

Gondolatok a karsztos hévízrendszerek nyomelem-tartalmának eredetéről

†MARTON Lajos

About the origin of microelement-content in karst thermal water systems

Abstract

When the view of plate tectonics, which gave the geology the status of a modern natural science, became general it affected the terrestrial hydrogeology as well and also caused the change of view in the Hungarian hydrogeological literature. This new view is represented by the book (DOBOS et al. 2012). The writers state that the microelements in the Transdanubian karst waters “are in genetic connection with the deeper part of the plates and the fluids upwelling from this direction can play a role in the composition of the karst thermal waters and in forming their temperature conditions”. The topic of this paper is the critical analysis of the above statement.

Keywords: plate tectonics, hydrogeology, microelements, continuity of basins, karst thermal water systems

Összefoglalás

A földtudományt a modern természettudomány rangjára emelő lemeztectonikai szemlélet általánossá válásának hatása elérte a terasztrikus hidrogeológiát is, és szemléletváltozást eredményezett a magyar hidrogeológiai irodalomban. Az új szemlélet DOBOS et al. (2012) munkája is tükrözi. A szerzők azt állítják, hogy a dunántúli karsztvizekben található mikroelemek „a lemezek mélyebb részeivel állhatnak genetikai összefüggésben és ebből az irányból feláramló fluidumok szerepet játszhatnak a karsztos hévizek összetételében és hőmérsékleti viszonyaik alakításában”. Ennek az állításnak kritikai elemzése képezi ennek a tanulmánynak a tárgyát.

Tárgyszavak: lemeztectonika, hidrogeológia, nyomelemek, medence-kontinuitás, karsztos hévízrendszer

Bevezetés

A múlt század hetvenes éveiben forradalmian új elmélet született a földtudományokban. A kutatások, főleg az óceánfenék egyre rendszeresebb mélyfúrásos vizsgálata bebizonyította, hogy a kőzetburok nem egységes összefüggő héj, hanem több egymás melletti, egymáshoz képest mozgó lemezből áll. Az elmélet lemeztectonika néven vált ismertté. Magyarországon WEIN (1978) munkáját tekinti a földtudomány határkönek a lemeztectonikai szemlélet általánossá válásában és elfogadottságában (HORVÁTH 2007). A lemeztectonika alapvetően kinematikai jelenség, amely a litoszféra darabokra töredezett hatalmas kőzetlemezeinek mozgásával magyarázza a szeizmikus aktivitást, a vulkanizmust, a hegyképző folyamatokat és egyéb a Földdel kapcsolatos jelenségeket. Ez az összefoglalóan geofizikai

szemléletű elmélet természetesen kihatott a földtudományok más ágaira, nevezetesen a hidrológiára, ezen belül a hidrogeológiára is.

A lemeztectonika hidrogeológiai vonatkozásai

2012 tavaszán figyelemreméltó kiadvány jelent meg a magyar hidrogeológiai irodalomban, (DOBOS et al. 2012), melynek előzménye volt SCHEUER (2011) tanulmánya a Kárpát-medence karsztos ásványvizeiről. Az új szemléletű kiadvány kitűnő példája a felszín alatti vizek mozgása korszerű bemutatásának. A nyomelemek kimutatása sok kérdésre újszerű választ ad, s hiánypótló abban a gondolati környezetben, amely a Kárpát-medence felszín alatti vizei mozgása tekintetében nehezen és nagy késéssel ismerte fel a

medence-kontinuitást. Ezen kívül a lemeztektonikai folyamatok kutatásának is jelentős dokumentuma. Viszonylag keveset tudunk még a mélységbeli áramlások dinamikájáról, amely csak interdiszciplináris szemlélettel vizsgálható, s úgy tűnik, ez az összeállítás jelentős adatmennyiséget szolgáltat a további vizsgálatokhoz.

A bevezetésben egyértelműen megfogalmazzák a mű célját, a karsztos hévízrendszerek nyomelemtartalmának átfogó vizsgálatát, a nyomelemek származásának és mennyiségének a tektonikai mozgásokkal, ezek közül is a lemeztektonikával kapcsolatos kimutatását. Konkrétan meg is fogalmazzák, hogy a mikroelemek jelenléte „a lemezek mélyebb részeivel állhatnak genetikai összefüggésben és esetleg ebből az irányból feláramló fluidumok is szerepet játszhatnak a karsztos hévizek összetételében és hőmérsékleti viszonyaik alakításában”.

