

ÚJABB FIZIKO-KÉMIAI VIZSGÁLATOK A TORJAI BÜDÖSBARLANGBAN

SZABÓ ENDRE, SZABÓ SELÉNYI ZSUZSANNA

1. A torjai Búdösbarlangra vonatkozó földrajzi és helyrajzi adatok

A torjai Búdösbarlang — mely Románia legnagyobb természetes széndioxid és kén-hidrogén gázfeltörése — a Bodoki-hegység (Kovászna megye) északi nyulványán emelkedő Búdös-hegy (1143 m) déli oldalán fekszik 1052 m tengerszint feletti magasságban (1).

A Búdös-hegy oldalán még kb. 5 gázzal telt kőüreg, illetve mélyedés található (Medvebarlang, Gyilkosbarlang, Madártemető, stb.). Legnagyobb azonban a Búdösbarlang.

A torjai Búdösbarlang 14 m hosszúságú kőüreg, amely befelé lejt és gázzal borított felületét „kénbekérgezés“ festi ságra színűre.

Dr. Hankó Vilmos (2) szerint 1884-ben a barlang hossza 14 m, szélessége 2 m, magassága 6 m, ahol a legmagasabb, és 2 m, ahol a legalacsonyabb volt. A barlang befelé lejt, de a gázok felszíne vízszintes irányú.

A barlangot 1892-ben faragott kövekből épített kőfallal teszik biztonságosabbá és ennek következtében kissé beszűkítik. (A barlang felületét kb. 7 m hosszúságban faragott terméskővel vonják be és tetejét félkör alakú boltív formájában képezik ki). Ugyanakkor ajtóval is ellátják a barlangot.

Az 1950—60-as években a barlang bejáratát alkotó terméskő boltozat a lefolyó esőtől meglazult és egyrésze beomlott. Ennek következtében a csapadék, valamint a felülről legördülő sziklák és kövek behatoltak a barlangba és a barlangot a beomlás veszélye fenyegette (3).

1972—73-ben a Sepsibükszádi Néptanács, illetve a torjai T.B.C. Szanatorium Vezetősége eredeti formájában helyreállította a barlangot, pótolva bejáratának hiányzó terméskő kockáit. A barlang helyreállításánál meghagyták annak enyhe lejtését a barlang belseje fele (kb. 6 cm/m) és a bejáratot három lépcsőfokkal látták el.

1973-ban a barlang kiépített részének a végét biztonsági okokból (betegek védelme, öngyilkosság, stb.) vasráccsal zárták le s a barlang két oldalán egy-egy 4 m hosszúságú, 0,5 m magasságú fenyőfapadot helyeztek el a látogatók, illetve a betegek kényelmesebb elhelyezkedése érdekében (4).



Fig. 1 — A Torjai Bűdösbarlang (Hankó Vilmos felvétele, 1885).

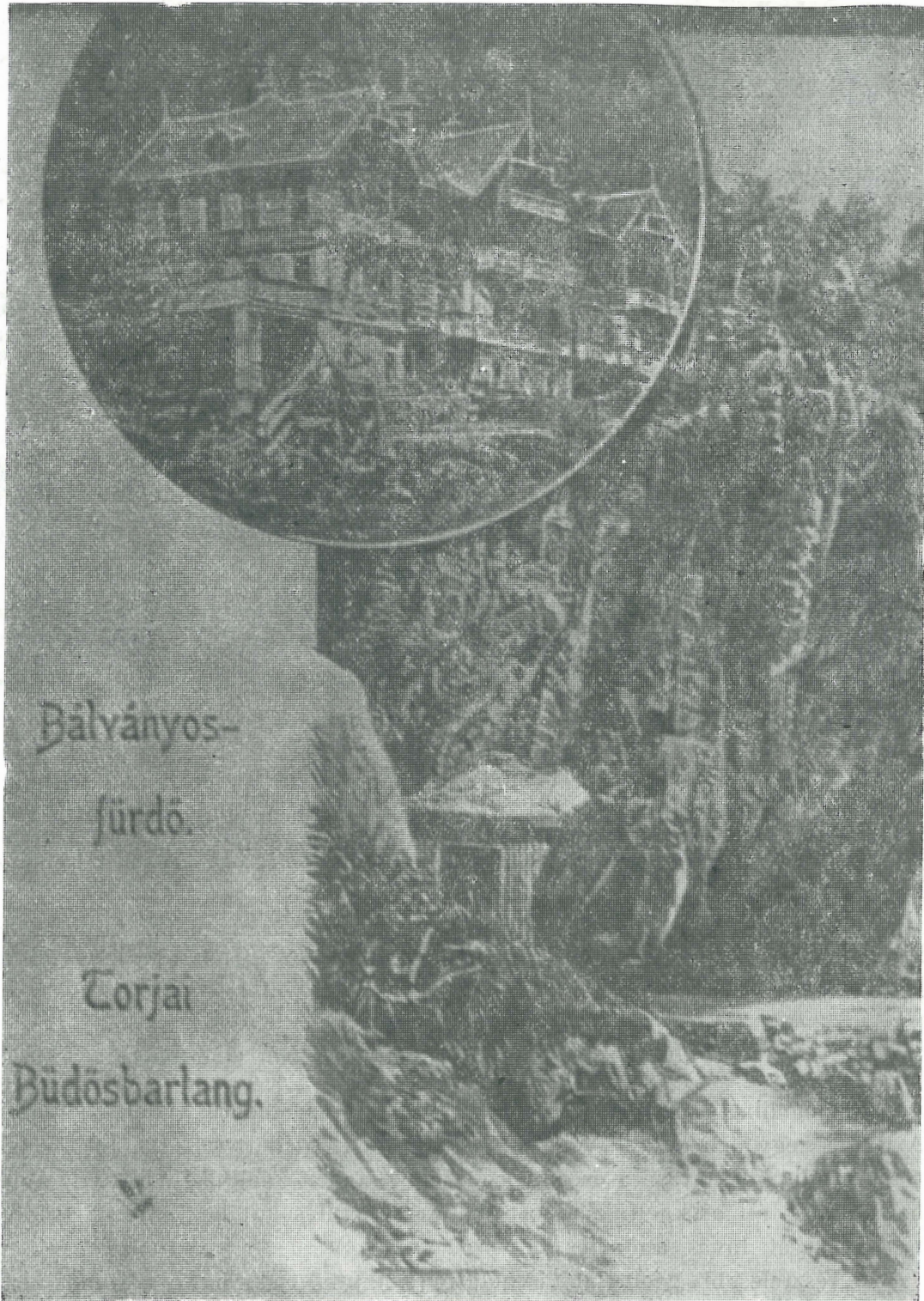


Fig. 2 — A Torjai Bűdösbarlang. Egykori festmény (1890) után.

