



# KÖRNYEZETGÉOKÉMIAI ELŐTANULMÁNY A CO<sub>2</sub> ÉS A RADON EGYÜTTES ELŐFORDULÁSA KAPCSÁN

TDK DOLGOZAT

**BARICZA ÁGNES**

**ELTE TTK, KÖRNYEZETTUDOMÁNY SZAK,  
I. ÉVFOLYAM**

TÉMAVEZETŐ:

**SZABÓ CSABA, Ph. D.**

ELTE TTK, Közettani és Geokémiai Tanszék  
Litoszféra Fluidum Kutató Laboratórium

Budapest, 2010.

## Tartalomjegyzék

<b>TARTALOMJEGYZÉK.....</b>	<b>2</b>
<b>1. ÁBRAJEGYZÉK.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ABSTRACT.....</b>	<b>4</b>
<b>3. BEVEZETÉS .....</b>	<b>5</b>
<b>4. A RADON .....</b>	<b>6</b>
4.1. A radon keletkezése.....	6
4.2. A radon lakóterekben való felgyülemzése, élettani hatása.....	8
4.3. A környezet hatása a radonszint alakításában.....	10
<b>5. A SZÉN-DIOXID KELETKEZÉSE, FORRÁSA ÉS HATÁSA .....</b>	<b>11</b>
5.1. A CO <sub>2</sub> tárolás lehetősége, hatása a környezetre.....	16
<b>6. A SZÉN-DIOXID ÉS RADON EGYÜTTES MEGJELENÉSE.....</b>	<b>18</b>
6.1 A gázok talajgázként való megfigyelése vulkáni és geotermális területeken.....	18
6.2. A CO <sub>2</sub> és <sup>222</sup> Rn tartalmú mofetták hatása.....	26
<b>7. DISZKUSSZIÓ.....</b>	<b>29</b>
<b>8. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....</b>	<b>31</b>
<b>9. IRODALOMJEGYZÉK .....</b>	<b>32</b>

## 1. Ábrajegyzék

Ábra 1.	Az U 238 bomlási sora.....	6
Ábra 2.	A lakosság sugárterhelésének forrásai.....	7
Ábra 3.	CO <sub>2</sub> és hőmérséklet együttes változása 400 ezer évvel ezelőtől napjainkig.....	11
Ábra 4.	A szén-dioxid mérgezés főbb tünetei.....	13
Ábra 5.	A különböző talajművelési eljárásoknál tapasztalt szén-dioxid emisszó alakulása az idő és a nedvességtartalom függvényében.....	14
Ábra 6.	A tanulmányozott terület Közép-Olaszországban.....	19
Ábra 7.	Talajgázként feltörő radon anomáliák Közép-Olaszország területén.....	20
Ábra 8.	Talajgázként feltörő szén-dioxid anomáliák Közép-Olaszország területén.....	21
Ábra 9.	Átlagos havi radon aktivitás ábrázolása az idő függvényében.....	23
Ábra 10.	Átlagos havi szén-dioxid térfogat %-ban az idő függvényében.....	21
Ábra 11.	A szén-dioxid és radon fluxus mértékének változása.....	26
Ábra 12.	A kezelések hatása 3 változó függvényében a Radon illetve Kontroll csoportnál.....	28
Táblázat 1.	A nők esetében tapasztalt rákincidencia statisztika.....	9

## **2. Abstract**

In this thesis I studied common occurrence of radon and carbon-dioxide in the nature, and abundances of these gases in geothermal and seismic systems.

It is a well-known fact that these gases are harmful to health. High concentration of the carbon-dioxide (more than 8% in air) may result asphyxia. The radon has a long term effect because its daughter metals, like bismuth and polonium and these metals can adhere on the lung and damage tissues by another decay.

In numerous scientific papers the principal consequences about these gases that they can appear together in soil gases because the carbon-dioxide is a carrier gas for the radon, as well as the concentration of these gases are generally high in the geothermal and volcanic systems due to the frequent fissures and faults of these environments. Opposite on the harmful effects of these gases, a few studies mentioned radon and carbon-dioxide spas, which are benign for the joint diseases.

My major goal was to summarize an overall study to be aware of the effects of the radon and carbon-dioxide gases.

### 3. Bevezetés

Diákköri munkám célja, hogy irodalmi adatok alapján feltárjam a szén-dioxid és radon - mint egészségre káros hatásokkal bíró gázok - természetbeli előfordulását, jellemző koncentrációját forrás- és talajvizekben, oldott állapotban illetve gázfázisban, valamint vándorlását, elsősorban tektonikailag aktív területeken - törések és repedések mentén.

Köztudott, hogy mindkét gáz a levegőnél nagyobb sűrűségű, ezért képes felhalmozódni zárt légtérben. Míg a szén-dioxid gáz levegőben való feldúsulása közvetlen hatásként belélegzéskor fulladáshoz is vezethet, addig a radon légtérben való felhalmozódása, hosszú távon a tüdőrák kialakulásának kockázatát növeli. Ezen gázok kölcsönhatásainak tanulmányozására számos irodalom törekszik. A tanulmányok nagyobb hányada a gázok negatív hatásait vizsgálja. Ilyen tanulmány például Darby 2004-es munkája, amelyben kutatótársaival megállapította, hogy a radon a tüdőrákot előidéző tényezők közül, a cigaretta után a második helyen áll, vagy Zhang 1996-os munkája, amely a kameruni törésvonal térségében folyamatosan zajló bazaltos vulkanizmus melletti, aktív és periodikus szén-dioxid feláramlásra hívja fel a figyelmet, ami a CO<sub>2</sub> mérgezés lehetőségével fenyeget. Az ezen a területen és más hasonló feláramlási területen élő lakosok szempontjából is kiemelten fontos, hogy behatóbban ismerjük a környezetben megjelenő feláramlások mechanizmusát, okát és forrását.

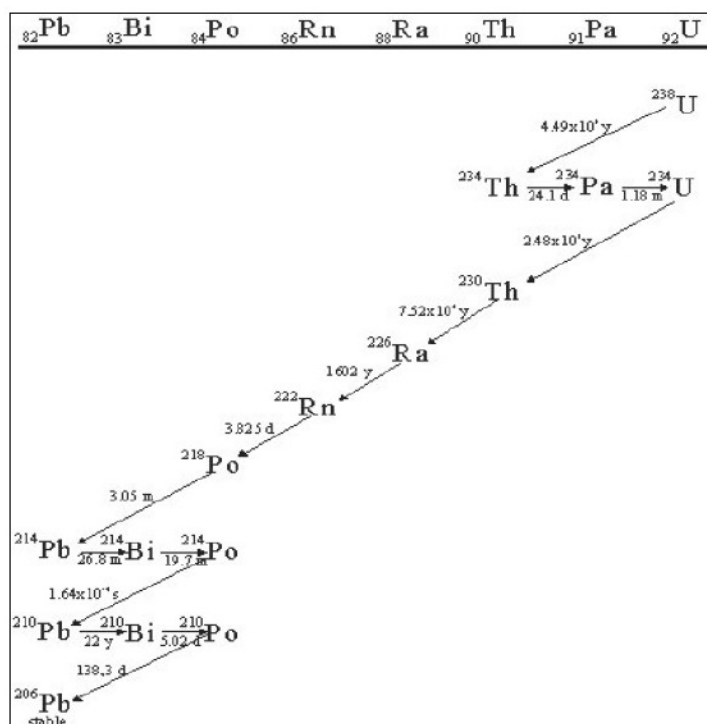
Munkám célja egy irodalmi összegzés készítése a két gáz vizsgálata során fellépő esetleges kölcsönhatásokról, illetve hogy ezek a kölcsönhatások milyen befolyással lehetnek a környezetre, továbbá mik az elsődleges forrásaik, és nagyobb koncentrációban való megjelenésük esetén milyen negatív, illetve esetlegesen pozitív hatásokkal kell számolnunk

Dolgozatomban részletesen bemutatom az említett gázokat, röviden összegzem fontosabb tulajdosaikat, kitérek olyan irodalmakra, amelyek szeizmikusan aktív területeken, illetve hidrotermás, geotermikus környezetben tanulmányozták a gázok megjelenését. Bővebben említést teszek arról, hogy a témához kapcsolódó tanulmányok milyen eredményeket tártak fel a CO<sub>2</sub> és radon feldúsulásából származó biológiai hatásának tekintetében.

## 4. A radon

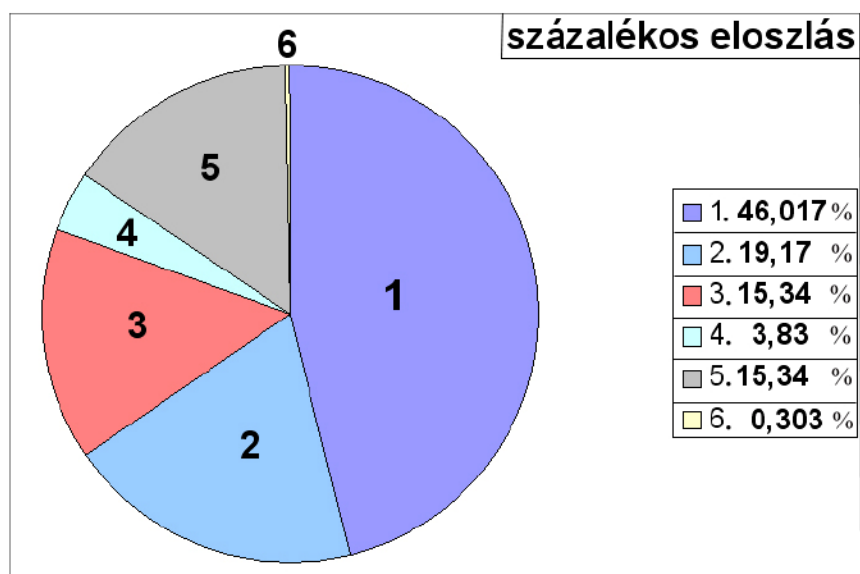
### 4.1. A radon keletkezése

A radon a 86-os rendszámú elem, a nemesgázok csoportjába tartozik. Ebből adódóan kémiailag inaktív, csupán néhány fluorid vegyülete ismert (Chang, 1991). Szintelen, szagtalan, de a levegőnél közel hétszer nehezebb, könnyen adszorbeálható aktív szénen. Szobahőmérsékleten vízben oldódik. Három természetes radioaktív izotópjja ismert a három természetes eredetű bomlási sor egy-egy tagjaként. A  $^{220}\text{Rn}$  (toron) a  $^{232}\text{Th}$  bomlási sorába tartozik, felezési ideje mindössze 55,6 s (amely aztán alfa bomlással  $^{216}\text{Po}$ -má bomlik), ebből adódóan csekély mennyiségben van jelen környezetünkben. A  $^{219}\text{Rn}$  (aktinon) az  $^{235}\text{U}$  bomlási sorának eleme, felezési ideje 3,9 s. Emiatt természetes környezetben elhanyagolható mennyiségben van jelen. Harmadik izotópjja a  $^{222}\text{Rn}$ , amely az 1622 év felezési idejű  $^{226}\text{Ra}$  alfa-bomlásával keletkezik és az  $^{238}\text{U}$  bomlási sorának tagja (1. ábra). A  $^{222}\text{Rn}$  3,824 napos felezési idővel bomlik tovább  $^{218}\text{Po}$ -má. A fentiekből látszik, hogy az összes Rn izotóp közül a radonnak ( $^{222}\text{Rn}$ ) van a legnagyobb szerepe környezetünk sugárterhelésének kialakításában.