Az ambiciózus célmeghatározást kitűző műben szereplő geológiai leírás azonban meg sem említi ezeket a döntő tektonikai folyamatokat, azt teljesen átengedi a hidrogeológiai tárgyalásnak, ezáltal a bevezetésben ígért mérész koncepció megkerültnek látszik. A terület geológiai leírása más szempontokat tart fontosnak kiemelni, s elkápráztat a rengeteg új elnevezéssel, amely ilyen töménységben talán túl részletes is, mások számára viszont kitűnő forrásanyag lehet.

A terjedelmesnek nem mondható könyv tartalma egyértelműen kínálja az összehasonlítás lehetőségét más területek, esetleg nem is mély vízáradóknak vizsgált nyomelemeivel. Az egyik választott összehasonlításban elsősorban fiatal alpi vizek szerepelnek, ebben a véleményezett műben viszont túlnyomóan hosszabb tartózkodási idejű, mélyebb áramlási pályákon mozgó vizekről van szó, amelyeknek felszínhez közelebbi áramlási pályái is vannak, és mindenképpen a karsztvíz-kontinuitás meggyőző bemutatását jelentik.

A hidraulikai kontinuitás lenyűgöző bizonyítéka a Tatán nagy bőséggel feltörő 18-22 °C-os szubtermális hévizek szinte folyóként megnyilvánuló feláramlása, továbbá a számtalan helyen feláramló karsztvizek bősége, többek között a Duna vonalában. A szerzők által leírtak szerint a terület összes vize kivétel nélkül *calcium-magnézium-hidrogén-karbonátos* jellegű, esetenként *kloridos, szulfátos* kifejlődéssel. A Na hiánya vagy alacsony szintje azt mutatja, hogy döntően nem kerültek kapcsolatba agyagásvány-tartalmú kőzetekkel.

Könyvünk szerzői a vizsgálati eredmények alapján két nagy csoportba sorolták adataikat: *vezető nyomelemek* és *másodlagos nyomelemek* csoportjába. Az előbbieket kiugróan nagy vagy jelentős mennyiségben fordulnak elő a karsztos hévizekben. A vezető nyomelemeket további altípusokba sorolták: *Domináns vezető nyomelemek*: stroncium, fluor és a bór. E három elem mennyisége 86,1%-át teszi ki az összes vezető nyomelemeknek. A domináns elemeken belül a *stronciumé* a vezető szerep 47,9%-kal, a *fluor* 39,1%-kal, a *bór* 13%-kal szerepel. *Kísérő vezető nyomelemek*: lítium, bárium, bróm, jód, rubídium és cézium.

Összehasonlító nyomelemvizsgálatok

Egy jelentős adatmennyiséget tartalmazó összeállítás szinte kínálja az összehasonlítást más vízáradó nyomelem-koncentrációjával. Első összehasonlításként nézzük meg, mit találunk egy átfogó kutatási jelentésben, amely az *alpi övezet* felszín alatti vizeinek összetételéről tájékoztat (KILCHMANN et al. 2004). A Lausanne-i Svövetségi Technológiai Intézet (Svájc) Műszaki és Környezetföldtani Laboratóriumában több mint 20 éven át vizsgálták az alpi övezet fiatal felszín alatti vizeinek kémiai összetételét különböző litológiai környezetben, különös tekintettel a nyomelemtartalomra. Ennek során több mint 500 forrás és kút vizét vizsgálták, és összesen 1824 vízelemzést végeztek, amelyből 1674 elemzést minőségi ellenőrzésnek vetettek alá. A felmérés tehát reprezentatívnek tekinthető.

Elsősor az *alpi karbonátos és az ÉK-Dunántúl mészkő-dolomit egyes vízáradóknak nyomelemeit hasonlítjuk össze az I. táblázatban*, ez természetesen erősen szubjektív alapon történt, több más összehasonlítás lehetséges. Ahol a hazai nyomelemek lényegesen meghaladják az alpi medián és maximum értékeket, vastagított számokkal jeleztem.