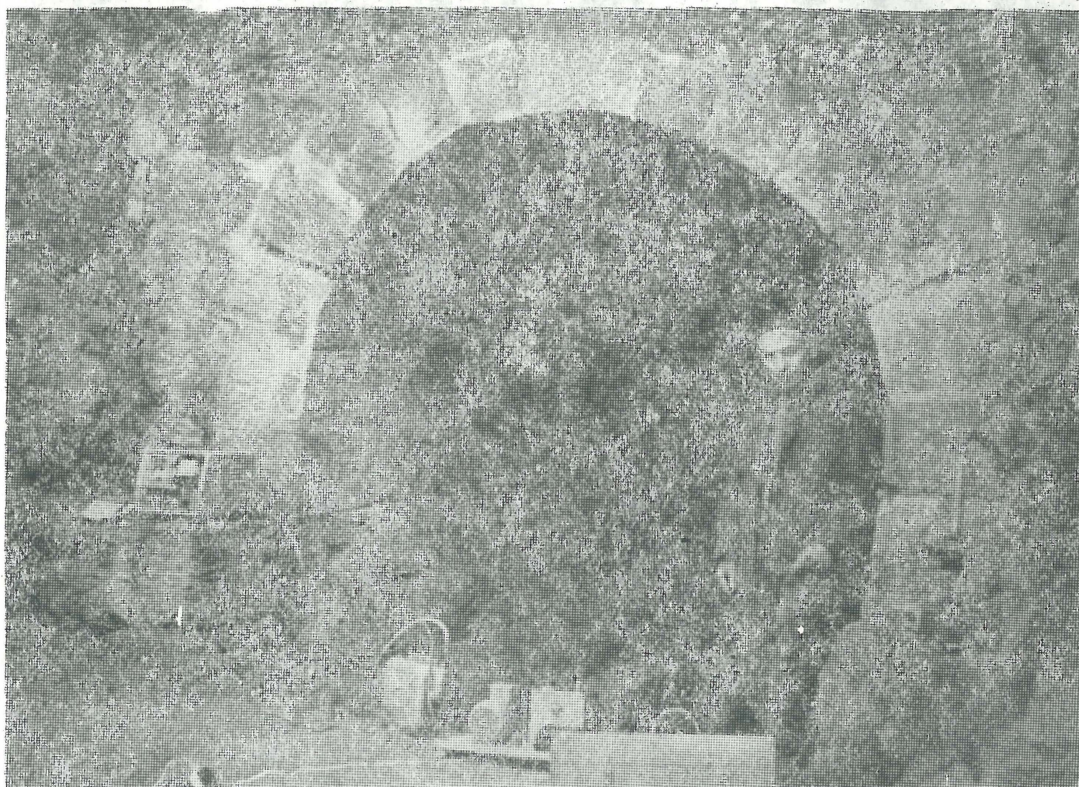


Fig. 3 — A Torjai Bűdösbarlang napjainkban (Szabó E. felvétele), 1973.

A vizsgálatok idején (1973 július második felében) a barlang kihasznált hossza a bejáratától az alkalmazott vasrácsig 5,8 m. A barlang szélessége 2,05 m teljes hosszában. Magassága a bejáratnál 2,05 m, a vasrácsnál pedig 2,90 m. A szénsavszint magassága a bejáratnál 0,76 m, míg a vasrácsnál 1,10 m, a barlang padlójától mérve.

A barlang a Vasrács mögött még 8,2 m hosszúságban folytatódik, de kiépítve még csupán 1 m terméskőfal van. A kőfal végétől a barlang 7,2 m hosszúságban befelé, eredeti természetes állapotában található.

2. A torjai Bűdösbarlang és környékének geológiai viszonyai.

Geológiaiilag a Bűdös-hegységet a vulkánikus eredetű andezit jellemzi. A Bűdös-hegy déli oldalán lévő andezit erősen öregedett (alterálódott) a feltörő széndioxid hatására és ennek következtében kaolinizálódott. Ez több helyen is hatalmas kaolinizálódott sziklacsoportulásokat hoz létre. A Bűdös-hegy csúcsát lávás andezit alkotja.

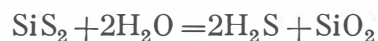
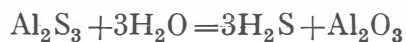
A résztelesebb geológiai vizsgálatok azt mutatják, hogy a Bűdös-hegy egész környékét az amfibol-biotitos andezit jellemzi, amely nyugati irányban

egészen a Tusnádfürdő felett emelkedő Peleske-csúcsáig terjed ki. A Szent Anna-tó krátertavát is ilyen amfibol-biotitos andezit veszi körül. A Peleske-csúctól nyugati irányban a biotitos andezit a jellemző (5).

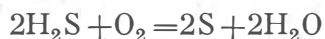
A vulkáni utóműködés következtében a Büdös-hegy környékén számos erős szén-dioxid gázfeltörés található (Büdösbarlang, Medvebarlang, Gyilkosbarlang, Madártemető, Buffogó, stb.), azonban a szén-dioxid jelenléte a hegység minden részén kimutatható a sziklák repedéseiben, ahol egyes helyeken időnként szipolva tör elő.

A Büdös-hegységből feltörő szén-dioxid gáz jelentős mennyiségű kénhidrogén gázt is tartalmaz. Ezért még a kisebb széndioxid gázfeltörések közelében is jól érezhető a kénhidrogén záptojásra jellemző szaga s ennek következtében a gázfeltörések a helyszínen viszonylag könnyen felkutathatók.

A torjai Büdösbarlangban feltörő széndioxid gáz valószínűleg az amfibol-biotit-andezit bomlásából származik (5, 6). A kénhidrogén gáz pedig feltehetően a föld mélyében lévő szulfátokból a túlhevített vízgőz hatására keletkező szulfidoknak a bomlástermékeként jön létre (7), az alábbi reakciók értelmében:



Az ilyen módon keletkező kénhidrogén gáz a levegő oxigénjével érintkezve elemi kénkiválást hoz létre:



Ez a magyarázata, hogy a Büdös-hegy környéki kénkiválások általában a felszínhez közel fordulnak elő és a kiváló kén „bekérgezi“ sárgára a gázzal érintkező sziklák felületék. A torjai Büdösbarlangban például a barlang gázzal érintkező egész felületét váltakozó vastagságú sárga színű kén borítja.

3. A torjai Büdösbarlang gázainak kémiai összetétele.

A torjai Büdösbarlang gázainak összetétele — írásos emlékeink szerint — már a XVII—XVIII. század során számos természettudós érdeklődését felkeltette (8, 9). E vizsgálatokból azonban csak annyit sikerült magállapítani, hogy a barlang gázában szénsav és kénhidrogén található.

