svédországban szintén 100 Bq/l, és 1000 Bq/l felett emberi fogyasztásra alkalmatlannak minősítik az ivóvizet. Csehországban a felső korlát 50 Bq/l, és 1000 Bq/l fúrt kutakból származó víz esetén.

Magyarországon az ivóvizek radioaktivitásából származó éves sugárterhelés dózisa nem haladhatja meg a 0,1 mSv-es értéket. Ez a rendelkezés igazodik a WHO ajánlásához, valamint az Európai Unio Tanácsának ajánlásával.

Az Isaszegen mintázott kutak közül a fúrt kutak vizét használják emberi fogyasztásra. Az ezekben mért átlagos radonkoncentráció értékekre 4,5-9,8 Bq/l közötti eredményeket kaptunk. Ez a tartomány jóval a WHO ajánlása és a hazai határértékek alatt van. Az ásott kutak vizét nem használják fogyasztási célokra, valamint radonkoncentráció átlagértékei még a fúrt kutak átlagértékeinél is alacsonyabbak, 1,6-7,6 Bq/l között alakultak a mérések során.

Az isaszegi felszín alatti vizekről a fentiek alapján az mondható el, hogy radioaktivitás tekintetében nem jelentenek a megengedettnél magasabb sugárterhelést a fogyasztó lakosságra, sőt, a határértéket meg sem közelítik. A Vízművek rendszeres vízminőség ellenőrzései alapján tudjuk, hogy I. osztályú rétegvizet fogyaszthatnak az itt élő emberek.

6. Gamma dózisteljesítmény mérésének eredményei

Egy terület radioaktivitásának felmérése során gyakran alkalmaznak terepi gammasugárzás mérést. Isaszeg területén ezt én is megtettem 88 mérési ponton, minden pontban három mérést végezve. A három mérés átlaga adta az adott ponthoz rendelt gamma dózisteljesítmény értékét. Tíz további pontban, kutak körül olyan módon végeztem mérést, hogy egy 10 méter sugarú körön belül 10-14 db eredményt jegyeztem fel.

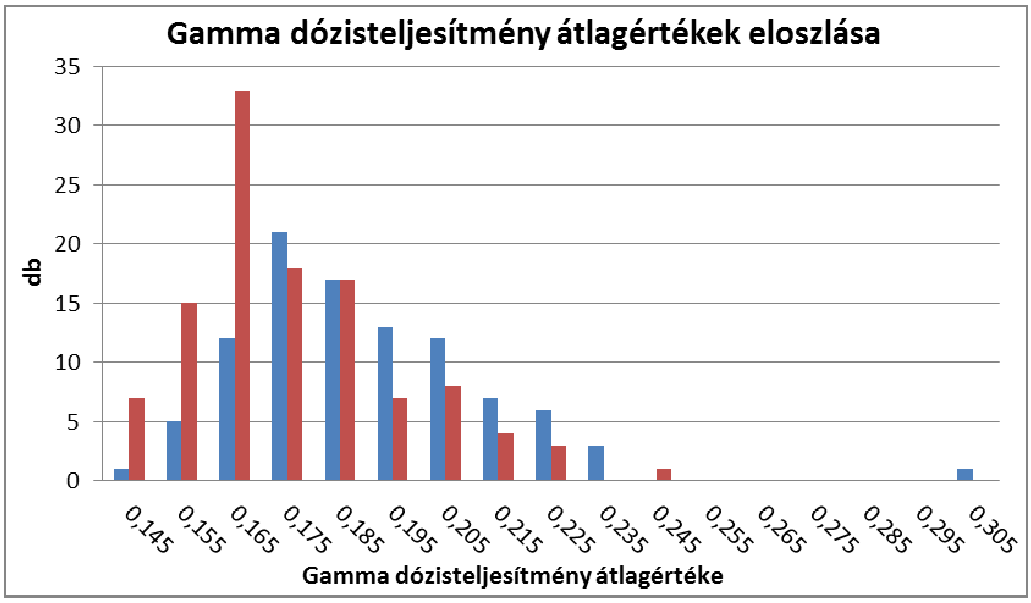
Majdnem minden radioaktív izotóp bocsát ki gamma fotont, melynek áthatoló képessége nagy, kőzetek esetén legfeljebb 50-60 cm mélyről léphet ki gamma foton. A gamma sugárzás több, mint 90%-a a felső 20 cm-es talajrétegből származik.A radon felszín alatti kőzetekből történő kidiffundálása mélyebb rétegekből is indulhat, leányelemei növelik a talajréteg eredeti radioaktivitását.

Gamma sugárzás mérésével tehát információt kaphatunk a terület radioaktivitásáról, és jelzést kaphatunk az esetleges magas radonkoncentráció értékek előfordulásáról.

Isaszegen FH 40 GL 10 típusú dózisteljesítmény mérővel a talajtól 10 cm-re mértem, egy pontban háromszor ismételve a mérést.