1. ábra - Az U-238 bomlási sora

A radon tehát környezetünkben egy természetes forrásokból származó bomló elem. Természetes környezetünkben állandó radioaktív sugárzásnak vagyunk kitéve. Alapvetően megkülönböztetünk mesterséges és természetes sugárzást. Mesterséges sugárzás 98%-ban az orvosi diagnosztika során ér bennünket, a maradék 2%-on a légköri atomfegyver kísérletek, a csernobili katasztrófa és a nukleáris energiatermelés osztoznak (**2. ábra**) (Köteles, 1994). A természetes sugárzás egyik fő komponense a kozmikus sugárzás, de a földkéregben is található természetes eredetű sugárzó anyagok (pl. urán-, tórium- és kálium-tartalmú ásványok). A kozmikus sugárzást elsődrendű, vagy primer komponensek, illetve másodrendű, vagy szekunder komponensek alkotják. A primer komponensek közé soroljuk azokat a részecskéket, amelyek a világűrből érkeznek a Földre. Ezek nagyrészt (90%) protonok, de vannak hélium atommagok is (9%). A többi nagy energiájú elektronokból és más atommagokból áll. Ezzel szemben a szekunder komponensek az atmoszférát vagy a csillagközi ködöt alkotó atomok kölcsönhatása során keletkeznek. Ide főleg a kisebb atommagok, pionok, kaonok és a gamma sugárzás tartoznak (Patkós, 2007). A földi eredetű sugárzás forrását radioaktív atommagok és bomlástermékeik képezik. Ilyen radioaktív elemek például az  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{232}\text{Th}$  és bomlási soruk elemei a  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{220}\text{Rn}$ , továbbá a  $^{40}\text{K}$ . A lakosságot érintő természetes eredetű háttérsugárzásból eredő effektív dózis egész Földre vonatkoztatott átlagos értéke 2,4 mSv/év. Ennek majdnem 50%-a (46, 017%) a beltérek (lakások, munkahelyek, raktárak, stb.) levegőjében lévő radonnak és bomlástermékeinek a belégzéséből származik (Köteles, 1994).



**2. ábra - A lakosság sugárterhelésének forrásai  
(Köteles, 1994 után módosítva)**



#### 4.2. A radon lakóterekben való felgyülemzése, élettani hatása

A természetben előforduló radioaktív elemek általában kötve vannak az ásványokban ill. a kőzeteikben. A radon izotópjai azonban nemesgázként mobilisak, így diffúzióra, migrációra képesek. Ha a radon a Föld kérgének legfeljebb néhány méteres mélységében jön létre a talaj szerkezetétől - különösen az átteresztőképességétől - függően nagy esélye van a felszínre vándorolni és kijutni a levegőbe (Tóth et al. 1998). Az épületeket alkotó építő- és burkolóanyagok nagyrésze a talajból (pl. vályog) és különböző kőzetekből (agyag, mészkő, homok, stb.) származnak. Könnyen belátható, hogy a lakóépületekben felhalmozódó radon nemcsak a talajból, hanem építőanyagokból is származhat. A beltéri radon fő forrása az épület alatti talaj illetve kőzet (Jedrychowsky et al. 1995). Bizonyos esetekben azonban nem ez a hatás dominál, hanem az építőanyagokból származó radongáz okozza a megemelkedett aktivitáskoncentrációt (Németh et. al., 2000).

A radon, miután a levegőnél nehezebb izotóp, képes felgyülemelni zárt terekben, aminek következtében a levegővel együtt belélegezzük. A radon bomlástermékei közül azonban a fémionok (bizmut, polónium) a levegőben lebegő aeroszolokon (pl. porszemcséken) megkötődhetnek, belélegezve a tüdőbe juthatnak és a hörgők falára tapadva kifejthetik káros hatásukat (Marx, 1996), hiszen leányelemeik közül több  $\alpha$ -bomló ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{218}\text{At}$ ,  $^{214}\text{Po}$ ). Bomlásukkal tehát bombázzhatják a hörgőhám leginkább sugárérzékeny sejtrétegét és ez károsodáshoz, bizonyos esetekben tüdőrákhoz vezethet. A dohányzás során rengeteg aeroszol keletkezik, ezért a dohányosok a természetes radon miatt fokozott veszélynek teszik ki magukat és környezetüket. Az Oxfordi Egyetem kutatásai szerint a dohányosoknál a tüdőrák kialakulásának esélye 25-szöröse a nemdohányzókéhoz képest (Darby, 2004). A radon hatásának sokszínűségét mutatja, hogy ellentétben az előzőekkel, több példát is találhatunk olyan radonközpontokra, ahol az emberek radonfürdőkben, radonbarlangokban élvezik a radioaktív nemesgáz mozgásszervi megbetegedésekre, reumára, ízületi fájdalmakra gyakorolt jótékony hatását (Becker, 2003).

Egy olyan radioaktív nemesgáz, mint a radon, emberi szervezetben kiváltott folyamatairól nehéz kísérleti úton információkat szerezni. Az otthonok, zárt terek légtereiben felgyülemelő radon aktivitás koncentrációját azonban könnyű monitorozni. Számos kutatás és felmérés zajlott ennek vizsgálatára. Tóth 1994-es felmérése, egy hazai falu, Mátradereske radon feltérképezésén alapult. Kutatásai a község lakói körében kialakult rákos megbetegedések monitorozásán alapult, amelyek nem csupán a rák incidencia létét



rögzítették, hanem megjelenésének időpontját, a rák típusát, a beteg dohányzási és italfogyasztási szokásait, életkorát és nemét. Mivel 30 évesnél fiatalabb rákos beteget nem észleltek, csak a 30 évesnél idősebb populációt vizsgálták. A radon és az epidemiológiai adatok statisztikai feldolgozásának egy várt és egy meglepő eredménye lett.

A vártak szerint, nagyobb radioaktív kitétség esetén több rákos megbetegedést kellene regisztrálni. Az eredmények alapján ezt a megállapítást a férfiak esetében 85%-os, a nők esetében 94%-os megbízhatósággal tudják alátámasztani. Tehát elmondható hogy fontos és lényeges szempont a radon szint mérése, illetőleg a nagyobb (újjonnan épült házak esetén több mint 200 Bq/m<sup>3</sup>, régi építésű házaknál több mint 400 Bq/m<sup>3</sup> esetén (90/143/Euratom)) szintet detektált épületeknél érdemes meggondolni, hogy milyen intézkedéseket lehet tenni a csökkentés érdekében.

A felmérés során nem várt eredmény is született. A mátraderecskei férfi lakosság között relatív sok a dohányos (a rákosok közül 51%, a nem rákos férfi lakosságban 48%). A férfiak szeszesital fogyasztása az országos átlag körül lehet. Helyi szokás viszont, hogy a mátraderecskei nők nem fogyasztanak alkoholt és, nem dohányoznak. Az kapott eredmények alapján, a nők körében a rákos megbetegedések kialakulására való hajlam a közepesen nagy radon szintben élőkénél (kb. 110 és 185 Bq/m<sup>3</sup> között) kisebb, mint a nagy (>185 Bq/m<sup>3</sup>) vagy a kicsi (<107 Bq/m<sup>3</sup>) radonban élők esetén (1. táblázat, 4. sor). Érdekes továbbá, hogy az emelkedett (>185 Bq/m<sup>3</sup>) radon szintben élő nők közül a fiatalabbak (a 30-64 évesek) esetén még erősebben jelentkezik ez a minimum (1. táblázat, 5. sor). Az állítás statisztikai megbízhatósága 98% (Tóth, 1998).

<b>Radon (Bq/m<sup>3</sup>)</b>	<b>&lt;107</b>	<b>108-184</b>	<b>&gt;185</b>
<b>Nők száma</b>	<b>233</b>	<b>242</b>	<b>359</b>
<b>Rákesetek száma</b>	<b>21</b>	<b>14</b>	<b>44</b>
<b>Rákincidencia</b>	<b>9,0%</b>	<b>5,8%</b>	<b>12,3%</b>
<b>Rákincidencia (30-64 évesek)</b>	<b>6,0%</b>	<b>4,0%</b>	<b>7,9%</b>
<b>Változás megbízhatóságának valószínűsége</b>		<b>csökkenés (96%-os biztonsággal)</b>	<b>növekedés (99%-os biztonsággal)</b>

1. Táblázat - Nők esetében tapasztalt rákincidencia statisztika (Tóth, 1998)

Cohen 1995-ben az Egyesült Államokban végzett hasonló monitorozást 411 területen. Eredményeit az egyes területeken tapasztalt tüdőrákos megbetegedések halálozásával vetette

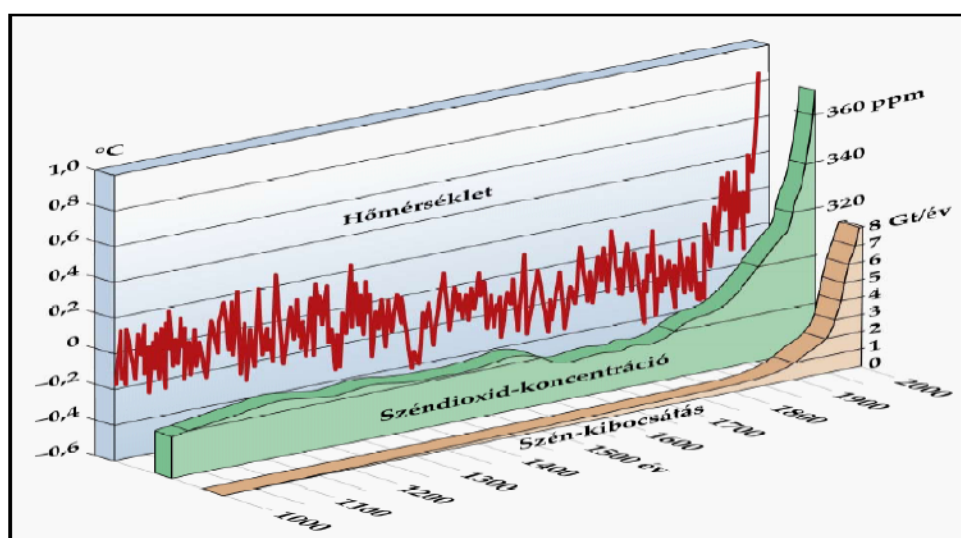
össze. Megfigyelései alapján, a néhány  $\text{Bq/m}^3$  értéktől  $100 \text{ Bq/m}^3$  értékig a tüdőrák gyakoriság monoton csökkenését látta, majd a görbe  $180 \text{ Bq/m}^3$ -ig laposan ingadozott.  $185 \text{ Bq/m}^3$  felett Cohennek nincs eredménye. Egy másik kutató, Pershagen szintén 1995-ben Svédországban végzett esetkontroll vizsgálattal tüdőrákos személyek életét követte nyomon és a radontól származó dózisukat meghatározva arra következtetett, hogy  $300\text{-}400 \text{ Bq/m}^3$  felett a tüdőrák mortalitás valószínűsége a radonszint növekedésével emelkedik (Pershagen et. al, 1995). A Mátraderecskén tapasztalt rákincidencia radonszint csökkenése Cohen eredményeivel, növekedése viszont Pershagen következtetéseivel függ össze. Kiemelendő azonban, hogy a hazai vonatkozású tapasztalatok minden ráktípusos megjelenést detektáltak, míg a külföldi eredmények csupán tüdőrákos esetek megjelenésére vonatkoztak. A vizsgálatok végső interpretációja alapján elmondható, hogy a radon jelenléte - koncentrációjának függvényében - növeli a tüdőrák kialakulásának kockázatát. A vizsgálatok eredményei azonban arra utalnak, hogy a közepesen nagy radonkoncentrációban élők szervezetében kevésbé alakulnak ki rákos szövetelváltozások. Az, hogy ez az eltérés miért áll fenn, mi eredményezi ezt a változást a szervezetben még kevésbé ismert.

#### *4.3. A környezet hatása a radonszint alakításában*

A radon migrálásakor a talajban és a kőzetekben megtett út elsősorban a közeg permeabilitásától függ, de a diffundáló radon mennyiségének alakításában szerepe van például a talaj nedvességtartalmának, a hőmérsékletnek, a széljárásnak.. A talajnedvesség bizonyos határokon belül elősegíti a radon migrációját, mert a pórusvíz a talajszemcséket körülvevő vékony bevonatként van jelen. Ilyenkor a víz elnyeli a radon bomlási energiájának egy részét, meggátolva ezzel, hogy az atomok a szomszédos szemcsékbe jussanak, és ezzel megnöveli annak esélyét, hogy a bomlási folyamat a pórustérben menjen végbe (Tanner, 1980). A hőmérséklet lecsökkenésével és fagy beálltával azonban a talaj fagyott felső rétegein a radon nehezen jut a szabadba, amely a radon épületekbe való beszivárgásának valószínűségét növeli meg.