Az első alapos, kimerítő kémiai analízist Dr. Ilosvay Lajos budapesti műegyetemi tanár végezte, aki 1878 és 1895 között 15 éven át tanulmányozta a torjai Büdösbarlangot (10, 11). E vizsgálatok eredményei képezik ma is az összes kutatások kiindulási pontját.

Később Dr. Hankó Vilmos kolozsvári egyetemi tanár végzett a barlangban kémiai meghatározásokat (2), majd a bukaresti Balneológiai Intézet (12), illetve a Bányügyi Minisztérium kutatói (6) végeztek meghatározásokat. E vizsgálatok azonban nem voltak teljeseek, azok csupán néhány komponens meghatározására terjedtek ki.

A torjai Bűdösbarlang gázainak az eddigieknél részletesebb fiziko-kémiai vizsgálatát korszerű módszerekkel és műszerekkel Szabó Endre és Szabó Selényi Zsuzsanna végezték el 1973 júliusában.

Ezen vizsgálatok eredményeinek ismertetésével párhuzamosan, közöljük — az összehasonlíthatóság érdekében — más szerzőknek az eredményeit is. Mérési eredményeinket 1 sz. Táblázat tünteti fel.

1 sz. táblázat

Megnevezés	Szerző év	Ilosvay L. (11) 1895	Petrescu P. (12) 1961	Pricăjan A. (6) 1972	Szabó E. Szabó Zs. 1973
Szén-dioxid		95,49%	98,4%	96,82%	92,46%
Nitrogén		3,64%	—	—	4,40%
Oxigén		0,01%	1,6%	—	2,60%
Metán		—	—	—	0,44%
Nemes gázok		—	—	—	0,063%
Kén-hidrogén		0,56%	—	0,38%	0,037%

A megadott eredmények térfogatszázalékban vannak feltüntetve.

Amint az 1 sz. táblázat adataiból kitűnik, a barlang gázainak főalkotórészét a szén-dioxid képezi (92,46%) és viszonylag kevesebb mennyiségben található még nitrogén (4,40%), oxigén (2,60%), metán (0,44%), kén-hidrogén (0,037%) valamint nemes gázok (0,063%).

A kén-hidrogén meghatározása a helyszínen történt Dräger készülékkel (13), míg a többi komponens meghatározását a hazaszállított gázmintákból Marosvásárhelyen végeztük.

A szén-dioxid és oxigén meghatározását VTI típusú szovjet gázanalizáló berendezéssel végeztük. A szén-dioxidot kalium-hidroxid oldaton való elnyeléssel, míg az oxigént lúgos pirogalol oldaton való megkötéssel határoztuk meg.

A nitrogén és metán meghatározása C.I.C. típusú adszorpciós gázkromatográffal történt, aktív szénen való adszorpcióval. Hordozó és leoldó gázként szén-dioxidot használtunk. A mintákban lévő kén-hidrogént — ami a meghatározásoknál zavarólag hat — előzőleg 4%-os kadmium-acetát oldattal megkötöttük.

A gázanalízisek eredményeinek százalékos összegéből kapott 0,063% maradék gáztérfogatot nemes gázoknak (He, Ar, Ne, Xe, Kr, Rn) tekintjük. Ezek közül csupán a radon mennyiségét állt módunkban meghatározni.

Eredményeinket összehasonlítva más szerzők eredményeivel, azokban kisebb-nagyobb eltérések figyelhetők meg. Ezek egyrészt az alkalmazott módszerek különbözőségének, másrészt pedig egyes környezeti, illetve meteorológiai tényezőknek tulajdoníthatók.

Már Ilosvay is megállapította, hogy a barlang gázösszetételében időszakos változások figyelhetők meg, amelyek véleményünk szerint a légnyomás változással, illetve a csapadék mennyiségével is összefügghetnek.

Különösen szembeűnő a kén-hidrogén mennyiségének az előző analízisekhez képest lecsökkent értéke (0,56% —0,037%-ra). Ezt különben nemcsak a végzett analízisek mutatják, hanem az érzékszervileg (organoleptikusan) is észlelhető volt az analízisek időpontjában (a kén-hidrogén gáz szaga u.i. sokkal gyengébb volt, mint az előző évtizedekben). Ez különben makroszkópikusan is kifejezésre jutott abban a tényben, hogy a különböző fémtárgyakra (Au, Ag, Cu) a barlang gázterében a szulfid-leválás sokkal kisebb mértékű volt. Egykori feljegyzések szerint — de a szerzők régebbi megfigyelései szerint is — nemesfémeken a szulfid-bevonat már néhány másodperc alatt megjelent (pl. Au, Ag-gyűrűk, pénzek, stb. megfeketedtek). Jelenleg csak hosszabb idő — 15—30 perc — után következik ez be, és csak vékonyabb rétegben.

A barlang környékén a kénbekéregzés is hasonló jelenségeket mutat. Az erdélyi fejedelemség idején a környéken a ként még bányászták (8, 9), utoljára azonban a kénbányászásról az 1848—59-es szabadságharc alatt esik szó ezen a vidéken. Az I világháború idején már nem találtak kibányászásra érdemes mennyiségű ként (8).

A kén-hidrogén gáz csökkenésének több magyarázata is lehet:

1. Megváltozott a barlang általános gázhozama;
2. Kifogyóban vannak a kéntartalmú ásványok, amelyekből a kén-hidrogén keletkezik;
3. A keletkező kén-hidrogén egy részéből az oxidáció során kéndi- illetve polioxidok keletkezhetnek. Ezt különben már Ilosvay is megfigyelte, amikor a barlang falairól lecsepegő vízben szabad kénsavat, illetve kénessavat állapított meg. Jelenleg mi ezt a kérdést nem tanulmányoztuk, éppen ezért az még további vizsgálatok tárgyát képezi.

Véleményünk szerint ahhoz, hogy teljesen hű képet nyerjünk a torjai Bűdösbarlang gázösszetételéről, szükséges lenne azt hosszabb időn keresztül, különböző évszaki és meteorológiai viszonyok között tanulmányozni. Erre azonban jelenleg objektív okok miatt nincs lehetőség.

Meghatározásainak során külön vizsgálat tárgyává tettük a barlang falát borító kénbevonatot („kénbekéregzést“). Ez, mint az előzőkben is említettük, a kén-hidrogén oxidációjának eredményeképpen jön létre és Ilosvay (11) vizsgálatai szerint timsót is tartalmaz. Mivel a kén oxidációja során a barlangban kevés kéndioxid is keletkezik, az a lecsepegő vízzel azonnal kénessavvá, illetve kénsavvá alakul. A keletkező kénsav hozza létre a kaolinból a különböző timsós lecsapódásokat. Ezért feltételeztük, hogy a kénbekéregzésben még egyéb elemek is előfordulnak. A lerakódásokat ezért kvantitatív spektrálanalízis segítségével vizsgáltuk. A vizsgálatok eredményeit a 2 sz. táblázat tünteti fel.