1. Mérési eredmények és következtetés

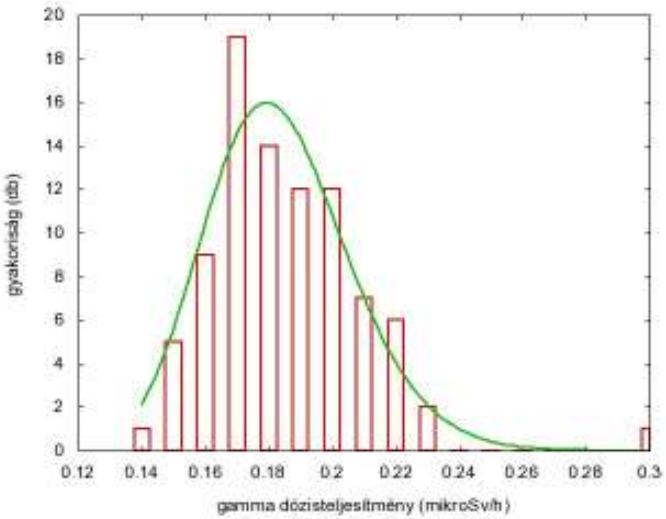
A mért pontok 3 mérésre átlagolt dózisteljesítmény értékeinek gyakoriság eloszlását grafikonon ábrázoltam, melyre gyakoriság eloszlására lognormál eloszlás jellemző.



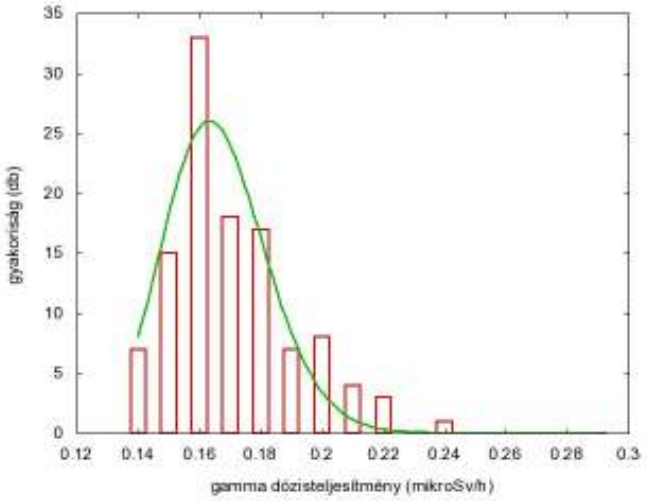
23. ábra Gamma dózisteljesítmény átlagértékek eloszlása

A piros oszlopok a kutak körüli mérések eredményeként kapott dózisteljesítmény átlagértékek eloszlását jelöli, a legnagyobb számban 0,176 µSv/h értékkel, míg a kék oszlopok a 88 pont méréséhez tartoznak, ahol 0,185 µSv/h értékből szerepel legtöbb.

Gnuplot programmal lognormál függvényt illesztettünk a kutak körüli pontok átlagértékeire.



24. ábra 88 pont átlagértékeinek eloszlására illesztett lognormál függvény



25. ábra 10 kút körüli pont átlagértékeinek eloszlására illesztett lognormál függvény

A *23. ábrán* látható, hogy a 88 ponteloszlása (kék oszlopok) a magaabb dózisteljesítmény értékek felé tolódnak, míg a 10 pont értékeinek csúcsai között több szerepel alacsonyabb dózisteljesítmény értékekkel

Meghatároztam az összes, 98 db mérési eredmény átlagát is, ennek értéke 0,1824µSv/h .lett. Ezzel az értékkel közelíthetünk Isaszeg területének felszíni gamma dózisteljesítményének jellemzéséhez. A méréseket két földtani képződmény felett végeztem, melyek jellemző dózisteljesítmény eloszlása kis mértékben eltér egymástól. A Felső Pleisztocén Fluvioeolikus Homokkal fedett terület gammasugárzása a mérési bizonytalanságon túl kicsit magasabb, mint a Holocén Homokkal fedett területen.

8. Összefoglalás

Szakdolgozatom céljaként Isaszeg területének radioaktivitás szempontjából történő felmérést és jellemzését tűztem ki, ezen belül a geológiai formációk mennyiségi jellemzéséhez felszín alatti vizekből, kutakból vett vízminták radontartalmának vizsgálatát, valamint felszíni gamma dózisteljesítmény területi eloszlásának jellemzését.

Mintavételi pontjaim között 7 ásott kút és 6 fúrt kút szerepelt, előbbiek lakóházak udvarain, utóbbiak pedig az Isaszegi Településüzemeltetési és Vízmű Kft által üzemeltetett ivóvíz kutak voltak. A mintavételezéseket 2009. 10. hónaptól 2010.06. 20-ig végeztem, ez alatt ásott kutakból 45, fúrt kutakból 20 mintát vettem.

Magyarország fedett földtani térkép alapján meghatároztam, hogy a kutak milyen felszíni rétegekkel fedett területen vannak, a vízföldtani naplók alapján pedig azt is megvizsgáltam, a kutak milyen földtörténeti korokban keletkezett vízadó rétegekből kapják utánpótlásukat.

Meghatároztam az ásott és fúrt kutakra jellemző területi radonkoncentráció átlagokat: előbbinél 3,09 Bq/l, utóbbinál pedig 7,01 Bq/lértékeket kaptam. Vízadó réteg alapján három kategóriába soroltam a kutakat: Pleisztocén korban keletkezett, felszínhez közeli vízadó rétegekből vett vízminták átlagos radonkoncentráció értéke 3,09 Bq/l,átlagos mérési bizonytalansága 1,72 Bq/l. Mélyebben lévő Pleisztocén rétegekre (fúrt kutak) jellemzően ezek az értékek 6,77 Bq/l, 1,70 Bq/l átlagos mérési bizonytalansággal, valamint a mélyebben található (43-70 m) idősebb Felső Pliocén vízadó rétegekre pedig 7,51 Bq/l jellemző, 1,75 Bq/l átlagos mérési bizonytalansággal.