## 5. A szén-dioxid keletkezése, forrása és hatása

A szén-dioxid légköri nyomáson gáz halmazállapotú vegyület. Szintelen, kis koncentrációban szagtalan, levegőnél nagyobb sűrűségű gáz. Az üvegház hatású gázok sorába tartozik a metánnal, nitrogén-oxidokkal, klórozott szén-hidrogénekkal és vízgőzzel együtt. Mára már szinte közismert tényvé vált, hogy a klímaváltozás jelenségének fő oka az üvegházgázok légköri koncentrációjának megnövekedése. Ezek közül elsősorban a CO<sub>2</sub> arányának növekedése jelentős. Az ipari forradalom óta levegőbeli koncentrációja 280 ppm-ről (ppm - milliommódnnyi térfogatrészes) 380 ppm-re nőtt (3. ábra). Ez a Föld átlaghőmérsékletének növekedését vonta maga után, ami az ipari forradalom óta, globális átlagban 0,6°C-ot jelent (hazánkban ez várhatóan 1,5-1,8 °C lesz 2025-ig) (Vahava, 2008).



3. ábra - CO<sub>2</sub> és hőmérséklet együttes változása 400 ezer évvel ezelőttől napjainkig (NFFT, 2008)

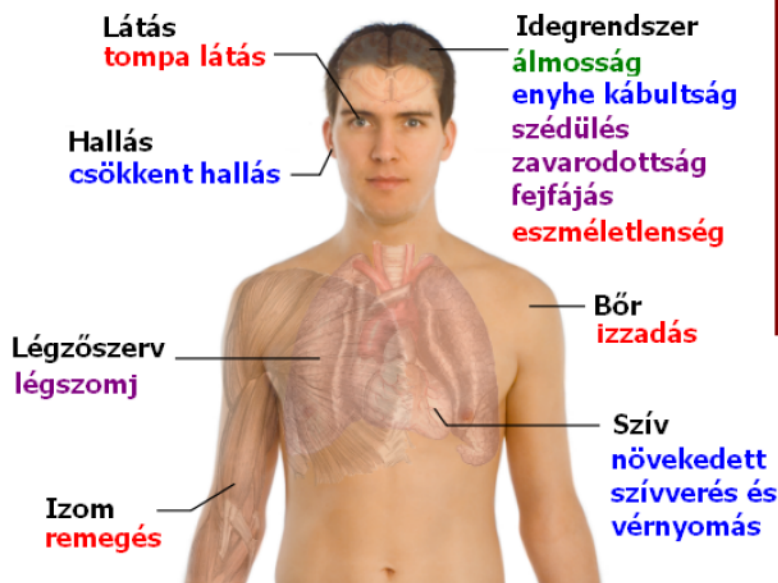
A légkörbe számos forrásból kerülhet, szén és széntartalmú anyagok égetéséből, vulkanizmus révén, tengerek kötött szén-dioxidjából, de jelentős mennyiségben állatok, növények és mikroorganizmusok légzése által is.

Chiodini (2000) a szén-dioxiddal foglalkozó tanulmányaiban négy főbb indokot sorol fel, amiért érdemes lenne vizsgálni a Föld szén-dioxid kigőzölgés folyamatát: (1) Földi kigázolások megfigyelése a szén körgás szempontjából, (2) a Földi kigázolás jelentősége a geodinamika szempontjából, (3) a gáz veszélyes voltának enyhítése szempontjából, (4) illetve a vulkáni aktivitás felderítése szempontjából.

1. Földi kigázolások megfigyelése a szén körgás: A földi szén-dioxid kigázolások elsődleges szerepet játszanak a szén körforgás illetve az éghajlat alakításában. Habár a szén körforgás ábrázolásával foglalkozó modellek nagy becsléseken alapulnak a földi CO<sub>2</sub> fluxus e körforgásban betöltött szerepe szempontjából, mégis „A legbosszantóbb probléma ami a szén körforgás modellezése kapcsolatban felmerül, hogy szükséges számolni a szén-dioxid égetésekből és metamorf aktivitásból eredő kiáramlásával” (Berner és Lasage, 1989). Általánosságban elmondható, hogy a vulkáni aktivitásból eredő CO<sub>2</sub> fluxus mértéke már feltérképezett, azonban a tektonikai aktivitásból eredő gáz diffúzió egy eddig nem számtásba vett terület (Irwin and Barnes, 1975, 1980).
2. Földi kigázolás jelentősége a geodinamika szempontjából: Már a 70-es, 80-as években megfigyelték, hogy a szeizmikusan aktív illetve vulkáni működést produkáló egységeken szén-dioxid kiáramlás tapasztalható (Irwin and Barnes, 1980). Ez részben a szén-dioxid azon tulajdonságából származhat hogy a kéreg különböző repedései, törései elősegítik a nagy fluid nyomáson és mélységben lévő CO<sub>2</sub> mozgását, így képes a felszínre diffundálni (Sibson 1985, 1990).
3. A gáz veszélyes voltának enyhítése: Közép Olaszország számos területén detektálták a gáz tiszta formájában való felszínre törését (Chiodini et. al, 2000). Miután a szén-dioxid sűrűsége nagyobb a levegőnél, így szél hiányában képes felhalmozódni az emittáló területen ún. „gáz folyamokat”, „gáz tavakat” létrehozva. Ez roppant veszélyes, ugyanis belélegezve ezt a megnövekedett koncentrációban jelenlevő gázt, a szervezetre nézve letális következményei lehetnek. A tiszta levegő mintegy 0,039% (térfogat százalék) szén-dioxidot (390 ppm) tartalmaz, habár attól függően, hogy egy nagyobb népességű városban, vagy vidéken élünk ennek az értéknek az aránya eltérhet. A levegőben megnövekedett szén-dioxid mennyiségre a szervezet különböző egészségügyi problémákkal reagálhat. A **4. ábra** összefoglalva szemlélteti, hogy a szén-dioxid levegőben lévő néhány térfogat százalékos (1-8%) megemelkedésére a szervezet hogyan reagálhat.



## A szén-dioxid mérgezés főbb tünetei



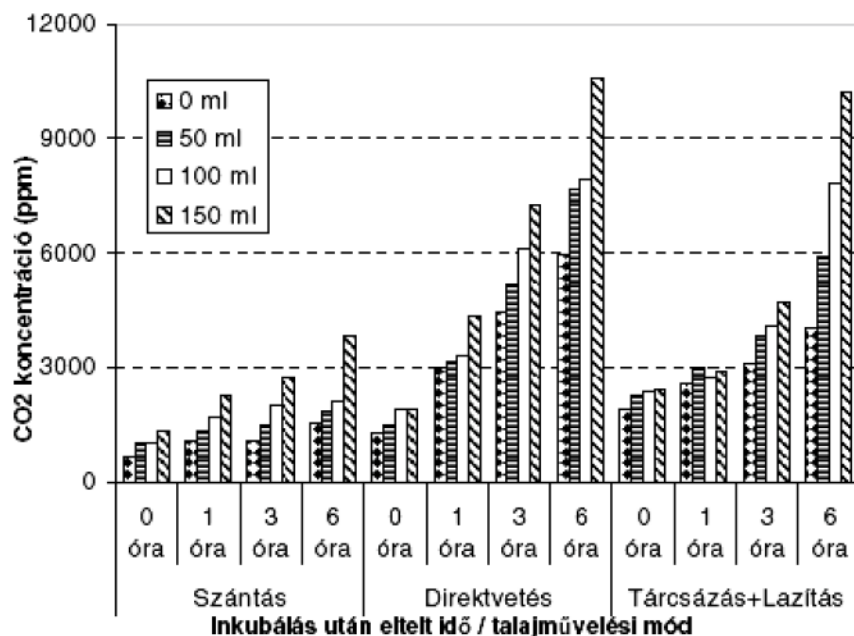
4. ábra - A szén-dioxid mérgezés főbb tünetei

4. A vulkáni aktivitás felderítése: A geokémiai felderítés elsődleges célja a vulkánilag aktív területek feltárása, hisz a CO<sub>2</sub> jelentős mennyiségben vulkáni kitérősek, működések eredményeként jut a légkörbe. Mindezekon felül, a magmás testekből, hidrotermás rendszerből való szén-dioxid eltávozásnak is vannak a felszínen különböző megjelenési formái. Ilyen megjelenési formák az aktív kráterekből való erős kigázolások, a fumarolák emissziója (Todesco et al, 2003).

A talajok CO<sub>2</sub> kibocsátása a globális szén ciklus második legfontosabb eleme, így fontos szerepet játszik a klímaváltozásban (Reich és Schlesinger, 1992). A talajok szén-dioxid emisszióját befolyásoló tényezők közül a talajok fizikai tulajdonságainak, elsősorban hőmérsékletének és nedvességtartalmának van meghatározó szerepe (Reth et al., 2005). A talajok CO<sub>2</sub> kibocsátása és hőmérséklete között pozitív korreláció figyelhető meg, továbbá a talaj nedvességtartalma szintén befolyásolja a fluxust. Egyéb tényezők, amelyek hatással lehetnek az emisszióra; a PH érték, a tápanyag mennyiség, a vegetáció aktivitása, azaz a gyökérlégzés és a heterotrofikus élőlények légzése. Az időszakosan jelenlévő hatások mint az őszi lombhullás, lebontó folyamatok dinamikája, csapadék eloszlása és mennyisége szintén hatással lehetnek a talajlégzési folyamatokra (Reth et. al, 2005).

Habár a talaj szén-dioxid kibocsátásának elsődleges oka a talajban lévő mikroorganizmusok aktivitása, ennek ellenére a fizikai-kémiai állapot nagymértékben módosíthatja az emissziót. Számos kísérlet bizonyította, hogy a talaj szén-dioxid kibocsátását a hőmérséklet, a szerves anyag tartalom, illetve a nedvességtartalom alapvetően befolyásolja (Szili-Kovács et. al, 1993).

A talaj hőmérséklete és nedvességtartalma közvetlenül befolyásolja a CO<sub>2</sub> termelődést a mikroorganizmusokra és a gyökáraktivításra gyakorolt hatásuk révén (Smith et. al, 2003). Tóth 2008-as munkájában beszámol egy kísérletről, amelyben laboratóriumi kontrollált körülmények között figyelték a különböző módon kezelt talajok CO<sub>2</sub> emisszióját, beállított hőmérséklet és nedvességtartalom hatására. Ebben a kísérletben a talajok 3 kezelési módszerét választották ki: a (1) direktvetést, ahol nincs talajbolygatás, a (2) szántást, amely a hagyományos talajművelési mód, illetve a (3) mélylazítással kombinált tárcsázást, ahol a legnagyobb mértékű a talaj szerkezetének bolygatása. A kiáramló szén-dioxid mérését egy klímaszobában (állandó 21°C-on) végezték el. A kezelt 7-7 mintához 0, 50, 100, illetve 150 ml desztillált vizet adtak és 2 hónapon át mérték az emisszió mértékét heti rendszerességgel vett levegőmintákon.



**5. ábra - A különböző talajművelési eljárásoknál tapasztalt szén-dioxid emisszó alakulása az idő és a nedvességtartalom függvényében (Tóth, 2008)**



Az **5. ábrán** látható az egyes talajművelési eljárásokra jellemző CO<sub>2</sub> emisszió közötti különbség. A három művelési módnál jól látható a kezdeti időpontban (0 óra), valamint az inkubációt követő órákban (1, 3 és 6 óra) mért CO<sub>2</sub> koncentráció alakulása a négy különböző mértékű nedvességtartalom mellett (0, 50, 100, 150 ml belocsolást követően).