2. sz. táblázat

Kén (S)	93,0%
Szilícium-dioxid (SiO ₂)	2,5%
Alumínium-oxid (Al ₂ O ₃)	1,5%
Kálcium-oxid (CaO)	1,0%

Vas (Fe)	0,8%
Magnézium (Mg)	0,5%
Nátrium (Na)	0,1%
Titán (Ti)	0,1%
Réz (Cu).....	0,03%
Mangón (Mn).....	0,01%
Arzén (As)	—
Ólom (Pb)	—
Cink (Zn)	—
Antimon (Sb)	—
Arany (Au)	—
Ezüst (Ag)	—

A 2 sz. táblázat adataiból látható, hogy a lerakódás legnagyobb részét (93,0%-ot) az elemi kén képezi. A nagyobb mennyiségben jelenlévő szilícium-dioxid (2,5%), alumínium-oxid (1,5%), kalcium-oxid (1,0%) és magnézium (0,5%) valóban a kaolinból származik, míg a többi elemek (vas, nátrium, titán, réz, mangán) amelyek csak kisebb mennyiségben vannak jelen, az alkotó kőzetek normális összetevőihöz illetve szennyezéseihez tartoznak. Nehéz fémeket (ólmot, antimont, cinket, aranyat, ezüstöt) — a várakozásnak megfelelően — a lerakodásból nem sikerült kimutatni.

4. A torjai Büdösbarlang gázainak természetes radioaktivitása.

A torjai Büdösbarlang gázainak radioaktivitásával a múltban több szerző is foglalkozott, azonban adatokat csak Szabó Á. (5), illetve Szabó E. (14, 15) munkáiban találunk.

Az eddig végzett mérések azt bizonyítják, hogy a barlang gázai feltűnően nagy természetes radioaktivitással rendelkeznek. Ennek az okozója egy radioaktív nemesgáz, a radon — $^{222}_{86}\text{Rn}$.

A radon-222 a rádium -226 izotóp első bomlási terméke és mint ilyen a természetben kisebb-nagyobb mennyiségben mindenütt megtalálható. A Földkéreg átlagos rádium-226 tartalma $1 \cdot 10^{-10}\%$ (16), azonban ez egyes helyeken pl. nagyobb mennyiségű uránérc előfordulások közelében többszörös is lehet. Feltehetően a torjai Büdösbarlangban feltörő szén-dioxid gáz útja során nagyobb mennyiségű $^{226}_{88}\text{Ra}$ -tartalmú kőzettel érintkezik és az abból keletkező $^{222}_{86}\text{Rn}$ -t a gázáram magával hozza a felszínre.

A torjai Büdösbarlang gázterének radontartalmát a 3 sz. táblázat tünteti fel.

3 sz. táblázat

Szerző	Szabó Á.	Szabó E.	Szabó E.
Év	1951	1961	1973
$^{222}_{87}\text{Rn}$ (nCi/ liter)	0,98	I=0,50 II=0,70	0,702
Módszer	elektrométer (5)	elektrométer (17)	szcint. kamra (18, 19)

Amint a 3 sz. táblázat adataiból kiderül, a torjai Bűdösbarlangban a radon-222 tartalom – alfa-szcintillációs-kamrával végzett mérések alapján – 0,702 nCi/liter, ami jól egyezik az 1961-ben végzett elektrométeres meghatározás 0,50, illetve 0,70 nCi/liter eredményeivel.

Eltérés mutatkozik a Szabó Á. által 1951-ben végzett méréstől, ami adódhatik a módszerek különbözőségéből, de adódhatik ugyanolyan okokból is, amelyek az előzőekben említett kén-hidrogén gáz koncentrációjának a csökkenésével is összefügghetnek. Kár, hogy nem állnak rendelkezésre egyéb adatok is, amelyek az összehasonlítást teljesebbé tehetnék.

A radon-222 felezési ideje 3,82 nap és bomlásakor alfa-, béta-, illetve gamma-sugárzó termékek egész sora keletkezik, amint az a 4 sz. táblázatból (20) látható:

4 sz. táblázat.

Atommag	Felezési idő	Sugárzás energiája MeV, zárójelben a kibocsátás gyakorisága bomlásonként %.				
		alfa,	béta		gamma	
0	1	2				
Ra (Ra 226)	1622 év	α 4,78 4,59	(94) (6)	0,187	(3)	
Rn (Rn 222)	3,825 nap	α 5,49	(100)	0,51	(0,07)	
RaA (Po 218)	3,05 min	α 6,00	(100)			
RaB (Ph 214)	26,8 min	β 1,03 0,65 0,59	(6) (41) (53)	0,053 0,242	(1,6) (7,1)	0,295 (20) 0,352 (36)
RaC (Bi 214)	19,72 min	β 3,26 2,57 1,88 1,51 1,02 0,42	(19) (<4) (9) (40) (23) (9)	0,426 0,496 0,609 0,656 0,769 0,935 1,120 1,155	(3,6) (5,6) (29,5) (2,4) (4,4) (3,3) (13,1) (2,5)	1,238 (5,6) 1,378 (4,6) 1,4 (4,6) 1,509 (2,7) 1,764 (16,0) 1,784 (2,8) 2,204 (6,4) 2,432 (2,6)

0	1			2	
RaC' (Po 214)	164 μ sec	α 7,68	(~100)		
RaD (Pb 210)	19,4 év	β 0,065 0,018	(15) (85)	0,047	(4,5)
RaE (Bi 210)	5,013 nap	β 1,170	(~100)		
RaF (Po 210)	138,4 nap	α 5,3	(~100)	0,803	(0,0013)

Fizikai szempontból különösen nagy fontossággal bírnak a radon ún. rövid felezési idejű bomlástermékei (RaA, RaB, RaC, stb.), mivel ezek igen nagy energiával (~5–7 MeV) bomlanak és mennyiségükből következtetni lehet a radon és bomlástermékek radioaktív egyensúlyi állapotára. Éppen ezért, szükségesnek találtuk ezen izotópok mennyiségi meghatározásának az elvégzését is.

A RaA, RaB és RaC meghatározását E.C. Tsivoglou és munkatársai (21) membránszűrős módszerével, illetve annak Virágh E. -től származó módosításával (22, 23) végeztük. Meghatározásaink eredményeit az 5 sz. Táblázat tünteti fel.