Időbeli változékonyság vizsgálatot is végeztem a mért kutak radonkoncentráció értékeiről. Ásott kutak esetében az Is2 kút kivételével minden vizsgált kút vizének radontartalma időben állandónak mondható.

Az állandó radonkoncentrációjú vizek jellemzik leginkább az adott területet, az időben nagyon változékony radontartalmú kutak esetében sok mérést kell végezni a jellemzéshez. Az ezekből számolt átlagos radonkoncentráció kicsit kisebb érték 2,35 Bq/l, 1,47 Bq/l átlagos mérési bizonytalansággal.

Fúrt kutak közül az If1, If3 és If6 kutak vizének radontartalma számít állandónak, a többi kút radontartalmának változékonysága is 20 % alatt marad. Ezek alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a felszín alatti vizek időben nagyjából állandó radontartalmúak, nem függenek a meteorológiai viszonyoktól, a változásokat valószínűleg enyhe hidrogeológiai változások okozhatják. Ezért a vízadó geológiai képződményeket jól jellemzik a radontartalom átlagértékei.

Felszíni gamma dózisteljesítményt végeztem összesen 98 ponton, ezzel jellemezve a terület radioaktivitását. A pontok dózisteljesítményeinek átlagértéke a felszíntől kb. 10 cm-re 0,1824 μSv/h, amit a terület jellemzésére használhatunk.

Összességében elmondható Isaszeg területének radioaktivitásáról, hogy nem jelent nagy terhelést a lakosságra sem a gamma dózisteljesítmény értéke, sem pedig a felszín alatti vizek sugárterhelése. Az ivóvíz kiváló minőségű, alacsony radontartalommal rendelkezik

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném megköszönni témavezetőmnek, Horváth Ákosnak a diplomamunka elkészítésében nyúltott nélkülözhetetlen segítségét és sok türelmét.

Köszönettel tartozom továbbá az Isaszegi Településüzemeltető és Vízmű Kft munkatársainak, akiktől rengeteg hasznos információt kaptam, és lehetővé tették, hogy vízmintákat vegyek a védterülettel körbezárt ivóvízkutakból.

Szintén köszönöm az ásott kutak tulajdonosainak, hogy mindig szívesen fogadtak a mintavételezések alkalmával.

Köszönettel tartozom továbbá családomnak a sok bíztatásért, nagymamámnak, aki sok esetben velem tartott mintavételezések alkalmával, valamint Máténak rengeteg türelméért és bíztatásért.

Irodalomjegyzék

ASZTALOS I., (2007.): Isaszeg - Száz magyar falu könyvesháza.- *Száz magyar falu könyvesháza Kht* (2007.)

ÁDÁNY T., (2005): Felszín alatti vizek radontartalma és a földtani szerkezet összefüggéseinek vizsgálata a Balaton északi partján szakdolgozata.- ELTE Atomfizikai Tanszék

BECKER, K., (1995.): Az emberek viszonya a természetes, orvosi, és „mesterséges" sugárterheléshez.- *Fizikai Szemle*, 1995/6.

EDDLING C., (2007.): Lung cancer and smoking in a group of iron ore miners.- American Journal of Industrial Medicine, Volume 3, Issue 2, pages 191–199

FRANKE A., REINER L., PRATZEL H.G., FRANKE T., RESCH K. L., (2000.) Long term efficacy of radon spa therapy in rheumatoid arthritis – a randomized, sham controlled study and follow up. Oxford Journals, *Medicine, Rheumatology* Volume39, Issue8: Pp. 894-902.

HÁMORI K.-TÓTH E., (2006.): Beszámoló a 2005/06 évben végzett lakótéri radonmérések eredményeiről (*RAD Labor* 2006.), http://boronkay.vac.hu/rad/

HÁMORI K. – TÓTH E. (2007.): Beszámoló a 2006/07 évben végzett lakótéri radonmérések eredményeiről (*RAD Labor* 2007.), http://boronkay.vac.hu/rad/

HORVÁTH I.- TÓTH GY., (2005.): A lakótéri radon-tartalmak földtani háttere- (*RAD Labor* 2005.), http://boronkay.vac.hu/rad/

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

Magyarország 1:100 000-es fedett földtani szelvénye.- MÁFI

MAKRA ZS., (1983.): Sugárözönben élünk.- Gondolat zsebkönyvek, *Gondolat Budapest* 1983. p. 48-49

MÓCSY I., NÉDA T., SZACSVAI K. (2009.): Ásvány- és termálvizek terápiás alkalmazása és az abból adódó dózisok.- *A Miskolci Egyetem Közleménye,* A sorozat, Bányászat, 77. kötet

NAGY G., KOVÁCS T., (2005.): A szcintillációs detektorok jelene és jövője.- *Hadtudomány XV. Évfolyam* 2005.