Legkisebb értékeket minden esetben a szántással művelt talajoknál tapasztaltak. A direktvetés és a tárcsázásos mélylazítás módszerek már szignifikánsan eltérnek. A kezdeti időpontban a direktvetésnél kisebbek az értékek, de az inkubálást követően már ennél a módszernél tapasztalunk nagyobb értékeket. Az 50 ml vízzel belocsolt minták esetében például ez azt jelenti, hogy míg a mérés 0. órájában a tárcsázásos módszernél 2290, addig a direktvetésnél 1472 ppm koncentrációt detektáltak, addig a 3 órás a tárcsázásnál 3806, a direktvetésnél 5138 ppm volt a szén-dioxid koncentráció. Ugyanebben az időpontban a szántással kezelt talajnál 1504 ppm volt a mért érték. A direktvetésnél tapasztalt megugrás valószínűleg azzal magyarázható, hogy a kisebb bolygatás nagyobb szén akkumulációt eredményezett, illetve a talajélet, mikrobiális aktivitás is intenzívebb ezen a parcellán. A CO<sub>2</sub> koncentrációban mutatkozó különbségek a talajnedvesség növekedésével egyre markánsabban jelentkeznek. Az ábra alapján jól elkülöníthetők a kezelések hatásai. Legkisebb emittált szén-dioxidot a szántás, legtöbbit a direktvetéses módszer produkált. Megfigyelhető egyes esetekben hogy a plusz 50 ml csapadék hozzáadása nem eredményez szignifikáns kibocsátásbeli különbséget a kezeletlen talajhoz képest. Ez azzal magyarázható, hogy ez a vízmennyiség, amely 6,38 mm csapadéknak felel meg, nem eredményez még olyan szintű növekedést a talajnedvesség tartalomban, amelynek emissziót növelő hatása biztonságosan kimutatható lenne. Smith és munkatársai (2003) szintén azt tapasztalták, hogy széles az a talajnedvesség tartomány, amelyen belül a talajnedvesség tartalomban bekövetkező növekedés alacsony emisszió növekedést eredményez.

### 5.1. A CO<sub>2</sub> tárolás lehetősége, hatása a környezetre

Bachelor 2007-es munkájában, egy másik aspektusból tanulmányozta a gázokat. Ő olyan területeken vizsgálta a CO<sub>2</sub> talajból való kiszivárgását ahol a különböző ipari és egyéb tevékenységekből származó gázt, a levegőbe való kibocsátás helyett, a felszín alatti rétegekbe vezették. .

Bachelor törekvéseit azért vélte fontosnak, mivel a CO<sub>2</sub> gáz levegőbe való kibocsátásának csökkentésével, kilátás nyílik a globális felmelegedés hatásainak mérséklésére is. Ennek egyik módja, hogy kontrolláljuk a szén-dioxid levegőbe való emittálódását. A gáz felszín alatti tározókból való kiszökését minimalizálni kell, ennek része a hosszú távú megfigyelés a tározó térség egész területén. A szén-dioxid gáz földkéregbe való injektálásakor, ha izotópos nyomjelzőket építenek a molekulákba (CO<sub>2</sub> esetén radioaktív <sup>14</sup>C izotópot), akkor azok által kibocsátott sugárzás mérésével könnyebben nyomon követhetővé válik a gáz szivárgás mértéke, kevesebb mérőpont használatával, nagyobb pontosságú eredmények születnek, mint a szén-dioxid szenzorok alkalmazásával. Ezen módszereknél viszont fontos szempont, hogy a kiszivárgó radioaktív nyomjelzővel ellátott CO<sub>2</sub> gázban lévő <sup>14</sup>C izotóp béta sugárzásának detektálását a radon leányelemeinek szintén béta sugárzása megzavarhatja, így az eredmények pontatlanok lehetnek. Az ilyen radioaktív nyomjelzőkkel végzett méréseknél tehát figyelemmel kell lenni a különböző zavaró hatásokra és lehetőség szerint meg kell próbálni kiküszöbölni azokat.

A szén-dioxid felszín alatti tárolása (carbon capture and sequestration azaz CCS) olyan technológia elnevezése, amely a CO<sub>2</sub> gázt általában ipari folyamatokhoz kapcsolódóan egy gázkeverékből elkülöníti és a felszín alatti tároló kőzetbe (kimerült szénhidrogén-telepek, sósvizes rendszerek) vezeti. A szén-dioxid közvetlen, tehát az atmoszférából történő megkötése a jelenleg rendelkezésre álló technológiákkal nem lenne gazdaságos (Lackner, 2009), ezért a CCS technológiák célja valamely pontszerű forrás emissziójának jelentős csökkentése, elsősorban a fosszilis tüzelőanyagokat felhasználó hőerőművek, ipari létesítmények esetében.

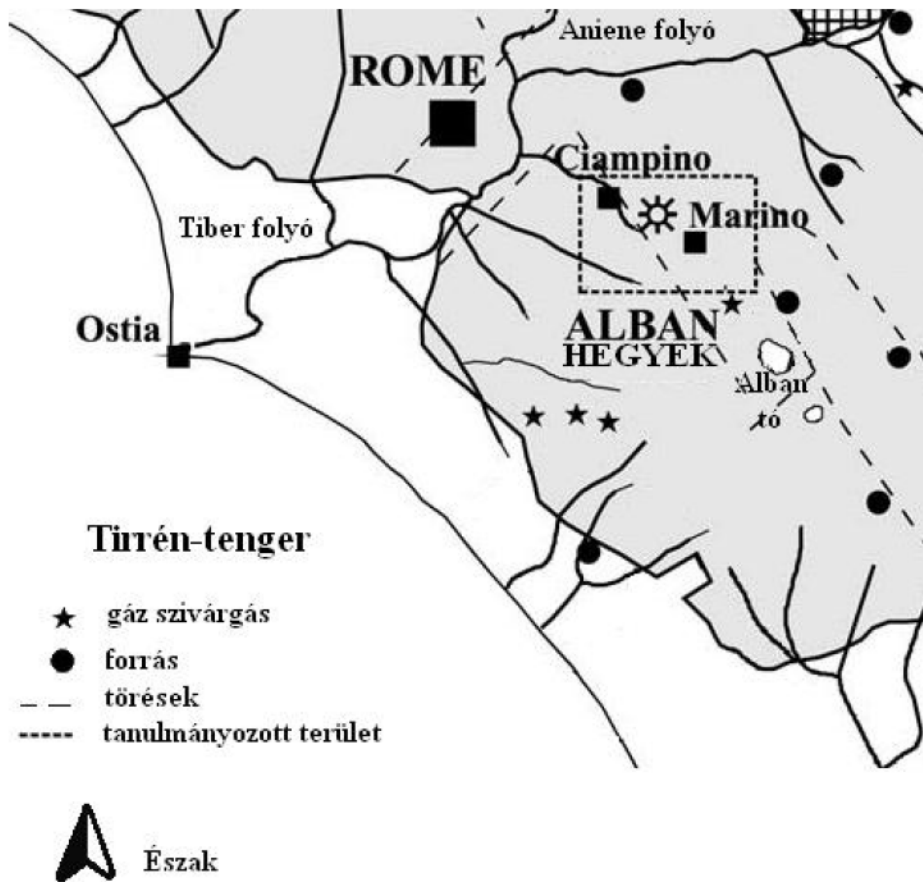
A szén-dioxid elhelyezés során előfordulhat szivárgás. A kiszabadult CO<sub>2</sub> a levegőben hamar eloszlik, még kis szélsébségnél is, így általában csak speciális morfológiai helyzetben jelent közvetlen veszélyt. A környezeti hatása három kategóriába sorolható: (1) a növényzetre, (2) a kőzetek épségére és (3) a talajvíz minőségére vonatkoztatott hatás (Arts et al., 2008).

- (1) A növényzet számára a CO<sub>2</sub> koncentráció a talajgázban 20-30%-ig kedvező, de e fölött a határérték fölött bizonyos növények el is pusztulhatnak. Ez a negatív hatás kizárólag az injektálási gázcsatorna közvetlen környezetében képzelhető el.
- (2) A kőzet épsége, szerkezeti stabilitása is csökkenhet a talajvíz savasodása miatt. Ilyenkor a kőzetben oldási türegek alakulhatnak ki. Ez a hatás csak nagyon bizonyos geológiai és hidrogeológiai feltétel mellett érvényesülhet, például, ha az érintett kőzet tektonikailag aktív, vagy gyors áramlású rétegvizek fordulnak elő benne, vagy, ha karbonátos kőzetekről van szó.
- (3) A talajvíz minőségére gyakorolt hatása a víz kémiai összetételében okoz változást, ez abban mutatkozik meg, hogy a folyadék fázis savasabbá válik, így a környező kőzettel kémiai reakcióba lépve oldhatja azt, ugyanakkor új ásványok is kicsapódhatnak. Azonban ez a folyamat is csak lokális hatást fejt ki, még akkor is, ha a szén-dioxid az ivóvíztároló rétegbe kerül be. Európában sok ivóvíz minőségű víz tartalmaz természetes úton oldott CO<sub>2</sub>-t, ilyenkor szénsavas vízről beszélünk, mint például az erdélyi borvizek, vagy a Balaton-felvidéki savanyú vizek.

## 6. A szén-dioxid és radon együttes megjelenése

### *6.1 A gázok talajgázként való megfigyelése vulkáni és geotermális területeken*

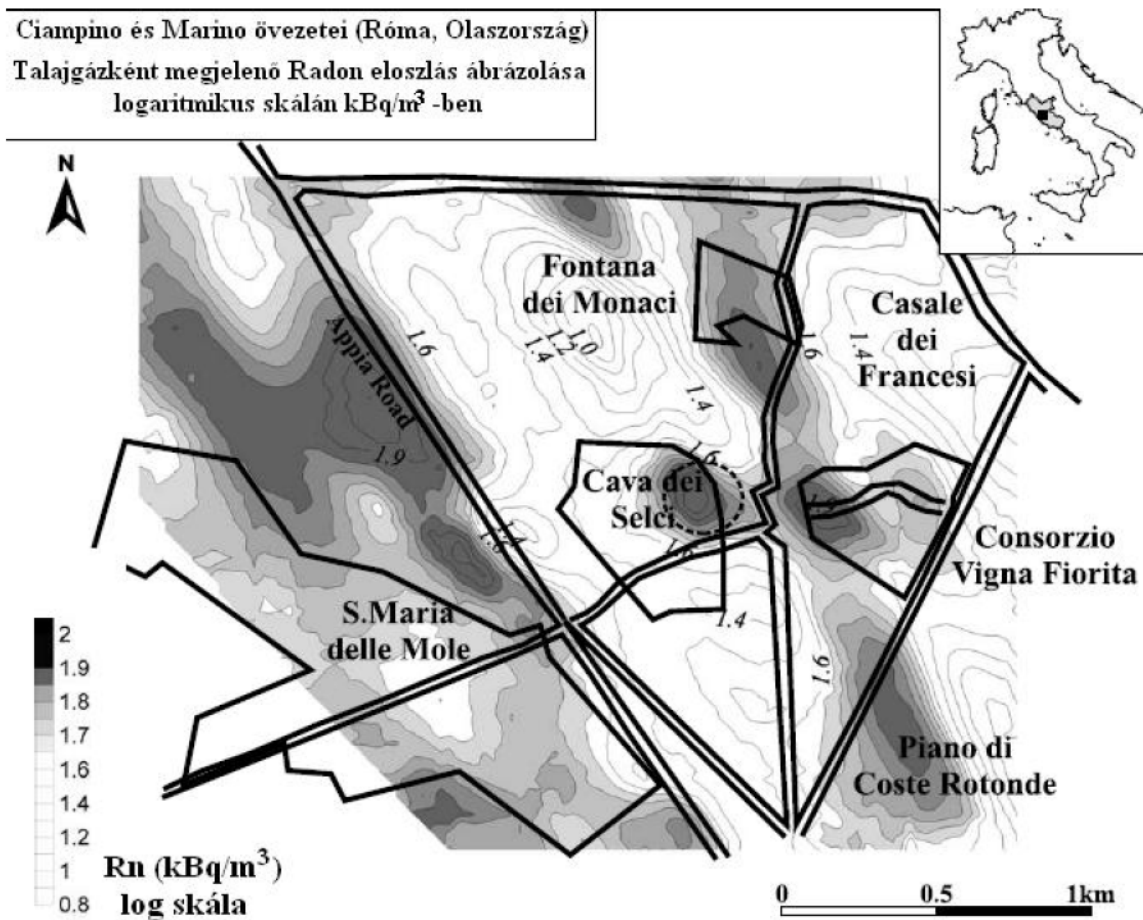
Beaubien 2003-as Közép-Olaszországban végzett kutatásában radon és szén-dioxid gázok nagyobb koncentrációban lévő megjelenéséről ír az Albán-hegyek területén. Állítása szerint az általános probléma abból adódik, hogy a gázok felgyülemzése bizonyos területeken, ű és az ebből eredő egészségkárosító hatások általánosságban kevés figyelmet kapnak, annak ellenére, hogy a megemelkedett gáz szivárgások időről időre halálos áldozatokat követelnek. 1980 és 2000 között Olaszország Lazio tartományában bekövetkezett halálesetek közül legalább 10 ember halála hozható összefüggésbe a megemelkedett CO<sub>2</sub> koncentrációval, illetve Róma városától nem messze egy sűrűn lakott övezetben 30 tehát a megnövekedett koncentráció által kiváltott fulladásban pusztult el 1999 szeptemberében. Ezen esetekből okulva, egy részletes geokémiai felmérés készült Ciampino és Marino városok mintegy 4 km<sup>2</sup> körzetében, ahol 274 talajgáz mintát gyűjtöttek és elemeztek, több mint 10-féle fő- és nyomelemre. A CO<sub>2</sub> és radon koncentrációk megemelkedett trendjei a tapasztaltak szerint gyakran összefüggnek, ezek alapján e mért térségeknél kirajzolódtak megemelkedett koncentrációs zónák. Az emelkedett zónák között vannak, amelyek lakatlan területekre esnek (parkos övezetek), de egyes helyeken építési telkek tartoztak bele ezekbe a zónákba. Például sok házat találtak, ahol építési munkálatok zajlottak annak ellenére, hogy a talajgázként jelenlévő CO<sub>2</sub> koncentráció több, mint 70% illetve a talaj pórusaiban a <sup>222</sup>Rn koncentráció meghaladta a 250 kBq/m<sup>3</sup>-t.