5 sz. táblázat

Rádium A ($^{218}_{84}\text{Po}$)	439,9 pCi/liter
Rádium B ($^{214}_{82}\text{Pb}$)	326,7 pCi/lit er
Rádium C ($^{214}_{82}\text{Bi}$)	145,2 pCi/liter

Ha a RaA, RaB, RaC mérések eredményeit viszonyítjuk a Rn-éhoz, akkor eredményül a Rn : RaA : RaB : RaC = 1 : 0,62 : 0,46 : 0,20 arányokat nyerjük. Ez azt jelenti, hogy a radon és rövid felezési idejű bomlástermékei között nincsen radioaktív egyensúly. Ez összefügg azzal a ténnyel, hogy a gáz állandó áramlásban van.

A RaA, RaB, RaC rendszeres méréséből a gáz kiáramlási sebességére, illetve annak változásaira is lehet következtetni. Amennyiben pedig a feltörő gáz útjának nyíláskeresztmetszete ismeretes volna, úgy a Ra : RaA : RaB : RaC arányából következtetni lehetne a radon „korára“ és keletkezési helyére is.

A radon, valamint bomlástermékei nagymértékben megnövelik a barlangban a természetes háttérsugárzás szintjét. Az alfa-háttérrel TISS készülék szikraszámláló detektorával, míg a bétagamma-háttérrel a TISS készülék Geiger-Müller-csővel detektorával mértük. A természetes háttérsugárzásból adódó béta-gamma dózisteljesítményt Vakutronik VA-J-15 A röntgen-gamma doziméterrel határoztuk meg. Mérési eredményeinket a 6 sz. táblázat tünteti fel, melyben összehasonlítási adatként a torjai T.B.C. Szanatórium első emeleti igazgatói teraszán mért értékeket választottuk.

6 sz. táblázat

Mért mennyiség	Barlangban	Teraszon
Radon –222	$0,702 \cdot 10^{-9}$ Ci/1	$0,616 \cdot 10^{-13}$ Ci/1
Alfa-háttér	573 imp/min/150 cm ²	20 imp/min 150 cm ²
Béta-gamma háttér	900 imp/min/130 cm ²	293 imp/min/130 cm ²
Béta-gamma dózisteljesítmény	0,20 mr/h	0,12 mr/h

Amint a 6 sz. táblázat adataiból kitűnik, a barlangban a radon-222 koncentráció a külso légköréhez (igazgatói szoba terasza) viszonyítva — a várakozásnak megfelelően — kb. 4 nagyságrenddel nagyobb.

Igen szembeűnő az alfa-háttér magas értéke (573 imp/min/150 cm²), melynek az a magyarázata, hogy a barlang gázterében igen nagyszámú alfarész keletkezik a radon bomlása következtében. Ezeket az alfarészeket a TISS készülék szikraszámolója igen jó hatásfokkal detektálja, mivel a gáz szabadon behatolhat a szikraszámoló belsejébe és így az önadszorbcio ott gyakorlatilag zérussá válik. Ennek következtében a szikraszámoló „gázsámológént“ működik.

A béta-gamma háttér kb. háromszorta nagyobb a barlangban (900 imp/min/130 cm²), mint az igazgatói szoba teraszán (293 imp/min/130 cm²). Ez az érték gyakorlatilag csak a háttérsugárzás „keményebb“, tehát nagyobb energiájú komponenseire vonatkozik, mivel a TISS készülék béta-gamma detektorában lévő 3 drb. CTC-6 jelzésű Geiger-Müller számlálócső csak ezek detektálására alkalmas. (A CTC-6-os számlálócsővek falvastagsága 0,1 mm acél, ami 78 mg/cm²-nek felel meg).

A béta-gamma-dózisteljesítmény a barlangban (0,20 mr/h) kb. kétszerese az igazgatói szoba teraszán mért értéknek (0,12 mr/h). Megjegyezni kívánjuk, hogy ezt az értéket egy órai integrált üzemmódban mértük és a doziméter ionizációs kamráját leucoplast réteggel tökéletesen elzártuk a gáztértől. (Ellenkező esetben u.i. a gáz a kamra fedőlemezének nyílásain behatolhat az ionizációs kamrába és az ott lejátszódó ionizációs folyamatok meghamisítják ily módon a mérések eredményeit.). Mivel a doziméter ionizációs kamrájának felületi tömege 200 mg/cm², ezért a doziméter szintén csak a keményebb béta sugárzást regisztrálja.

Tekintettel arra, hogy a radon bomlásakor keletkező alfarészek a levegőt és a különböző gázokat intenzíven ionizálják, szükségesnek találtuk, hogy meghatározzuk a barlang gázterében keletkező ionok számát. Fizikai, illetve biofizikai szempontból különösen a kis és közepes nagyságú ionol bírnak nagy jelentőséggel (24, 25). Ezért meghatároztuk a kis és közepes ionkoncentráció értékét a barlangban, illetve az igazgatói szoba teraszán.

Az ionizációs méréseket Ebert-f. ionizációs kamrával („Ebert-sámológ“) ellátott Wulf f. kétszálás elektrométerrel végeztük (26). Eredményeinket a 7 sz. táblázatban tüntettük fel.

7 sz. táblázat.

Megnevezés	Barlangban	Teraszon
Negatív ion	$2,83 \cdot 10^4$ ion/ml	$6,56 \cdot 10^2$ ion/ml
Pozitív ion	$3,55 \cdot 10^3$ ion/ml	$9,97 \cdot 10^2$ ion/ml

A 7 sz. táblázatból látható, hogy a barlang gázterében az ionizáció igen nagy mértékű, ami összhangban van az előzőkben mondottakkal. A barlangban mért negatív ionok száma kb. két nagyságrenddel nagyobb a külső gázteréhez képest. A negatív és pozitív ionok számaránya a barlangban $n^-/n^+ = 8,0$, vagyis nagymértékű negatív ion többlet van a barlangban. A külső légkörben a negatív illetve a pozitív ionok aránya $n^-/n^+ = 0,66$, ami enyhe pozitív ion-többletnek felel meg.

Mivel a barlang falára a kiváló kénnel együtt a radon bomlástermékei is lecsapódnak, megpróbáltuk azok kimutatását a barlang faláról vett kaparék-ból. Próbálkozásaink azonban nem jártak eredménnyel, mivel a radon rövid felezési idejű bomlástermékeinek átlagos felezési ideje 31 perc s így a mintának a laboratóriumig való szállítása alatt azok elbomlottak. Hasonló gáztérben végzett egyéb méréseink során azonban az aktív réteg jelenlétét jól mérhetően kimutattuk (27,28).

A barlang faláról vett kénes kaparékban a radon hosszú-felezési idejű bomlástermékei közül a RaD mutatható ki, mivel ennek felezési ideje 19,4 év. A RaD kisenergiájú sugárzásai következtében a mérés a belőle keletkező RaE béta-sugárzása alapján történt ($E = 1,17$ MeV). A RaD és a RaE között a radioaktív egyensúly kb. 1–2 hónap múlva áll be, tehát az akkor végzett mérések a RaE = RaD –tartalmat adják meg.