NAGY K., BERECZKI J., KÁVÁSI N., KOVÁCS T., SOMLAI J., BERHÉSM I., (2004.): Radonvizsgálatok az egri Törökfürdőben.- *Magyar Balneológiai Egyesület Kongresszusa Mátraderecske*, 2004. november, p. 12-13.

NAGY K., KÁVÁSI N., KOVÁCS T., SOMLAI J.,(2008.): Radon therapy and speleotherapy in Hungary.- Press Therm Climat 2008, p.145:219.

NIKL I., (1996.): The Radon Concentration and Absorbed Dose Rate in Hungarian Dwellings Radiat. Prot. Dosim.- 67 (1996.) p. 225-228

PAPP B.: Az ionizáló sugárzások detektálására alkalmas eszközök http://ion.elte.hu/~pappboti/radioaktivitas/cimlap/tematika/radioakt/ionizalosugarzas/detektorok.htm

SAMUELSSON, L., (1990): Radon a lakásban, - *Fizikai Szemle,* 1990/5., p.138.

SOMLAI J., TARJÁN S., KANYÁR B., (1999.): A bomlás virágai.- *Energia Klub környezetvédelmi egyesület, Radioökológiai Tisztaságért Társadalmi szervezet*, 1999.,16.o

SOMOGYI GY, NIKL I., CSIGE I., (1989): Radon aktivitás-koncentrációjának mérése és a belélegzésből eredő sugárterhelés meghatározása hazai lakások légterében.- *Diagnosztika* 32(1989), p. 177-183.

TÓTH E., (1999.): Radon a magyar falvakban. - *Fizikai szemle,* 1999/2.

TÓTH E., (2004.): Lakótéri radon és rákkockázata Magyarországon.- *XIV. Környezeti ártalmak konferencia, Hévíz* (2004.), http://boronkay.vac.hu/rad/pdf/mc/18.pdf

TÓTH E., HÁMORI K., MINDA M., TÓTH GY., HAAS G. A., (2007.): A természetes eredetű sugárterhelés főbb forrásai.- *A RAD Labor országos felmérése*, p. 3-77.

VÉRTES A., (2010.): Marie Curie és a kémia éve.- *Magyar Tudomány,* 2010. 02.

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

[1] http://www.ivoviz.hu/files/v.rad.pdf
Földkérgi ivóvizek sugár-egészségügyi szempontjai.- *Debreceni egyetem – Magyar Tudományos Akadámia Atommagkutató Intézet Környezetfizikai Tanszék*

[2]
http://ec.europa.eu/dgs/jrc/index.cfm?id=1410&obj_id=5450&dt_code=NVS&lang=en

[3] http://fold1.ftt.uni-miskolc.hu/~foldshe/foldtan/kainozo.htm#pannon
[4] http://www.mafi.hu/microsites/lithosz/pannon.html

Ábrajegyzék:

1.ábra: A radon leányelemeinek radioaktív bomlásai, felezési idejük. (SOMLAI J. et al. 1999.)
2. ábra: A 200 Bq/m3-t meghaladó radonszintő lakások aránya Magyarország tájegységein. Az adatok a tájegységek 10 ezer finél kisebb lélekszám településeinek földszinti lakásaira vonatkoznak." (HÁMORI K. - TÓTH E. 2006.)
3. ábra: Magyarország és a Börzsöny-Cserhát összehasonlítása lakótéri radonszint szempontjából, valamint kontrolltelepülések eredményei (HÁMORI K. - TÓTH E. 2006.)
4. ábra: A 200 Bq/m3-t, illetve a 400 Bq/m3-t meghaladó radonszintő lakások aránya a vizsgált területeken. (HÁMORI K. – TÓTH E. 2007.)
5. ábra: Radon a légzőrendszerben (SAMUELSSON, L. 1990)
6. ábra: Isaszeg területéről készült fedett földtani szelvény és magyarázata (forrás: Magyarország 1:100 000-es fedett földtani szelvénye)
7. ábra: Mintavételi pontok: sárga-ásott, kék-fúrt kutak helye
8. ábra: If1 kút felépítése
9. ábra: If3 kút felépítése
10. ábra: If4 kút felépítése
11. ábra: If5 kút felépítése
12. ábra: Fúrt kutak DK-Ény-i irányú sorrendben, és a az őket jellemző földtani képződmények korai (saját készítésű ábra a vízföldtani naplók alapján)
13. ábra: Fúrt kutak földtani szelvényei (saját készítésű ábra a vízföldtani naplók alapján)
14. ábra: OptiFluor O-val és vízmintával teli küvetta, valamint orvosi fecskendő
15. ábra: Ásott kutakból vett mintákkal teli küvetták, Is 1 sorozat
16. ábra: Fotoelektron-sokszorozó (PAPP B.)
17. ábra: Ásott kutak átlagos radontartalma a megcsapolt réteg korának illetve a felszíni réteg minőségének feltüntetésével
18. ábra: Fúrt kutak átlagos radontartalma a megcsapolt réteg korának illetve a felszíni réteg minőségének feltüntetésével

19. ábra: A radonkoncentráció időbeli változása ásott kutaknál
20. ábra: Radonkoncentrációk időbeli változásának összehasonlítása
21. ábra: A radonkoncentráció időbeli változása ásott kutaknál
22.ábra: Radonkoncentrációk időbeli változásának összehasonlítása
23. ábra: Gamma dózisteljesítmény átlagértékek eloszlása
24. ábra 88 pont átlagértékeinek eloszlására illesztett lognormál függvény
25. ábra 10 kút körüli pont átlagértékeinek eloszlására illesztett lognormál függvény