6. ábra - A tanulmányozott terület Közép-Olaszországban (Beaubien, 2003)

A 7. és 8. ábrán látható a térség területén mért radon és szén-dioxid koncentrációk értéke és eloszlása talajgázban. A tanulmányozott területen az átlag nagyobb radon anomáliák általánosságban több mint  $60 \text{ kBq/m}^3$  értékeket mutattak (ez logaritmikus skálán 1,7-nek felel meg). A maximális mért értékek orientációja párhuzamos az Appia road-val, ahol feltörő forrásokat is észleltek, valamint a keleti szektorban a Fontana dei Monacitól Piano de Coste tartományig. Nagy radon koncentráció értékek ( $75\text{-}250 \text{ kBq/m}^3$ , 1,8-2,4 log skálán) pontszerűen is megjelentek Consorzio Rigna Fiorita területének környékén, valamint a közeli Cava di Seici tartományban ( $>100 \text{ kBq/m}^3$ , log skálán 2). A Ciampino – Marino térségben megjelent radon koncentráció értékek nagy permeabilitású csatornák jelenlétére utalnak (törések, repedések), amelyek mentén a jelenlévő vivőgáz (jelen esetben  $\text{CO}_2$ ) képes haladni és magával szállítani a rövid felezési idejű (3,82 nap) radont, hogy végül felszínre törjenek a migrációs területeken. Az anomália ÉNy-DK irányában húzódik körülbelül 1 km szélességben.

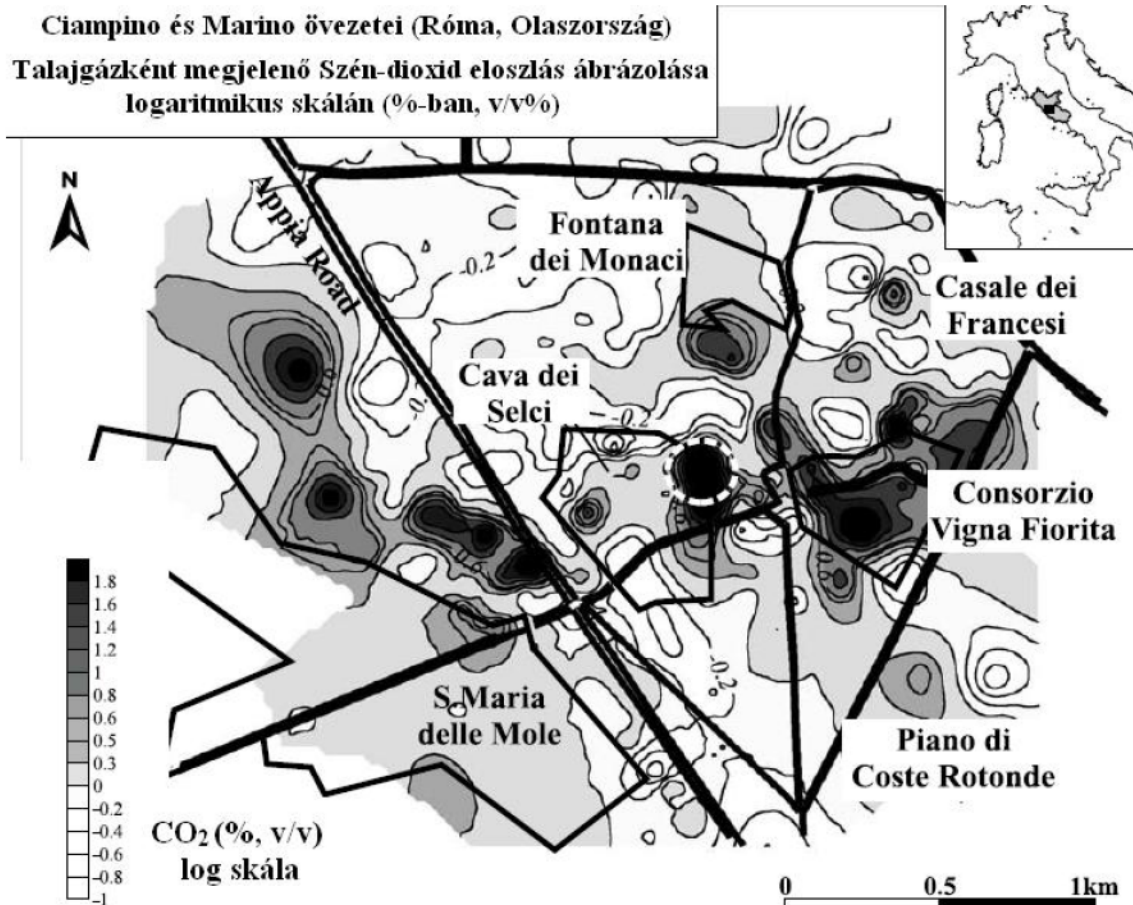




7. ábra - Talajgázként feltörő radon anomáliák Közép-Olaszország területén (Beaubien, 2003)

A 8. ábrán látható a talajgázból származó szén-dioxid koncentráció eloszlása, amely nagyrészt a radon koncentrációs térkép kiemelt területeivel esik egybe, továbbá a növekedett értékek kirajzolnak egy ÉNy-DK-i irányultságot. A legnagyobb koncentráció értékek a 80%-os szintet is elérték (ez logaritmus skálán 1,9), ezek foltokban jelennek meg a keleti szektorban, beleértve a (1) Cava dei Seici terület környékét is ahol 1999-ben a váratlan tehén pusztulási esetek történtek; (2) Consorzio Vigna Fiorita urbanizált területeit; (3) a Fontana dei Monaci déli részét; és (4) Calasea dei Francesi területét.





**8. ábra - Talajgázként feltörő szén-dioxid anomáliák Közép-Olaszország területén (Beaubien, 2003)**

A szén-dioxid és radon hasonló megnyilvánulása arra utal, hogy a gázoknak egy keveréke van jelen („geogáz”), ahol CO<sub>2</sub> tölti be a vivőgáz szerepét. A különbség a háttér radon fluktuáció és a törésekhez kapcsolódó radon anomália közt sokkal nyilvánvalóbb, mint a szén-dioxid esetében. Ez abból adódhat, hogy a CO<sub>2</sub> esetében sokkal több mechanizmus van hatással a koncentráció változásra az emisszió sekélyebb környezetében mint a radon esetén (gyökérlégzés, szerves anyagok bomlása).

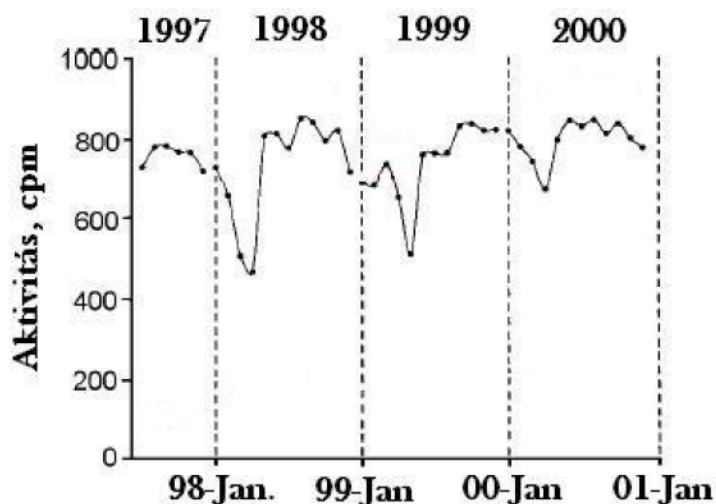
A térbeli eloszlásokat az előbbieken bemutatott **7. és 8. ábra** szemlélteti, ahol az említett toxikus gázok értékei kirajzolják a veszélyes területeket a diffúzió mértéke és a szűk területen való felhalmozódásának következtében. Az említett veszélyt jól szemlélteti annak az idősebb férfinak a halála, aki Cava dei Seici tartományban vesztette életét CO<sub>2</sub> gáz által kiváltott fulladásban 2000 nyarán, közel ahhoz a helyhez ahol a 30. tétel fulladási esete megtörtént. Ez egy valós veszély, amely fennáll a magasabb koncentrációjú területeken lévő pincékben, alagsorokban, házak alsó szintjein, kevésbé szellőztetett helyiségekben, a CO<sub>2</sub> azon tulajdonságának köszönhetően, hogy nehezebb a levegőnél így képes a felhalmozódásra. A probléma a radon esetében is hasonló. A gázok időbeli megjelenése azonban nem állandó, hanem időszakos. Ez a periódikusság valószínűleg az Albán-hegyek területén lévő szeizmikus aktivitásnak köszönhető. Feltételezhetően a hegységre jellemző törési-vetődési rendszerek eredményeztek egy változást, amely befolyásolta a nyomásviszonyokat így, a gázok egy ideig csapdázódtak a mélyben, majd hirtelen a felszínre törtek. Az ilyen időben változó eseményeket nehéz a megfelelő időben és helyen műszeres eredményekkel is alátámasztani, de ennek ellenére szükséges hogy tájékoztatva legyenek az emberek az előre nem látható veszélyhelyzetről, ami a szeizmikus aktivitással jár együtt az ilyen típusú területeken.

Egy másik közlemény, amely az előzőhöz hasonlóan a radon és szén-dioxid gázok talajgázként lévő kidiffundálását monitorozta, LaBrecque és Cordoves 2004-es munkája, amelyben a CO<sub>2</sub>-ot és a radont a talajgázban tanulmányozták Venezuelában. A talajgázt 50-55 cm mélyről gyűjtötték. Átlagosan heti és havi eredményekkel ábrázolták a 3-4 éves felmérés idejét. Általánosságban elmondható, hogy mindkét érték az időszakos változásoknak megfelelően szinuszos változásokat mutatott. Csak 2 hónapos anomália volt megfigyelhető a radon szempontjából, a CO<sub>2</sub> esetében viszont nem számoltak be hasonlókról. LaBrecque és Cordoves tanulmányukban a radon anomália megjelenését próbálták összeegyeztetni a térséget akkor súlytó földrengésekkel.