Alacsony háttérű antikoincidencia készülékkel (28a) végzett méréseink alapján ez:

$$\text{RaD} = \text{RaE} = 11,76 \text{ pCi/g kaparék}$$

5. A torjai Büdösbarlang gázterében végzett mikroklíma és gázhozam mérések

Mivel a torjai Büdösbarlangot a népgyógyászatban évszázadok óta használják különböző reumás és ízületi megbetegedések gyógyítására, szükségesnek láttuk a barlang mikroklímájának néhány jellemző adatát meghatározni. Eredményeink a 8 sz. táblázatban láthatók. A táblázatban összehasonlításként megadtuk a barlang szájától 5 m-re 1,5 m magasságban mért értéket is.

8 sz. táblázat

Megnevezés	Barlangban	Barlang előtt
Hőmérséklet	12,0 C°	10,0 C°
Légnomás	661,6 Hg mm	661,0 Hg mm

Relatív nedvesség	95,0%	81,0%
Száraz – Kata-érték	8,1 mCal/sec/cm ²	Változó
Szén-dioxid koncentráció	92,46%	0,42%
Kén-hidrogen koncentráció	0,037%	0,0017%

A 8 sz. táblázatban közölt adatok egy adott időpontra vonatkoznak, az akkor uralkodó meteorológiai viszonyok között. (Megjegyezni kívánjuk, hogy a mérések periódusában — 1973 július második felében — általában az évszakhoz képest nagyon hideg idő uralkodott, gyakori esővel).

A külső meteorológiai tényezők közül egyesek hatása a barlangban is érvényesül. Így pl. a légnyomás értéke a barlangban megegyezik a mindenkori külső légnyomás értékével, mivel a barlang nagyjából vízszintes és nyitott. Szeles időben, ha a szél iránya megfelelő, a légáram gyakran a barlang — különben nyugodt — gázterét felkavarja. Ezért szükséges lenne azt egy felül üveges, alul nyílással rendelkező (dróthálóval lezárt) ajtóval ellátni. (A század elején különben a 40-es évekig a barlang tölgyfa ajtóval volt lezárva).

A barlang gázhőmérséklete — a jelenlegi körülmények között — általában $\pm 2^\circ\text{C}$ különbséggel követi a külső hőmérséklet ingadozásokat.

A relatív nedvességtartalom a barlangban általában független a külső tényezőktől, értéke 95 — 96% és a telítettséghez nagyon közel áll. Ennek következtében a barlang falairól időnként az oda lecsapódott víz lecsepeg, miközben egyes oldható komponenseket a barlang faláról kiold. Ezt a lecsepegő vizet egyesek felfogják és jó eredménnyel „szemvízként“ használják különböző szembetegségek esetében (9).

A barlangban a Hill f. katatermókérel mért száraz Kata-érték átlagosan $H = 8,1 \text{ mCal/sec/cm}^2$, ami hűvös komfort zónának felel meg. A barlangban ezek dacára nincs hideg érzés, mivel a nedves bőrfelületen elnyelődő szén-dioxid gáz helyileg hőfejlődést okoz, amit még fokoz a szén-dioxid gáz értágító hatása is (9).

A 8 sz. táblázatban megadtuk még a barlangtól 5 m-re, 1,5 m magasságban a levegőben a szén-dioxid gáz, illetve a kén-hidrogén gáz koncentrációját. Szélcsendes időben a szén-dioxid csípős szaga, valamint a kén-hidrogén jellemző záptojás szaga a barlangtól még több száz méter távolságra is jól érzik a levegőben.

Az előzőkön kívül egy igen fontos tényező még a barlang gázhozamának kérdése. Az Ilosvaytól származó első mérések szerint a barlangból naponta kb. 2021 m³ gáz ömlik ki annak nyílásán.

A barlang gázhozamának a meghatározására érzékeny, lapátos anemométert (Georg Rosenmüller, Dresden, N6) használtunk, amellyel a gázáram több magasságában mértük az áramlási sebességet. A kapott értékekből közép-arányost számítva és figyelembe véve a kiömlési nyílás pontos keresztmetszetét, a barlang napi gázhozamát 3960 m³-nek találtuk.

A gázáram kiáramlási sebességét cigarettafüsttel mérve, az 13,3 m/min értékűnek adódott, amelyből a gázhozamra 3830 m³/nap értéket kapunk.

Mint ebből látható, a nagyszámú hibalehetőség ellenére is, a két érték elég jól egyezik.

Újabban a bukaresti Balneológiai Intézet munkatársai végeztek méréseket a torjai Büdösbarlangban, annak hozamának megállapítására. E célból a barlangból előbb kiszivattyúzták a gázt, majd a gáztér felteléséből mérték a szén-dioxid gázhozamát. Méréseik eredményeként a barlang napi gázhozama 2880 m³-nek adódott (29).

Ezen mérési eljárásnak is megvan a maga pozitív és negatív oldala. Közös hiányossága mindegyik mérésnek, hogy nem tudja kiiktatni a meteorológiai viszonyokat, amelyek a gázhozamot nagymértékben befolyásolják. Ezért reális értéket ez esetben is csak a különböző meteorológiai viszonyok között mért értékek középátlója adhatna.

Mindezekről függetlenül, a torjai Büdösbarlang gázhozama messze meghaladja világviszonylatban is az ismert természetes szénsav források gázhozamait. (Pl. Az Andernach-i források gázhozama csak 1/6-a, míg a nápolyi Kutyabarlangé csak 1/3-a a torjai Büdösbarlang gázhozamának). Így érthető, hogy még a századforduló táján azt iparilag is hasznosították és szénsavát palackozva hozták forgalomba (2, 8, 9).

6. A torjai Büdösbarlang gyógyászati jelentősége és felhasználásának lehetőségei.

A torjai Büdösbarlang gyógyászati célokra való felhasználása évszázados népi megfigyelésen alapszik. Az első hivatalos feljegyzés a torjai Büdösbarlang gyógyászati felhasználásáról Fridvaldszky Jánostól (30) származik 1767-ből.

Ma már hazánkban a szénsavas, kén-hidrogénes gázfürdőknek — mofettáknak, szolfatáráknak — igen kiterjedt balneoterápiás felhasználása van, főleg szív- és érrendszeri megbetegedések esetében (9). Ezen kezelések hatásmechanizmusa meglehetősen komplex és még ma sem tisztázott minden kérdésben.