Táblázatok jegyzéke:

1.táblázat A radon izotópjai és azok tulajdonságai
2. táblázat Az egyes kutakból vett minták száma
3 .táblázat Ásott kutak GPS és EOV koordinátái
4. táblázat Fúrt kutak GPS és EOV koordinátái
5. táblázat A fúrt kutakból történt harmadik mintavételezéshez tartozó excel tábla
6. táblázat Ásott kutakból vett vízminták radonkoncentráció értékei és mérési bizonytalanságai
7. táblázat Fúrt kutakból vett vízminták radonkoncentráció értékei és mérési bizonytalanságai
8. táblázat Ásott kutak radonkoncentráció átlagértékei és a mérési bizonytalanságok átlagai
9. táblázat Fúrt kutak radonkoncentráció átlagértékei és a mérési bizonytalanságok átlagai
10.táblázat Különböző földtörténeti korban keletkezett vízadó rétegek átlagos radonkoncentráció értékei és átlagos mérési bizonytalanságai
11.táblázat Különböző földtörténeti korban keletkezett vízadó rétegek átlagos radonkoncentráció értékei és átlagos mérési bizonytalanságai az időben állandó radontartalmú kutak alapján
12. táblázat Ásott kutak mérési eredményei
13. táblázat Fúrt kutak mérési eredményei

Függelék

pont	mérés 1	mérés 2	mérés 3	átlag µSv/h
1	0,14	0,14	0,15	0,143
2	0,25	0,24	0,21	0,233
3	0,2	0,2	0,2	0,200
4	0,19	0,17	0,16	0,173
5	0,2	0,21	0,2	0,203
6	0,18	0,17	0,16	0,170
7	0,15	0,15	0,16	0,153
8	0,16	0,15	0,15	0,153
9	0,18	0,19	0,17	0,180
10	0,19	0,18	0,17	0,180
11	0,18	0,18	0,19	0,183
12	0,19	0,19	0,19	0,190
13	0,16	0,16	0,17	0,163
14	0,17	0,16	0,16	0,163
15	0,22	0,23	0,22	0,223
16	0,21	0,2	0,24	0,217
17	0,17	0,19	0,18	0,180
18	0,22	0,19	0,21	0,207
19	0,21	0,23	0,23	0,223
20	0,19	0,2	0,18	0,190
21	0,18	0,19	0,18	0,183
22	0,18	0,19	0,19	0,187
23	0,16	0,15	0,17	0,160
24	0,17	0,17	0,16	0,167
25	0,16	0,16	0,15	0,157
26	0,2	0,21	0,18	0,197
27	0,19	0,17	0,17	0,177
28	0,17	0,17	0,17	0,170
29	0,18	0,18	0,15	0,170
30	0,15	0,16	0,16	0,157
31	0,17	0,17	0,16	0,167
32	0,21	0,22	0,21	0,213
33	0,33	0,3	0,26	0,297
34	0,23	0,22	0,23	0,227
35	0,18	0,18	0,17	0,177
36	0,18	0,17	0,17	0,173
37	0,18	0,17	0,17	0,173
38	0,17	0,16	0,17	0,167
39	0,15	0,15	0,15	0,150
40	0,22	0,21	0,18	0,203
41	0,19	0,16	0,15	0,167
42	0,19	0,2	0,2	0,197
43	0,22	0,21	0,22	0,217
44	0,22	0,22	0,21	0,217
45	0,18	0,18	0,18	0,180
46	0,19	0,2	0,18	0,190
47	0,19	0,18	0,18	0,183
48	0,18	0,2	0,2	0,193
49	0,2	0,21	0,17	0,193
50	0,21	0,2	0,19	0,200
51	0,21	0,19	0,18	0,193
52	0,19	0,2	0,22	0,203
53	0,17	0,17	0,18	0,173
54	0,16	0,16	0,17	0,163
55	0,24	0,21	0,2	0,217
56	0,2	0,21	0,19	0,200
57	0,21	0,21	0,2	0,207
58	0,2	0,22	0,22	0,213
59	0,17	0,17	0,18	0,173
60	0,18	0,19	0,18	0,183
61	0,2	0,19	0,19	0,193
62	0,18	0,16	0,17	0,170
63	0,19	0,2	0,2	0,197
64	0,22	0,21	0,19	0,207
65	0,16	0,17	0,17	0,167
66	0,2	0,2	0,22	0,207
67	0,2	0,2	0,19	0,197
68	0,18	0,19	0,19	0,187
69	0,2	0,2	0,2	0,200
70	0,2	0,2	0,2	0,200
71	0,2	0,19	0,18	0,190
72	0,15	0,17	0,18	0,167
73	0,17	0,17	0,18	0,173
74	0,19	0,19	0,18	0,187
75	0,18	0,18	0,18	0,180
76	0,19	0,18	0,17	0,180
77	0,15	0,18	0,18	0,170
78	0,18	0,18	0,17	0,177
79	0,17	0,16	0,17	0,167
80	0,16	0,17	0,2	0,177
81	0,21	0,21	0,2	0,207
82	0,2	0,19	0,18	0,190
83	0,16	0,15	0,17	0,160
84	0,16	0,16	0,16	0,160
85	0,15	0,15	0,15	0,150
86	0,16	0,16	0,16	0,160
87	0,14	0,14	0,17	0,150
88	0,17	0,17	0,17	0,170