A talajban lévő radon mennyisége számos tényező által befolyásolt. Ilyen tényezők a talaj porozitása, permeabilitása de hasonlóképpen hatással vannak rá a különböző meteorológiai paraméterek, évszakos változások. Ezek a hatások tudják homályosítani a radon és a szeizmikus aktivitásra vonatkozó eredményeket, de semmi esetre sem tudják azt elfedni. Egy másik kutató, (King et. al., 1996) a radon anomáliák megfigyelésére vonatkozóan azt az állítást tette, miszerint az epizódyszerűen megjelenő növekedett értékeket (anomáliákat) a kéreg megnövekedett kigázosodása okozza és ezért célszerű lenne

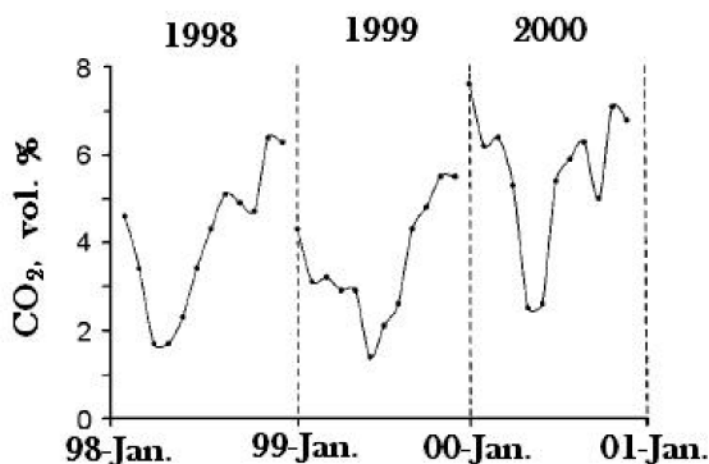
megfigyelni egy másik talajgázt, a héliumot vagy a szén-dioxidot is emellett. Az anomáliák okát elsősorban a rétegekben lévő stressznyomás változás és a törési rendszerek deformálódása okozza, ami csatornákat hozhat létre, ahol a CO<sub>2</sub> képes kiáramlani. A CO<sub>2</sub> kigázolás és a szeizmicitás között egyértelmű és lejegyzett a kapcsolat. Ennek alapján a CO<sub>2</sub> kigázolást megfigyelve jól lehatárolhatóvá válnak a fő szeizmikusan aktív zónák (Irwin et al, 1980). Lényeges összefüggés tehát, hogy a CO<sub>2</sub> és a radon szezonális változásai összefüggést mutatnak (Hinkle, 1991) ezért valószínűsíthető, hogy a feljövő szén-dioxid vivőgázként szolgál a radon számára.

Az 9. és 10. ábrán jól látható a <sup>222</sup>Rn illetve CO<sub>2</sub> havi átlagos koncentráció értékeinek szinuszos váltakozása a LaBrecque és Cordoves felmérésének évei során. Az ábrákról leolvasható hogy mind a szén-dioxid, mind a radon koncentrációjának csökkenése összefüggésben van a száraz időszakokkal, ahogy a növekedő értékek a csapadékos periódusokkal. Ez azzal magyarázható, hogy az áteresztőképesség, permeabilitás sokkal nagyobb a száraz időszakban a szárazságban kialakuló talajrepedéseknek köszönhetően, így lecsökken a talaj radon koncentráció mértéke.



9. ábra - Átlagos havi radon aktivitás ábrázolása az idő függvényében (LaBrecque és Cordoves, 2004)

Az **9. ábrán** látható a területen 3 és fél éven keresztül havi átlagolt mért radonkoncentráció értékek. Az ábráról leolvasható, hogy a radon koncentráció júniustól novemberig konstans. Ez összefügg az esős időszakkal Venezuelában, illetve hogy melegebb a hőmérséklet, nincs fagypont alatt a talaj, ahol a talajvíz jégréteggé fagyva megakadályozná a gázok kiáramlását. 1998. január és április között átlagosan 50 %-kal csökkent a kiáramló radon koncentráció, ennek ideje főleg márciusra és áprilisa tehető. Az ábrán 1999 márciusában látható egy némileg kiugró érték a többi év márciusi értékeihez képest. A térség közelében ez időben 5 földrengést detektáltak, amelyek közül kettő 5,4 és 5,5-ös erősségű volt. A radon mérésekor tapasztalt kiugró érték ezzel a természeti jelenséggel hozható összefüggésbe.



**10. ábra - Átlagos havi szén-dioxid térfogat %-ban az idő függvényében (LaBrecque és Cordoves, 2004)**

A szén-dioxid koncentráció 4 éven át történő mérése során – **10. ábra** - a legnagyobb mért adatokat szeptember és január között rögzítették, szintén összefüggésben az esős időszakkal illetve a legkisebb értékek március-július között, a száraz időszakban detektáltak. Ezen az ábrán nem figyelhető meg kiugró érték a többi mérési eredménnyel összevetve.

A radon és szén-dioxid esetében tapasztalt szinuszos változások elsősorban a környezeti jelenségeknek tudhatók be (talajnedvesség, szárazság), amely bonyolulttá teszi a gázok földrengésekkel való összefüggésének beazonosítását. Általánosságban elmondható, hogy 1998-2001 között túl sok volt a kisebb földrengések száma, ahhoz hogy egyértelműen összefüggésbe lehessen hozni a radon változásaival. A tanulmány végső konklúziója azonban az, hogy az olyan térségekben, ahol több repedési, törési rendszer található és nem

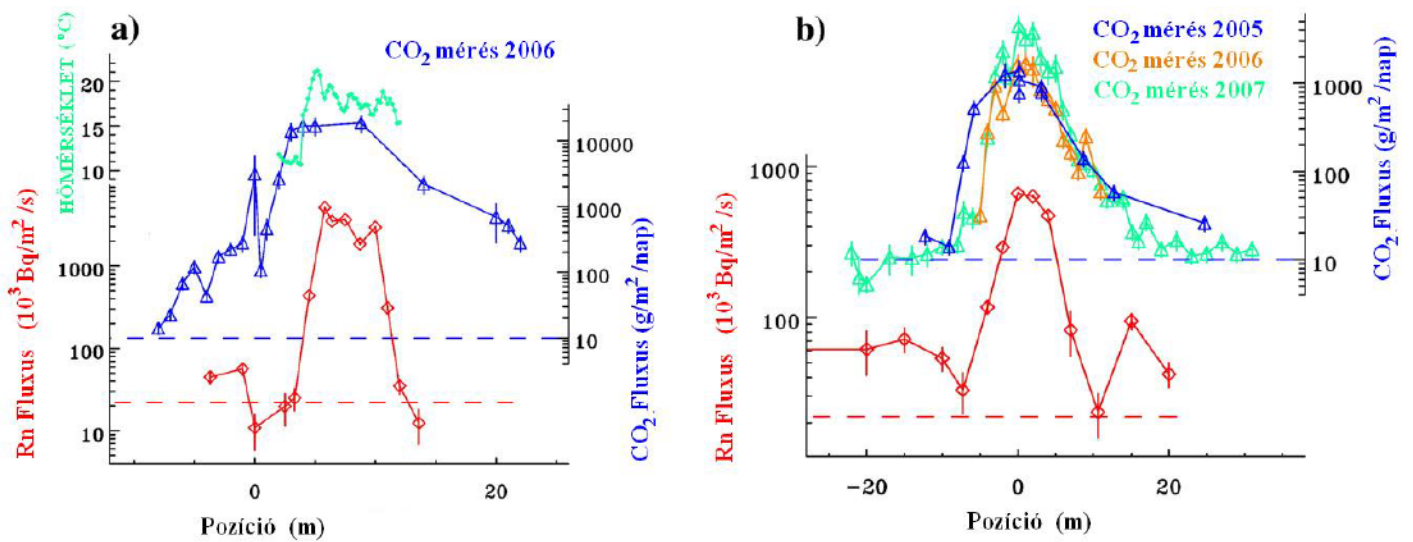


érvényesülnek a meteorológiai hatások nagyobb mértékben, egyszerűbb az egyes földrengések hatásait beazonosítani az kiszivárgott gáz anomáliák tükrében.

Perrier 2009-es tanulmányában kigázolgasokat azonosítottak a Syabru-bensi melegforrások környezetében, a Himalája közelében a fő törésvonal mentén, Közép-Nepálban 2006-ban. A melegforrások 61 fokosak, nagy só és alkália tartalmúak. A kiszivárgó gáz főleg CO<sub>2</sub> tartalmú, fluxusa eléri a 19000 g/m<sup>2</sup>/nap értéket, amely összehasonlítható a vulkáni területek gáz kiszivárgásainak mértékével. A mért adatokhoz hasonló értékeket detektáltak az olaszországi Stromboli vulkánnál (Finizola et al., 2006), ahol a mért legnagyobb érték 5\*10<sup>4</sup> g/m<sup>2</sup>/nap volt. A Rotorua geotermikus rendszernél, Új-Zélandon a mért értékek 11540 g/m<sup>2</sup>/nap körül mozogtak (Werner and Cardellini, 2006). Általánosságban a vulkáni területek illetve geotermikusan aktív térségek kapcsán prezentált eredmények 1000 g/m<sup>2</sup>/nap értékről számolnak be, mint például az El Vincente vulkánnál, El Salvadorban (Salazar et al., 2002), vagy a Dixie-völgyi geotermikus térségben, Kaliforniában (Bergfeld et al., 2001).

A szén-dioxidon kívül, a melegforrások vizében mért radon koncentráció a víz hőmérsékletének növekedésével arányosan csökken, mennyisége nem haladta meg a 2,5 Bq/l-t. Ez több feltételezéssel is magyarázható. Egyfelől keveredés volt jelen a kis radon tartalmú, nagy hőmérsékletű rezervoár és a nagyobb radon tartalmú, hidegebb felszíni vizek között, másodsorban ez a kevés jelenlét azzal is magyarázható, hogy a radon, ami eredetileg a meleg vizekben volt jelen, kidiffundált. Az előbbiekkal ellentétben a források gáz fázisában a radon koncentrációja szén-dioxid jelenléte mellett 16000 és 41000 Bq/m<sup>3</sup> között változott. A talajban a radon koncentráció 25000-50000 Bq/m<sup>3</sup> közt alakult. A radon fluxus amit több mint 50 ponton mértek, rámutatott extrém értékekre is, amelyek nagyobbak 2 Bq/m<sup>2</sup>/sec-től. Az ilyen mértékű radon fluxus figyelemreméltó, a mért értékek nem különböznek szignifikánsan egy uránbánya területén mérhető 6,5 Bq/m<sup>2</sup>/sec értéktől, amit Ausztráliában rögzítettek (Bollhöfer et al., 2006). A radon értékek korreláltak a CO<sub>2</sub> fluxus nagyobb értékeivel.

A **11. ábrán** a Himlája területén felvett két mérési pont eredményeit látjuk radon és szén-dioxid fluxus tekintetében. Az a) ábrán a CO<sub>2</sub> fluxus egyszeri, 2006-ban készült méréséről voltak adatok, míg a b) esetben 3 alkalommal megismételt mérések eredményét látjuk. Az ábráról kivehető hogy a szén-dioxid és radon fluxus korrelál egymással, ezenkívül az a) képen a hőmérséklet is fel van tüntetve, ami szintén összhangban mozog az értékek változásával.



**11. ábra - A szén-dioxid és radon fluxus mértékének változása**

A Himalájában a szén-dioxid jelenléte az erős tektonikai hatásnak tudható be (Irwin and Barnes, 1980), ahonnan eldiffundál a gáz a melegforrások cirkulációja következtében megjelent törések, repedések mentén (Evans et al., 2008; Becker et al., 2008; Giggenbach et al., 1983). A CO<sub>2</sub> kigázolási pontok összefüggésbe hozhatók a megerősödött <sup>222</sup>Rn diffundálási helyekkel. A radon keletkezését követően mielőtt bediffundálna a talajba, kőzetekbe, elsődlegesen a pórusterbe, repedésekbe vándorol, és ezek mentén szivárog ki (Tanner, 1964), azonban a vulkáni és geotermikus övezetekben, ahol vivógáz (ami jelen esetben lehet vízpára vagy CO<sub>2</sub>) nagy koncentrációban van jelen, kidiffundálása ezzel együtt valósul meg (Baubron et al., 1991).