KILCHMANN et al. (2004): (p. 645) a „Springs in Carbonate Rocks“ fejezetben a különböző diagenetikai folyamatokon és metamorfózison átment vízgyűjtő területeken, a Jura hegység (Franciaország, Svájc), a svájci Alpok, az Appenninek (Olaszország), a Dinaridák (Szlovénia) és a Hellenidák (Görögország) karbonátos kőzeteinek forrásait vizsgálták. A vízgyűjtő területek kőzeteinek kora a devontól az eocénig terjed.

A KILCHMANN-féle jelentésben szereplő karbonátos kőzetek felszín alatti vizeit 161 és 547 mg/L értékek közötti összes szilárd alkotórész (TDS) jellemzi. Az alacsonyabb tengerszint feletti magasságokban megcsapolódó karsztvizek ásványosodása jóval nagyobb mértékű, mint a magasabb szinteken fakadó forrásoké. Az aquifer litológiájától függően három fő hidrokémiai fácies különböztethető meg. A tiszta mészkő vizei uralkodóan Ca-HCO₃ típusúak. A dolomitos mészkő vagy dolomit vízáradók vizei Ca-Mg-HCO₃ típusúak. Azoknak a vízáradóknak a vizei, amelyek evaporit beágyazódásokkal rendelkeznek, Ca-Mg-HCO₃-SO₄ típusúak.

A táblázatban az eredeti jelölések szerepelnek, az összehasonlíthatóság megkönnyítése érdekében.

Az alpi vizek tanulmányozása során azt a következtetést vonták le, hogy a karbonátos kőzetek felszín alatti vizei általában nagyon alacsony nyomelem-koncentrációval rendelkeznek, a kalcit nagyon korlátozott mennyiségű nyomelemt tartalmaz. A nyomelemek határozott megjelenése mint az U, Mo, As, W és Ba, bizonyítékul szolgálhat arra, hogy a vízmozgás uralkodóan a repedésekben megy végbe. Ezek a nyomelemek ugyanis uralkodóan a kőzetrepedések felületi bevonatában fordulnak elő, de nincsenek jelen (vagy csak nagyon alárendelten) a kőzetmátrixban. A megfigyelt természetes nyomelem-koncentrációk hidrotermális eredetűek, a repedésekben található ásványi fázisokból oldódnak ki. A fluorit (vagy folypát: CaF₂) tipikus (rendszerint ala-

I. táblázat. Karbonátos kőzetek felszín alatti vizeinek átlagos kémiai összetétele

Table I. Average chemical compositions of groundwaters from carbonate aquifers

Paraméter	Egység	Carbonate aquifers				Magyarország Mésző-dolomit*		
		min	med	max	n	Gellért 18	Csillaghegy 10	Esztergom 3
TDS	mg/l	160,5	345,4	547,2	87		-	-
F ⁻	µg/l	<200	<200	400	87	2600	300	680
Sr ²⁺	µg/l	10	150	1750	87	2693	470	971
Li total	µg/l	<1	<1	6	87	482	25,2	62,6
Rb total	µg/l	<0,2	0,6	7,5	87	58,3	6,12	12,0
Ba total	µg/l	<0,2	11,1	220,0	87	39,3	96,0	79,4
Al total	µg/l	<0,2	3,0	137,0	87	3,43	4,91	4,12
V total	µg/l	<0,2	0,4	1,4	87	1,5	0,05	0,35
Cr total	µg/l	<0,2	0,4	2,8	87	3,62	2,24	1,64
Mn total	µg/l	<0,2	1,1	36,9	87	13,7	160	5,61
Ni total	µg/l	<0,2	0,5	4,0	78	1,16	0,76	1,11
Cu total	µg/l	<0,2	0,3	50,8	87	69,2	1,67	1,95
Zn total	µg/l	<0,2	0,9	86,6	87	823	22,9	4,56
Mo total	µg/l	<0,2	0,3	10,7	87	0,11	3,17	1,91
Pb total	µg/l	<0,2	0,4	6,0	87	3,17	0,05	0,11
U total	µg/l	<0,2	0,3	3,1	87	0,22	0,59	0,38
Br total	µg/l	<1	3	96	87	427	41,3	63,2
I total	µg/l	<1	18	38	19	76,7	12,1	10,0
B total	µg/l	<1	8	49	87	1028	74,8	248
As total	µg/l	<0,5	<0,5	>1,4	87	7,46	139	0,77