Gamma dózisteljesítmény mérés eredménye (88 pont)

Pont	Mérési eredmény µSv/h													
89	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,19	
90	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17				
91	0,2	0,2	0,2	0,21	0,21	0,21	0,22	0,25	0,28	0,3				
92	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,26	0,29	0,3		
93	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,2		
94	0,13	0,13	0,14	0,14	0,14	0,14	0,15	0,15	0,19	0,2	0,21	0,22	0,22	0,24
95	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,18	0,18	0,18	0,18	0,19	0,19	0,19	0,2	
96	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	
97	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16		
98	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,2	0,2				

Gamma dózisteljesítmény mérés eredménye (10 pont)

érték µSv/h	db	
0,145	1	7
0,155	5	15
0,165	9	33
0,175	19	18
0,185	14	17
0,195	12	7
0,205	12	8
0,215	7	4
0,225	6	3
0,235	2	0
0,245	0	1
0,255	0	
0,265	0	
0,275	0	
0,285	0	
0,295	0	
0,305	1	

Gamma dózisteljesítmény értékek eloszlása

MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYV
Isaszeg, 2009. 10. 18. ásott kutak

	Mintakód	A mintavétel ideje	A mintavétel helyszíne	Rn koncentráció (Bq/l)	A mintavétel körülményei
1	Is1/1	14:35	Szt. László utca 33.	**2,96 ± 1,41**	Kertes ház udvarán lévő 15,5 m mély ásott kút, 2 évvel ezelőtt kitisztították, használaton kívül van. Szalaggal leengedett 20 ml-es mintavevő edény és fecskendő segítségével vettem 10 ml vízmintát.
2	Is2/1	14:50	Árpád utca 54	**5,84 ±1,63**	Kertes ház udvarán lévő 10 m mély ásott kút, naponta zajlik belőle vízkivétel. Pár perces szivattyúzás után vettem mintát a búvárszivattyú, pohár és fecskendő segítségével.
3	Is3/1	15:20	Dózsa György utca 46.	**4,78 ± 1,55**	Használaton kívül lévő ásott, 19 m mély kút családi ház udvarán. A kút aljáig leengedett 20 ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel történt a mintavétel.
4	Is4/1	15:40	Béke utca 19.	**1,9 ± 1,23**	Tavasztól késő őszig szivattyúzott 18,4 m mély ásott kútból szivattyúval történt a mintavétel, pár perc szivattyúzás után fecskendő segítségével.
5	Is5/1	15:50	Wesselényi utca 22.	**2,2 ± 1,37**	Használaton kívüli 4,8 m mély ásott kút, csak néha, nyáron van vízkivétel. Szalaggal leeresztett 20 ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel vettem vízmintát.
6	Is6/1	16:10	Kossuth Lajos utca 20.	**1,31 ± 1,28**	Nyáron locsoláshoz használt, csak ebben az időszakban szivattyúzott ásott kút, melyből szivattyúval, a slagban lévő pangó víz kiengedése után vettem mintát fecskendő segítségével. A kút betonlappal van lefedve, melyből a slag egy vékony résen át jut a felszínre.
7	Is7/1	16:25	Belsőmajor utca 6.	**3,1 ± 1,44**	Kertes ház udvarán lévő ásott kút, melyet szintén csak nyáron használnak locsolásra, ebből is szalaggal az aljáig eresztett 20ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel vettem mintát. A kút a méréssorozat előtt fa lécekkel volt lezárva

MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYV
Isaszeg, 2009. 11. 22. ásott kutak

	Mintakód	A mintavétel ideje	A mintavétel helyszíne	Rn koncentráció (Bq/l)	A mintavétel körülményei
1	Is1/2	10:15	Szt. László utca 33.	**2,23 ± 1,4**	A körülmények nem változtak az előző mérés óta, még nem téliesítették a kutat, és változatlanul nem használják. Szalaggal leengedett 20 ml-es mintavevő edény és fecskendő segítségével vettem 10 ml vízmintát.
2	Is2/2	10:35	Árpád utca 54	**9,16 ± 1,91**	Napi használatban van a kút az előző mérés óta is. Pár perces szivattyúzás után vettem mintát a búvárszivattyú, pohár és fecskendő segítségével.
3	Is3/2	10:50	Dózsa György utca 46.	**3,63 ± 1,51**	Továbbra is használaton kívül van ez a kút, és ismét az aljáig leengedett 20 ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel történt a mintavétel.
4	Is4/2	11:06	Béke utca 19.	**0,59 ± 1,25**	Jelenleg már nem használják ezt a kutat (csak locsolásra vesznek ki vizet) szivattyúval történt a mintavétel, pár perc szivattyúzás után, hogy a slagban lévő víz kiürüljön, fecskendő segítségével.
5	Is5/2	11:20	Wesselényi utca 22.	**1,47 ± 1,33**	A kút továbbra is használaton kívül van. Szalaggal az aljáig eresztett 20 ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel vettem vízmintát, az edényben lévő víz aljáról, amely a felhúzás során legkevesebbet érintkezett a levegővel.
6	Is6/2	11:35	Kossuth Lajos utca 20.	**0,84 ± 1,28**	Nyáron locsoláshoz használt, csak ebben az időszakban szivattyúzott ásott kút, melyből szivattyúval, a slagban lévő pangó víz kiengedése után vettem mintát fecskendő segítségével. A kutat az előző mintavétel óta sem használják, továbbra is betonlappal van lefedve.
7	Is7/2	11:45	Belsőmajor utca 6.	**1,18 ± 1,31**	Kertes ház udvarán lévő ásott kút, melyet szintén csak nyáron használnak locsolásra, ebből ismét szalaggal az aljáig eresztett 20ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel vettem mintát.

MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYV
Isaszeg, 2009. 12. 13. ásott kutak

	Mintakód	A mintavétel ideje	A mintavétel helyszíne	Rn koncentráció (Bq/l)	A mintavétel körülményei
1	Is1/3	11:12	Szt. László utca 33.	**1,43 ± 1,36**	A körülmények nem változtak az előző mérés óta, még mindig nem téliesítették a kutat, de használaton kívül van. Szalaggal leengedett 20 ml-es mintavevő edény és fecskendő segítségével vettem 10 ml vízmintát.
2	Is2/3	11:23	Árpád utca 54	**5,36 ± 1,59**	Használaton kívül van a kút egy rövid ideje. Pár perces szivattyúzás után vettem mintát a búvárszivattyú, pohár és fecskendő segítségével.
3	Is3/3	10:57	Dózsa György utca 46.	**7,10 ± 1,73**	Továbbra is használaton kívül van a kút. Az aljáig leengedett 20 ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel történt a mintavétel.
4	Is4/3	10:45	Béke utca 19.	**1,03 ± 1,26**	Jelenleg már nem használják ezt a kutat (csak locsolásra vesznek ki vizet növénytermesztés idején) pár perc szivattyúzás után, hogy a slagban lévő víz kiürüljön, fecskendő segítségével vettem mintát.
5	Is5/3	10:35	Wesselényi utca 22.	**2,84 ± 1,41**	A kút továbbra is használaton kívül van. Szalaggal az aljáig eresztett 20 ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel vettem vízmintát, az edényben lévő víz aljáról, amely a felhúzás során legkevesebbet érintkezett a levegővel.
6	Is6/3	11:46	Kossuth Lajos utca 20.	**1,67 ± 1,31**	Nyáron locsoláshoz használt, csak ebben az időszakban szivattyúzott ásott kút, melyből szivattyúval, a slagban lévő pangó víz kiengedése után vettem mintát fecskendő segítségével. A kutat az előző mintavétel óta sem használják, továbbra is betonlappal van lefedve.
7	Is7/3	11:36	Belsőmajor utca 6.	**1,6 ± 1,31**	Kertes ház udvarán lévő ásott kút, melyet szintén csak nyáron használnak locsolásra, ebből ismét szalaggal az aljáig eresztett 20ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel vettem mintát.

MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYV
Isaszeg, 2010. 01. 17. ásott kutak

	Mintakód	A mintavétel ideje	A mintavétel helyszíne	Rn koncentráció (Bq/l)	A mintavétel körülményei
1	Is1/4	11:09	Szt. László utca 33.	**2,04±1,32**	A kutat a téli időszakban nem használják, lefedett állapotban van. 20 ml-es mintavevő edényt eresztettem a kút aljáig, majd ebből 10 ml-t vettem ki fecskendővel, és injektáltam a küvettában lévő OptiFluor O alá.
2	Is2/4	12:31	Árpád utca 54	**7,66±1,73**	Továbbra is használaton kívül van a kút, a hideg időjárás miatt a szivattyút és csövet is kivették belőle. Szintén a leengedett mintavevő edény és fecskendő segítségével vettem 10 ml vízmintát.
3	Is3/4	10:58	Dózsa György utca 46.	**2,61±1,37**	A kutat a téli időszakban nem használják, a tetejét fémlemezekkel fedték le. Szivattyú itt sincs, ezért a mintavevő edényt engedtem le és fecskendővel vettem belőle a szükséges mintát.
4	Is4/4	10:47	Béke utca 19.	**0,08±0,16**	Jelenleg már nem használják ezt a kutat, a szivattyút és csöveket téliesítették, így innen is szalaggal leeresztett mintavevő edénnyel húztam fel vízmintát. .
5	Is5/4	10:34	Wesselényi utca 22.	**0,97±1,24**	A kút továbbra is használaton kívül van. Szalaggal az aljáig eresztett 20 ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel vettem vízmintát, az edényben lévő víz aljáról, amely a felhúzás során legkevesebbet érintkezett a levegővel.
6	Is6/4	-	Kossuth Lajos utca 20.	-	A kút téliesített állapotban volt, a búvárszivattyút és slagot kivették, betonlappal és fóliával fedték le, így nem tudtam mintát venni belőle.
7	Is7/4	12:46	Belsőmajor utca 6.	**0,12±1,15**	Fa deszkákkal fedték le a kút tetejét, de ezeket fel lehetett szedni, így a korábbiakhoz hasonló módon tudtam belőle ismét 10 ml vízmintát venni fecskendő segítségével.