### 6.2. A CO<sub>2</sub> és <sup>222</sup>Rn tartalmú mofetták hatása

A „radon és a humán rákkockázat” című fejezetben említett Mátradereske térségében található hazánk egyetlen száraz szén-dioxid fürdője. Az itt feltörő nagy töménységű (> 90 térfogat%) szén-dioxiddal keveredett vízzel gyógykezeléseket végeznek. A mofetta vizét összehasonlítva a kapuvári kezelésekhez használt répcelaki száraz szén-dioxiddal - különbséget a radon tartalomban figyelhetünk meg. Míg Kapuvárott a radon aktivitás koncentrációja nem haladja meg az 1 kBq/m<sup>3</sup>-t, addig Mátraderesken több mint 100 kBq/m<sup>3</sup> radonszint van jelen (Tóth, 1998). Ez a koncentráció különbség a terápiás kezelések során más hatásokat fejt ki. A radon által kisugárzott α-részecskék nem hatolnak át a külső



bőrrétegeken. Energiájukat hamar elvesztik, mielőtt élő sejtekig jutnának. A radonatom azonban, diffúzióval átjuthat a bőrön, és épp úgy, mint a szén-dioxid molekula, bekerülhet a véráramba. A kapuvári gyógyfürdő esetén a betegek levegővel belélegzett radon aktivitáskoncentrációja 10-40Bq/m<sup>3</sup>, míg Mátraderesckén 800-2000 Bq/m<sup>3</sup>. A radon bőrfelületen való bejutásának intenzitását növeli, hogy a fürdőző alsó testét csaknem százszor akkora radonkoncentráció veszi körül, mint ami a levegőben van. A szén-dioxid okozta vérbőség pedig átjárhatóbbá teszi a bőrt.

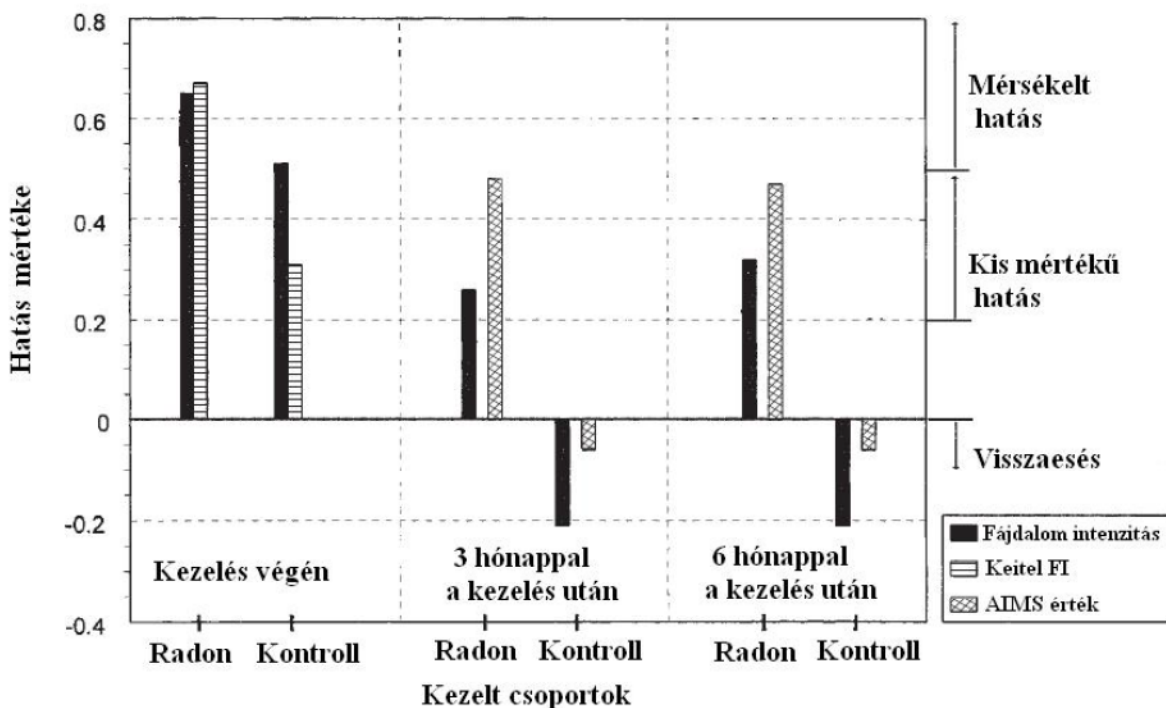
A mátraderesckei szén-dioxid gázt 1999-ben gyógygázzá minősítették (90/Gyf/1999 engedélye alapján). Az, hogy milyen különbség áll fent a kapuvári illetve a mátraderesckei gyógyközpont kezeléseinek hatékonyságában érdemes lenne megvizsgálni. A szén-dioxid hatása mind a két térségben ugyanolyan. A hatást Ballagi Farkas (kapuvári Lummitzer Sándor Kórház igazgató főorvosa) sok évtizedes tapasztalatait rögzítő írásaiból lehet megismerni (Ballagi, 1997). Állítása szerint, a mofettás kezelés javallott izületi, érrendszeri, csontritkulásos stb. betegségek kezelésére a szén-dioxid értágító hatásának köszönhetően, ami növeli a keringés mértékét, segíti a szervezet méregtelenítését. Kérdés azonban, hogy a két-három hetes kezeléseket során rövid idő alatt kapható kiugró dózis ugyanúgy „jótékony” hatású-e, és ha igen, mennyi ideig fejti ki jótékony hatását?

Pratzel 2000-es tanulmányában a természetes szén-dioxid és radondús vizek (átlagosan 1,3 kBq/lradon, 1,6g/L szén-dioxid) hatását vizsgálta a mesterségesen feldúsított csak szén-dioxidot tartalmazó fürdőkkel szemben. Mérései alatt a kezelt betegek részt vettek egy rehabilitációs programban, ahol 2 csoportba osztva kezelték őket.

A betegeken az alábbi szempontokat vizsgálták:

1. A betegek fájdalom intenzitását (Pain Intensity (PI)): 100 fokozatú skálán méri a fájdalom mértékét, ahol 0 jelenti a fájdalom mentességet, míg 100 azt a szintű fájdalmat, amelyet nem lehet rosszabb.
2. A betegek funkcionális korlátozottságai
  - 2.1. Keitel funkcionális teszt (Keifel FI): számszerűsítik az ember funkcionális limitációjának mértékét és ezt egy 0-100-ig terjedő skálán ábrázolják, ahol 0 jelenti azt az értéket, ahol az alanyánál nincs limitáló tényező egészségügyi szempontból.
  - 2.2. AIMS (Arthristis Impact Measurement Scales): egy 0-tól 10-ig terjedő skálán ábrázolja átfogóan a beteg egészségi állapotát, beleértve a fizikális aktivitást, ügyességet, szociális aktivitást. Ezen a skálán 10-es érték reprezentálja a jó egészségi állapotot.

A méréseket a kezelés befejezése után, illetve 3 és 6 hónapra rá végezték el. Az eredményeket kielemezték, hogy az egyes értékek a két csoport között eltérnek-e vagy sem. Az egyes elvégzett tesztek eredményeit a **12. ábra** összesíti.



**12. ábra - A kezelések hatása 3 változó függvényében a Radon illetve Kontroll csoportnál (Tóth, 1998)**

Ahogy az ábrán látható, a két csoportnak kezdetben viszonylag megegyező értékei voltak. A radon csoportban a fájdalom intenzitás átlagosan 14,9%-kal csökkent, a kontroll csoportnál 11,8%-kal. Ezek az értékek nem szignifikánsan térnek el. A Keitel FI -értékekénél a radon csoport eredményei közt nagyobb javulás mutatkozott, mint a kontroll csoportnál, de a különbség a két csoport eredményei között itt sem számottevő. Annak ellenére, hogy csökkent a kezelések hatékonysága a kezelés utáni hónapokban, a radon csoport mégis kedvezőbb értékeket mutatott a kontroll csoporttal összehasonlítva a kezelés utáni 3. illetve a 6. hónapban is. A kezeléseknek tartós hatása csupán a radon csoport esetén volt megfigyelhető, kis illetve közepes mértékben. A csoportok közötti különbség a kezelések befejeztével folyamatosan nőtt. Az ábrán látható egyes hatások mértékét, Cohen 1977-ben kifejlesztett statisztikai alapján lettek módosítva és ábrázolva.

## 7. Diszkusszió

A szén-dioxiddal és radonnal foglalkozó irodalmak tanulmányozásának köszönhetően, világos következtetések vonhatók le. Megjelenésükkel kapcsolatban elmondható, hogy természetes úton mindenhol megtalálhatók, ahol keletkezésükhöz megfelelő környezet van jelen. Radon esetében jelen kell legyen a közvetlen anyaeleme, a rádium, hiszen egy bomló, radioaktív nemesgázzal beszélünk. A szén-dioxid ilyen tekintetben általánosabb, létrejöhet geológiai úton vagy biológiai aktivitás eredményeként, amely a talajnedvesség mértékének növelésével tovább fokozható. Ennek a fokozásnak kísérleti úton való bizonyítására törekedett Tóth, 2008-as munkájában. Eredményeiből biztonságosan kimutathatóvá vált, hogy a talajnedvesség növelésével az emittált szén-dioxid mennyisége többszörösére növekszik. Ez a megállapítás LaBrecque és Cordovez 2004-es Venezuelában végzett szén-dioxid és radon gázok talajgázként való koncentráció változásának követése során is említésre került.

Mindkét gáznál elsődlegesen a koncentrációjuk okoz gondot, ami könnyen lehetséges hisz a levegőnél nehezebbek. Ennek megfelelően képesek felhalmozódni zárt terekben, vagy levegőmozgás hiányában bárhol. Vannak azonban kiemelt területek, ahol koncentrációjuk nagyobb mértékben képes megnyilvánulni. Ilyen területek a szeizmikusan aktív, vulkáni vagy geotermás területek. Ebben a környezetben a talajból, forrásvizekből való kidiffundálás mértéke akár sokszorosa is lehet az átlagos értéknek. Például a Himalája területén egy fő törésvonalhoz kapcsolódóan megjelenő Syabru-Bensi melegforrásoknál a CO<sub>2</sub> fluxus értéke eléri a 19000 g/m<sup>2</sup>/nap értéket, amely arányaiban összevethető a Stromboli vulkánnál tapasztalt 5\*10<sup>4</sup> g/m<sup>2</sup>/nap eredménnyel (Finizola et al., 2006). Az előbbivel kontrasztban ugyanazon a területen a vízben lévő radon koncentráció a víz hőmérsékletének növekedésével arányosan csökken, mennyisége nem haladja meg a 2,5 Bq/l-t, viszont a források gáz fázisában a szén-dioxid jelenléte mellett a koncentrációja igen nagy, 16000 és 41000 Bq/m<sup>3</sup> között változott. Dolgozatomban számos egyéb irodalom példáján keresztül mutattam be a két gáz között fennálló koherens kapcsolatot, amely szerint a szén-dioxid és radon gáz együttesen nagyobb koncentrációban jelenik meg a felszínen, mivel a feltörő szén-dioxid, mint vivőgáz szállítja magával ezt a radioaktív nemesgázt.

A másik fontos tényező, hogy tisztában legyünk a gázok környezetre és egészségre gyakorolt hatásával. A szén-dioxid talajból való kidiffundálása a talaj környezetet károsítja 20-30%-os koncentrációja felett az emittáló környezet körül növényi pusztulás, talajvíz

savasodás, esetleg a savas közegre érzékeny kőzetek oldása figyelhető meg. Egészségügyi vonatkozásban, a levegőben való feldúsulása (>1%-os jelenléte) esetén az emberi szervezet részéről szédülés, fejfájás, ájulás jelentkezhet súlyosabb esetben azonban fulladást is okozhat, ahogy azt Róma városától nem messze figyelték meg 1999-ben, ahol 30 tehén pusztult el a megnövekedett gáz koncentráció miatt (Beaubien 2003). A radon egészségügyi szempontból a tüdőrák kockázatával fenyeget, hisz  $\alpha$ -bomlása révén fémionokat ( $^{218}\text{Po}$ ,  $^{214}\text{Bi}$ ) képez, amelyek belélegezve rátapadnak a hörgők falára, ahol közvetlen közletről bombázzák sugárzással az ottani sejteket, szöveteket, rosszindulatú sejtburjánzást előidézve. Egyes tanulmányok ezeknek a rákos megbetegedéseknek a kialakulási valószínűségét próbálták behatóbban tanulmányozni. Ilyen tanulmány Tóth 1998-as munkája, ahol egy hazai példán keresztül, a Mátraderecskei lakosok közt regisztrált rákos megbetegedéseket vetette össze életszínvonalukkal (ital fogyasztási, dohányzási szokások, stb.). Tanulmánya olyan következtetésekkel zárul, hogy néhány  $\text{Bq}/\text{m}^3$ -es értéktől körülbelül  $180 \text{ Bq}/\text{m}^3$ -es értékig a megbetegedés kockázatának csökkenését tapasztalta, majd némi ingadozás volt megfigyelhető és  $300\text{-}400 \text{ Bq}/\text{m}^3$ -es értéktől monoton növekedést tapasztalt a megbetegedések számát illetően.