A mofetták és szolfatárák fiziológiás hatásmechanizmusában elsősorban a szénsavnak van igen nagy szerepe. A szénsav gáznak igen erőteljes értágító hatása van és ismételt alkalmazása során az erek rugalmasságukat visszanyerhetik, a vérnyomás csökken és egyes szövetek anyagcseréje fokozódik. Az értágulás nyomán létrejövő vérbőség (hiperemia) következtében a szervezet hőmérséklete emelkedik. A szénsav gáz ezen hatásaihoz még kedvező módon járul hozzá a nedves testszövetek felületén bekövetkező gázadszorpció, ami ott erőteljes helyi felmelegedést okoz.

A kén-hidrogén gáz a bőrön keresztül behatolhat a szervezetbe és a kiváló kén beépül annak szöveteibe. Ily módon megnövekedik a plazma fibrinogén mennyisége. A kén-hidrogén hatására fokozódik a vérben a görcsoldó, érhatású anyagok szintje is. A proteinogramm normalizálódik reumás artritiszes megbetegedéseknél. A kén hatására fokozódik a mellékvesekéreg aktivitása is.

A radon gáz fiziológiás hatásmechanizmusa csak az utóbbi években tisztázódott. F. Scheminsky (31) szerint a radon hatására fokozódik a hipofízis és a mellékvesekéreg aktivitása. A radon hatásmechanizmusa részben tehát

a neuroendokrin rendszer centrumainak a befolyásolásán keresztül jön létre, amely az egész szervezetre szabályzó hatást gyakorol és regeneratív funkciók stimulálásához vezet, miáltal a szervezet védekező folyamatait fokozza. A radon a sejtek molekuláris szintjén hat az enzim és hormon szintézisre is (32). Mindezek következtében a radonnak az egész szervezetre kiterjedő általános stimuláló hatása van.

A radon gáz következtében a barlang gázterében intenzív ionizáció jön létre, amelynek során megnövekedik a negatív ionok száma. A negatív ionoknak intenzív fiziológiás hatásuk van, amennyiben ezek csökkentik a vérnyomást, a vér pH-ját növelik és az idegrendszerre megnyugtatóan hatnak (25). A bőr felületére lecsapódott rövid felezési idejű radon bomlástermékek teljes elbomlásukig (3–4 óra), ott egy nagy kiterjedésű területi ionizációt hoznak létre, amelynek következtében a szervezetet egy főleg negatív ionokból álló „ionköppeney“ veszi körül (27, 28).

A radon illetve bomlástermékeinek alfa- béta- ill. gammasugárzásából a szervezetre egy — a normálnál nagyobb — természetes sugárterhelés hat (15). Ennek a kisértékű sugárdózisnak fiziológiásan szintén stimuláló hatása van. Ily módon a radontartalmú gázfürdőkben egy természetes alfaterápia valósul meg (15, 33).

Amint az előzőkből is látható, a torjai Büdösbarlang gázterében igen bonyolult és több tényező együttes hatásmechanizmusából összetevődő fiziológiás hatás jön létre anélkül, hogy bármilyen orvosi vagy gyógyszeres beavatkozás történt volna. Ezekben rejlik a természetes gyógytényezőknek igen nagy fontosságuk.

Ma, amikor a modern orvostudomány igen hathatós gyógyszerekkel rendelkezik, a természetes gyógytényezők szerepe nem csökken, mivel ezek együttes alkalmazása eredményesen egészíti ki egymást. Ez a magyarázata annak, hogy jelenleg világviszonylatban is komoly érdeklődés kíséri ezt a kérdést.

A torjai Büdösbarlang még sok megoldatlan problémát rejteget és az terápiás szempontból még koránt sincs kiaknázva. A barlang előnyös gázösszetételénél és óriási hozamánál fogva lehetővé tenné Közép-Európa legnagyobb terápiás mofettájának illetve szolfatárájának a kiépítését. A barlang gázait csövezetekken igen könnyen el lehetne vezetni a barlangból egy, a közelben, megfelelő módon kialakított, kezelő helységekkel ellátott, modern gyógyterápiás intézménybe, ahol optimális körülmények között lehetne ezt a természetes „gyógykincset“ felhasználni a szenvedő betegek gyógyítására.

A jelen dolgozat célja az volt, hogy újabb adatok közzétételével felhívjuk a figyelmet a torjai Büdösbarlang értékeire és méréseinkkel hozzájáruljunk, hogy az évszázadok óta ott folyó empirikus, népi kezelésnek, exaktabb természettudományos alapjai legyenek.

IRODALOM

1. KÓNYA ÁDÁM, KOVÁCS SÁNDOR: Bálványos-fürdő és környéke. Sepsiszentgyörgy, 1970.
2. HANKÓ VILMOS: Székelyföld. Budapest, Lampel Robert (Wodianer F. és Fiai) 1896.
3. SZABÓ ENDRE: Saját megfigyelés, 1961.
4. KOZMA GYÖRGY: Személyes közlés, 1973.