- **MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYV**
- **Isaszeg, 2010. 02. 28. ásott kutak**

-

	Mintakód	A mintavétel ideje	A mintavétel helyszíne	Rn koncentráció (Bq/l)	A mintavétel körülményei
1	Is1/5	10:52	Szt. László utca 33.	**2,84±1,41**	20 ml-es mintavevő edényt eresztettem a kút aljáig, majd ebből 10 ml-t vettem ki fecskendővel, és injektáltam a küvettában lévő OptiFluor O alá.
2	Is2/5	11:06	Árpád utca 54	**8,04±1,88**	Használaton kívül van a kút, a hideg időjárás miatt a szivattyút és csövet is kivették belőle. Leengedett mintavevő edény és fecskendő segítségével vettem 10 ml vízmintát.
3	Is3/5		Dózsa György utca 46.		A tulajdonos betegség miatt rövidebb időre kórházban tartózkodott, ezért nem tudtam mintát venni a kútból ezen a mérési napon.
4	Is4/5	10:40	Béke utca 19.	**1,79±1,34**	Még mindig nem használják ezt a kutat, a szivattyút és csöveket téliesítették, így innen is szalaggal leeresztett mintavevő edénnyel húztam fel vízmintát. .
5	Is5/5	10:34	Wesselényi utca 22.	**3,39±1,48**	Használaton kívül van a kút. Szalaggal az aljáig eresztett 20 ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel vettem vízmintát, az edényben lévő víz aljáról, amely a felhúzás során legkevesebbet érintkezett a levegővel.
6	Is6/5	-	Kossuth Lajos utca 20.	-	Téliesítve van a kút., nem tudtam mintát venni belőle.
7	Is7/5	11:18	Belsőmajor utca 6.	**2±1,36**	Fa deszkákkal fedték le a kút tetejét, de ezeket fel lehetett szedni, így a korábbiakhoz hasonló módon tudtam belőle ismét 10 ml vízmintát venni fecskendő segítségével.

- **MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYV**
- **Isaszeg, 2010. 03. 27. ásott kutak**

	Mintakód	A mintavétel ideje	A mintavétel helyszíne	Rn koncentráció (Bq/l)	A mintavétel körülményei
1	Is1/6	15:10	Szt. László utca 33.	**3,15±2,18**	A korábbiakhoz hasonló feltételek mellett 20 ml-es mintavevő küvettába 10 ml vizet vettem, és injektáltam a küvettában lévő OptiFluor O alá.
2	Is2/6	15.20	Árpád utca 54	**11,39±2,82**	Változatlanul nem volt leengedve szivattyú, így ismét mintavevő edény és fecskendő segítségével vettem 10 ml vízmintát.
3	Is3/6	13:42	Dózsa György utca 46.	**4,9±2,35**	A korábbiakhoz hasonló módon leengedett mintavevő hengerrel vettem 10 ml vízmintát..
4	Is4/6	13:30	Béke utca 19.	**2,25±2,14**	A korábbiakhoz hasonló módon vettem mintát, változatlanul használaton kívül van a kút.. .
5	Is5/6	13:20	Wesselényi utca 22.	**2,05±2,13**	Használaton kívül van a kút. Szalaggal az aljáig eresztett 20 ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel vettem vízmintát, az edényben lévő víz aljáról, amely a felhúzás során legkevesebbet érintkezett a levegővel.
6	Is6/6	14:04-	Kossuth Lajos utca 20.	**4,23±2,31**	Már nem volt téliesítve a kút, ezért a korábbiakhoz hasonló módon vettem mintát..
7	Is7/6	12:22	Belsőmajor utca 6.	**1,66±2,12**	Már levették a takarást a kútról, így a korábbiakhoz hasonló módon tudtam belőle ismét 10 ml vízmintát venni fecskendő segítségével.

- **MINTAVÉTELI JEGYZŐKÖNYV**
- **Isaszeg, 2010. 05. 02. ásott kutak**

	Mintakód	A mintavétel ideje	A mintavétel helyszíne	Rn koncentráció (Bq/l)	A mintavétel körülményei
1	Is1/7	12:10	Szt. László utca 33.	**1,55±1,24**	A korábbiakhoz hasonló feltételek mellett tudtam mintát venni.
2	Is2/7	12.25	Árpád utca 54	**5,78±1,57**	Szintén szalaggal leeresztett mintavevő henger hasnálatával vettem mintát.
3	Is3/7		Dózsa György utca 46.		A tulajdonos nem volt otthon, így nem tudtam mintát venni.
4	Is4/7	13:00	Béke utca 19.	**3,66±1,43**	A korábbiakhoz hasonló módon vettem mintát, változatlanul használaton kívül van a kút.. .
5	Is5/7	13:20	Wesselényi utca 22.	**0,67±1,19**	Használaton kívül van a kút. Szalaggal az aljáig eresztett 20 ml-es mintavevő edénnyel és fecskendővel vettem vízmintát, az edényben lévő víz aljáról, amely a felhúzás során legkevesebbet érintkezett a levegővel.
6	Is6/7	13:35 -	Kossuth Lajos utca 20.	**1,65±1,26**	A korábbiakhoz hasonló módon vettem mintát..
7	Is7/7	13:50	Belsőmajor utca 6.	**1,93±1,29**	A korábbiakhoz hasonló módon tudtam belőle ismét 10 ml vízmintát venni fecskendő segítségével.

Is1 kút

Is2 kút

Is3 kút

Is4 kút

Is5 kút

Is6 kút