A szén-dioxid és radon gázok nagyobb koncentrációnál kifejtett negatív hatása egyértelműen bizonyított. Ezzel szemben léteznek olyan szén-dioxid és radon dús fürdők – hazánkban egyedül Mátraderecskén – ahol izületi, érszűkületi, szív problémás megbetegedések kezelésére az eredmények alapján pozitívan reagálnak a betegek. Az ilyen fürdők vize átlagosan  $1,3 \text{ kBq}/\text{L}$  radont és  $1,6\text{g}/\text{L}$  szén-dioxidot tartalmaz. Pratzel 2000-ben végzett kutatásai ezen fürdők vizének hatását mérték össze a csak szén-dioxidot tartalmazó gyógyfürdők hatásával. Eredményei azt igazolják, hogy a vízben lévő radon mennyisége a kiváltott hatást hosszabb ideig fenntartják, mint a radon mentes fürdők esetében. A pozitív eredmények ellenére arányaiban több irodalom foglalkozik a negatív hatásokkal, amelyek több aspektusból is bizonyítottak. Véleményem szerint a kutatások jelenlegi állása szerint, fenntartásokkal kell kezelni gázok feltétlen pozitív hatásairól szóló kutatásokat mindaddig, amíg a téma ezen része behatóbban tanulmányozásra nem kerül.



## **8. Köszönetnyilvánítás**

Köszönetemet szeretném kifejezni dolgozatom elkészülése során kitartást és biztatást nyújtó barátnőimnek, Grosch Mariannak, Németh Biancának és barátomnak Pataki Attilának.

Köszönet illeti Szabó Katalin Zsuzsannát és Nagy Hedvig Évát, akik szakmai tanácsukkal, tudásukkal és kritikájukkal támogatták munkám munkám.

Végül, de nem utolsó sorban köszönettel tartozom témavezetőmnek, Szabó Csabának, Ph.D, aki témajavaslatával, tapasztalatával és segítségnyújtásával hozzájárult munkám létrejöttéhez.

## 9. Irodalomjegyzék

- 90/Gyf/1999 számú engedélye a mátradereskei mofetta gyógygázként történő használatáról (megtalálható Polgármesteri Hivatal, Mátradereske, Hősök tere 12.)
- Arts, R., Beaubien, S., Benedictus, T., Czernichowski-Lauriol, I., Fabriol, H., Gastine, M., Gundogan, O., Kirby, G., Lombardi, S., May, F., Pearce, J., Persoglia, S., Remmelts, G., Riley, N., Sohrabi, M., Stead, R., Vercelli, S., Vizika-Kavvadias, O. (2008): Kiadta: CO<sub>2</sub> GeoNet, Fordította: Hartai, É. (2009): Mit jelent valójában a CO<sub>2</sub> geológiai tárolása?
- Bachelor, P. P., McIntyre, J. I., Amonette, J. E., Hayes, J. C., Milbrath, B. D., Saripalli, P. (2007): Potential method for measurement of CO<sub>2</sub> leakage from underground sequestration fields using radioactive tracers. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 277, 85-89.
- Ballagi, F. (1997): A szénsavgázfürdőről, *Balneológia, Gyógyfürdőügy, Gyógy-idegenforgalom*, 3-4, 16-30. old.
- Baubron, J.-C., Allard, P., Sabroux, J.-C., Tedesco, D., Toutain, J.-P. (1991): Soil gas emanations as precursory indicators of volcanic eruptions. *Journal of Geological Society London* 148, 571–576.
- Beaubien, S. E., Ciotoli, G., Lombardi, S. (2003): Carbon dioxide and radon gas hazard in the Alban Hills area (central Italy), *Journal of Vulcanology and Geothermal Research*, 123, 63-80.
- Becker, K. (2003): One century of radon therapy. –Submitted for publication to *Inter. J. Low Radiation*, 334-354.
- Bergfeld, D., Goff, F., Janik, C.J. (2001): Elevated carbon dioxide flux at the Dixie valley geothermal field, Nevada; relations between surface phenomena and the geothermal reservoir. *Chemical Geology* 177, 43-66.
- Berner, R. A., Lasaga, A. C. (1989): Modeling the geochemical carbon cycle. *Sci. Am.* 260, 74-81.
- Bollhöfer, A., Storm, J., Martin, P., Tims, S. (2006): Geographic variability in radon exhalation at a rehabilitated uranium mine in the Northern Territory, Australia. *Environmental Monitoring and Assessment* 114, 313-330.



- Chang, R. (1991): Chemistry. – McGraw -Hill, Inc., 1051.
- Chiodini, G., Frondini, F., Cardellini, C., Parello, F., Peruzzi, L. (2000): Rate of diffuse carbon dioxide earth degassing estimated from carbon balance of regional aquifers: the case of Central Apennine (Italy), *J. Geophys. Res.*, 105, 8423-8434.
- Cohen, B. (1995): Radon és rákgyakoriság – amerikai tapasztalatok, *Fizikai Szemle* 1995/6, 203. old.
- Cohen, J. (1977): *Statistical power analysis for behavior sciences*, New York: Academy Press
- Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., Barros-Dios, J. M., Baysson, H., Bochicchio, F., Deo, H., Falk, R., Forastiere, F., Hakama, M., Heid, I., Kreienbrock, L., Kreuzer, M., Lagarde, F., Mäkeläinen, I., Muirhead, C., Oberaigner, W., Pershagen, G., Ruano-Ravina, A., Ruosteenoja, E., Schaffrath Rosario, A., Tirmarche, M., Tomašek, L., Whitley, E., Wichmann, H-E., Doll, R. (2004) Radon in homes and risk of lung cancer collaborative analysis of individual data from 13 European case -control studies, *British Medical Journal* 2005; 330: p, 223.
- Etioppe, G. (1999): Subsoil CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> and their advective transfer from faulted grassland to the atmosphere. *J. Geophys. Res.* 104, 16889-16894.
- Evans, M. J., Derry, L. A., France-Lanord, C. (2008): Degassing of metamorphic carbon dioxide from the Nepal Himalaya. *Geochemistry Geophysics Geosystems* 9, Q04021.
- Finizola, A., Revil, A., Rizzo, E., Piscitelli, S., Ricci, T., Morin, J., Angeletti, B., Mocochain, L., Sortino, F. (2006): Hydrogeological insights at Stromboli volcano (Italy) from geoelectrical, temperature, and CO<sub>2</sub> soil degassing investigations. *Geophysical Research Letters* 33, L17304.
- Hinkle, M. E. (1991): Seasonal and geothermal production variations, *Applied Geochemistry*, 6, 35.
- International Atomic Energy Agency (1990): *The environmental behaviour of radium*, 1-446.
- Irwin, W. P., Barnes, I. (1975): Effects of geologic structure and metamorphic fluids on seismic behavior of San Andreas fault, *Geology* 3, 713-716.
- Irwin, W. P., Barnes, I. (1980): Tectonic relations of carbon dioxide discharges and earthquakes. *J. Geophys. Res.*, 85 (B6), 3115-3121.

- Jedrychowski, W., Flak, E., Wesolowski, J., Liu, K.S. (1995): Relation between residential radon concentrations and housing characteristics. The Cracow Study. *Central European Journal of Public Health*, 3, 150-160. old.
- King, C-Y., King, B-S., Evans, W. C., Zhang. W. (1996): Spatial radon anomalies on active faults in California, *Applied Geochemistry*, 11, 497.
- Köteles, Gy. (1994): Radon a környezetünkben, *Fizikai szemle* 1994/6, 233-240. old.
- LaBrecque, J. J., Cordoves, P. R. (2004): Short- and long-term monitoring of radon, thoron and carbon in soil-gas at Altos de pipe, Venezuela, *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 260, 255-264.
- Lackner, K. S., Wendt, C. H., Butt, D. P., Joyce, E. L., Sharp, D. H. (1995): Carbon-Dioxide Disposal in Carbonate Minerals. *Energy* 20, 1153-1170.
- Marx, Gy. (1996): *Atommagközelben, Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged*
- Németh, Cs., Somlai, J., Kanyár, B. (2000): Estimation of external irradiation of children due to the use of coal-slag as building material in Tatabánya, Hungary. *Journal of Environmental Radioactivity*, 51, 371-378.old.
- Nemzeti Éghajlatváltozási Stratégia stratégia koncepciójának alapjai (1998) (VAHAVA 1-42)
- Nemzetközi Fenntartható Fejlődési Tanács (NFFT) (2008): *Átfogó éghajlatvédelmi kerettörvény*
- Patkós, A. (2007): *Kozmológia: az Univerzum történetének tudománya. Magyar Tudomány*, 2004/6 732. old.
- Pershagen, G., Svantegren, M. (1995): Svéd radon-tapasztalatok, *Fizikai Szemle* 1995/6 207. old
- Pratzel, H. G., Reiner, L., Franke, A., Franke, T., Resch, K. L. (2000): Long-term efficacy of radon spa therapy in rheumatoid aristry – a randomized, sham-controlled study and follow up, *Rheumatology*, 39, 894-902.
- Reich, J. W., Schlesinger W. H. (1992): The global carbon-dioxide flux in soil respiration and its relationship to climate. *Tellus* 44 B. 81-99.
- Reich, J. W., Schlesinger W. H. (2005): The effect of soil water content, soil temperature, soil pH-value and the root mass on soil CO<sub>2</sub> efflux – A modified model. *Plant and Soil* 268. 21-33.

- Salazar, J. M. L., Pérez, N. M., Hernandez, P. A., Soriano, T., Barahona, F., Olmos, R., Cartagena, R., Lopez, D.L., Lima, R.N., Melian, G., Galindo, I., Padron, E., Sumino, H., Notsu, K. (2002): Precursory diffuse carbon dioxide degassing signature related to a 5.1 magnitude earthquake in El Salvador, Central America. *Earth and Planetary Science Letters* 205, 81-89.
- Sibson, R. H. (1985): Stopping of earthquakes riptures at dilational fault jogs, *Nature* 316, 248-251.
- Sibson, R. H. (1990): Rupture nuclation on unfavorably oriented faults, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 80, 1580-1604.
- Smith, K. A., Ball T., Conen, F., Bobbie, K. E., Massheder, J., Rey, A. (2003): Exchange of greenhouse gases between soil and atmosphere: interactions of soil physecal factors and biological processes. *European Journal of Soil Science* 54. 779.
- Szili-Kovács, T., Radimszky, L., Andó, J., Biczók, Gy. (1993): CO<sub>2</sub> evolution from soils formed on various parent materials in the East-Cserhát mountains (Hungary) during laboratory incubation. *Agrokémia és Talajtan* 42. 140-146. old.
- Tanner, A. B. (1964): Radon migration in the ground: a review. *The Natural Radiation Environment*. University of Chicago Press, Chicago, pp. 161–190.
- Tanner, A. B. (1980): Radon migration in the ground: supplementary review. *In: Nazaroff, W.W.*
- Todesco, M., Chiodini, G., Macedonio, G. (2003): Monitoring and modelling hydrothermal fluid emission at La Solfatara (Phlegrean Fields, Italy). An interdisciplinary approach to the study of diffuse degassing. *J.Volcanol.Geotherm. Res.*, 125: 57-79.
- Tóth, E. (1994) Régóta jön-e a radon Mátraderecs-kén?, *Fizikai Szemle* 1994/12, 477 old.
- Tóth, E., Lázár, I., Selmeczi, D., Marx, Gy. (1998): Lower cancer risk in medium high radon – *Pathology Oncology Research*, 4, 2, 125-129.
- Werner, C., Cardellini, C. (2006): Comparison of carbon dioxide emissions with fluid upflow, chemistry, and geologic structures at the Rotorua geothermal system, New Zealand. *Geothermics* 35, 221-238.
- Zhang, Y. (1996). Cracking the killer lakes of Cameroon. *Geosciences News*, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan July, 3-5. old.