5. SZABÓ ÁRPÁD, SOÓS ILONA, SCHWARTZ ÁRPÁD, BÁNYAI JÁNOS, VÁRHELYI CSABA: Magyar Autonóm Tartományi ásványvizek és gázömlések. Akadémiai Kiadó, Bukarest, 1957.
6. ARTEMIU PRICĂJAN: Apele minerale și termale din România. Editura Tehnică, București, 1972.
7. NÁRAY—SZABÓ ISTVÁN: Szervetlen kémia I. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1956.
8. BÁNYAI JÁNOS: A magyar Autonóm Tartomány hasznosítható ásványi kincsei. Tudományos Könyvkiadó, Bukarest, 1957.
9. *Hargita megye természetes gyógytényezői*. Kiadja: Hargita megye Néptanácsa és Egészségügyi Igazgatósága. Csíkszereda, 1974.
10. ILOSVAY LAJOS: A torjai Bűdösbarlangról. K. Magy. Term. Tud. Társulat, Budapest, 1885.
11. ILOSVAY LAJOS: A torjai Bűdösbarlang levegőjének kémiai és fizikai vizsgálata. K. Magy. Term. Tud. Társulat, Budapest, 1895.
12. *Apele minerale și nămolurile terapeutice din Republica Populară Română*. Vol I. Institutul de Balneologie și Fizioterapie, București, 1961.
13. *Gasspürgerät Multi—Gas—Detector*. Modell 21/31 DBP. Drägerwerk, Lubeck.
14. SZABÓ ENDRE, BALOGH LÁSZLÓ: Az Olt — völgy néhány természetes széndioxid — feltörésének radontartalma. Orvosi Szemle, Marosvásárhely, VIII. 2. 1962.
15. SZABÓ ENDRE: Természetes sugárterhelés Románia Szocialista Köztársaság fontosabb szén-savas „gőzlőiben“. Atomtechnikai Tájékoztató, Budapest, 10, 71—76, 1967.
16. *Atommaglexikon*. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1963.
17. BALOGH LÁSZLÓ, SZABÓ ENDRE: Mérési eljárás radon-gáz mérésére Wulf f. kétszálás elektrométer segítségével. 112 sz. újítás, Marosvásárhelyi Orvosi és Gyógyszerészeti Felsőoktatási Intézet.
18. SZABÓ ENDRE: Dispozitiv cu scintilații pentru determinarea radonului. *Igiena*, București, Nr. 10, 1969.
19. SZABÓ ENDRE: Alacsony háttérű nagyérzékenységű alfaszcintillációs kamra radon és rádium mérésére. *ATOMKI Közlemények*, 1973, 15. kötet, 3 sz.
20. EGON POHL: Biophysikalische Untersuchungen über die Inkorporation der natürlich Radioaktiven Emanationen und deren Zerfallsprodukte. Wien 1965. In Kommission bei Springer—Verlag Wien—New-York.
21. TSIVOGLON E. C., AYER H. E., HOLODAY D. A.: *Nucleonics* 11, 9, 40, 1953.
22. VIRÁGH ELEMÉR: Laboratóriumok levegőjében lévő radontartalom meghatározása a bomlástermékek alfasugárzásának mérése alapján. *Orvos és Technika*, Budapest. VI, 3, 1968.
23. ELEMÉR VIRÁGH, ALADÁR URBÁN: Radon—concentration measurements in caves of Budapest. II I.R.P.A. Congress, Brighton 1970.
24. TARJÁN IMRE: Fizika orvosok és biológusok számára. *Medicina*, Budapest, 1971.
25. A. A. MINH: Ionizáció vozduhá i je gighieniceszkájá znácsenie. *Medicsinszkij Literaturá*. Moszkva, 1963.
26. BALOGH LÁSZLÓ, SZABÓ ENDRE: Adaptarea unui dispozitiv la electrometrul bifilar Wulf pentru dozarea radonului în scopul determinării consecutive a aeroionilor mici și mijlocii. *Inovație*, Institutul de Medicină și Farmacie, Tîrgu-Mureș, 1962.
27. BALOGH LÁSZLÓ, SZABÓ ENDRE: Egyes kovásznai és hargitafürdői mofetták radioaktivitásának tanulmányozása Geiger-Müller csöves számlálóval és scintillációs számlálóval. *Orvosi Szemle*, Marosvásárhely, 1961, 3, 283—288.
28. LÁSZLÓ BALOGH, ENDRE SZABÓ: L'étude de la radioactivité des certaines mofettes a l'aide de l'electrometre Wulf, du compteur Geiger-Müller et du compteur de scintillation. *Archive de l'Union Medicale Balcanique*, 1963, nr.: 5—6, 685—690.
- 28a. E. SZABÓ: Adaptarea numărătorului de particole „B-2“ pentru funcționarea unui sistem de anticoincidență cu fond redus. *Igiena*, București, 1971, Vol XX, nr.: 2.
29. B. CIURES: Személyes közlés, 1974.
30. FRIDVALDSZKY JÁNOS: *Mineralogia Magni Principatus Transilvaniae seu Metallia, Semi-Metallia, Sulphura, Salia, Lapides et Aquae conscripta*. Kolozsvár, 1767.
31. *Der thermalstollen von Badgastein — Bockstein*. „Forschungen und Foscher der Tiroler „Arzteschule“ Band V, Innsbruck, 1965.

32. I. I. GUSAROV, S. W. ANREJEW: Vorstragreihe über aktuelle Fragen der Radontherapie. Zeitschrift für Physiotherapie, 24 Jahrgang, Heft 6, Nov—dez, 1972, 473—425.
33. DIETER TAUCHERT: Aspekte der Radontherapie in der Sowjetunion. Zeitschrift für Physiotherapie, 24 Jahrgang, Jan—febr, Heft 1, 1972, 79—93.

COMPOZIȚIA CHIMICĂ ȘI RADIOACTIVITATEA NATURALĂ A EMANAȚIILOR DE GAZE DIN PEȘTERA TURIA

Rezumat

Autorii au determinat compoziția chimică precum și radioactivitatea naturală din cea mai mare emanație naturală de bioxid de carbon și hidrogen sulfurat din Europa — Peștera Turia — aflată în munții Bodocului, pe teritoriul județului Covasna.

Concentrația bioxidului de carbon este 92,46%, a azotului de 4,40%, a oxigenului 2,60% a metanului 0,44%, a gazelor inerte 0,063% și a hidrogenului sulfurat 0,037%.

Concentrația radonului este 0,702 nCi/litru iar debitul gazului este de 3 830 m³/zi, ce variază în funcție de factorii meteorologici.

Raportul concentrațiilor Rn: RaA: RaB: RaC este de 1: 0,62: 0,46: 0,20, ceea ce înseamnă că între radon și descendenții săi de scurtă durată nu există echilibru radioactiv.

Autorii au determinat și concentrația depunerilor de lungă viață a radonului pe perețele peșterii precum și compoziția chimică a stratului superior a depunerilor de sulf.

Autorii consideră că Peștera Turia la ora actuală nu este folosită în limita posibilităților pe care ea le oferă, deși este aptă pentru înființarea unui centru mare balneo-climateric.

DIE CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER NATÜRLICHEN GASEMANATIONEN AUS DER GROTTE VON TURIA

Zusammenfassung

Die Verfasser haben sowohl die chemische Zusammensetzung als auch die natürliche Radioaktivität der Emanationen von Kohlendioxyd und Schwefelwasserstoff aus der Grotte Turia bestimmt. Diese Grotte von Turia befindet sich in dem Bodoker Gebirge auf dem Gebist des Bezirkes von Covasna.

Die Konzentration des Kohlendioxydes ist 92,46%, des Stickstoffs 4,40%, des Sauerstoffs 2,60%, des Metans 0,44%, der Inhalt der Edelgase 0,063% und der Inhalt des Schwefelwasserstoffs ist 0,037%.

Die Konzentration des Radon ist 0,702 nCi/liter und die Schüttung der Gazquelle ist 3 830 m³ pro Tag, dessen Ertrag von den meteorologischen Faktoren beeinflussbar ist.

Das Verhältnis der Konzentrationen des Rn: RaA: RaB: RaC ist 1: 0,62: 0,46: 0,20, das heisst dass zwischen dem Ra und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten kein radioaktives Gleichgewicht gibt.

Die Verfasser haben die Konzentration der langlebigen Zerfallsprodukten des Radons aus den Ablagerungen der Grottewänden bestimmt. Es wurde auch die chemische Zusammensetzung der oberflächlichen Schichten der Schwefelablagerungen bestimmt.

Die Verfasser nehmen an dass die Grotte von Turia in der Gegenwart nicht seinen Möglichkeiten gemäss ausgenutzt ist obwohl sie genügend sein könnte für die Gründung eines balneoklimatischen Zentrums.