*DOBOS et al. (2012), **KILCHMANN et al. (2004)

csony hőmérsékleten keletkezett) hidrotermális ásvány, és mivel gyors oldódási kinetikája van, feltehetően ez a fő forrása a vízben oldottnak. A stroncium az evaporit kőzetek tipikus nyomeleme, nagyobb vagy azonos koncentrációval van jelen, mint a K vagy Na. A karbonátos kőzetek gyakran tartalmaznak evaporit-rétegeket, amelyekben általában magas koncentrációban van jelen a Sr²⁺ és Li⁺, többnyire a gipsz oldódása következtében.

A II. táblázatban azok a vízádók szerepelnek, amelyekben az adott komponens a legnagyobb volt, esetenként a csapadék (precipitation) nyomelem tartalmát is bemutatva (KILCHMANN et al. 2004 nyomán), az eredeti táblázat megnevezéseinek felhasználásával.

Mivel a domináns nyomelemek között a stroncium mennyisége vezet, a továbbiakban ennek előfordulása képezi a vizsgálat tárgyát. A III. táblázatban azt tekintjük át, hogyan változik a stroncium-koncentráció a különböző közettípusú vízádókban. Mint recenzens, további összehasonlításokat is végeztem, újabb forrásmunkákat vonva be a vizsgálatba. Az ehhez felhasznált forrásmunkák a táblázat alsó sorában vannak feltüntetve. A koncentrációk ebben a táblázatban egységesen mg/L mértékegységben vannak megadva.

Végül álljon itt egy összeállítás a IV. táblázat szerint a szentesi termálvizek, az alpi karbonátos kőzetek és az ÉK-Dunántúl forrásvizeinek összehasonlításával. Egyik felmérés szerint az Alföldön a 35 °C-nál melegebb termálvizeket jól reprezentáló 370 kút vízének 65,4%-a (242 kút) nátrium-hidrogénkarbonátos. Ezek a vizek elsősorban Békés, Csongrád és Szolnok megyében, kisebb mértékben Hajdú-Bihar, Bács-Kiskun és Pest megyében található. A nátrium-hidrogénkarbonátos kloridos hévizek 40 kúttal 11 %-ot

II. táblázat. A különböző aquifer-típusok vízének kémiai összetétele

Table II. Chemical compositions of groundwaters from different aquifer types (KILCHMANN et al. 2004)

Paraméter	Egység	Koncentráció határok				A vízádó típusa	Maximális szint
		min	med	max	n		
TDS	mg/l	760,3	1782,2	2787,5	91	evaporit	-
F	mg/l	<0,2	1,1	4,0	54	gránit	MCL: 1,0 mg/l
Sr ²⁺	mg/l	1,0	8,22	17,60	91	evaporit	MCL: 4,0 mg/l
Li total	µg/l	17	20	29	4	gipsz tartalmú molasz	
Rb total	µg/l	1,5	17,4	53,3	78	evaporit	
Ba total	µg/l	2,4	26,8	333,7	96	molasz	
Ba total	µg/l	<0,2	1,9	44,0	73	csapadék	
Al total	µg/l	1,1	1,4	212,0	8	„Glimmersand” molasz	
V total	µg/l	<0,2	0,4	1,4	87	karbonát	
Cr total	µg/l	<0,2	0,8	6,9	96	molasz	
Mn total	µg/l	<0,2	0,8	374,1	96	molasz	
Mn total	µg/l	<0,2	4,0	30,0	72	csapadék	
Ni total	µg/l	<0,2	3,1	35,7	78	evaporit	
Cu total	µg/l	<0,2	0,3	50,8	87	karbonát	
Cu total	µg/l	<0,2	1,7	14,1	71	csapadék	
Zn total	µg/l	<0,2	2,1	156,2	78	evaporit	
Zn total	µg/l	1,3	18,5	85,9	64	csapadék	
Mo total	µg/l	0,2	66,9	140,4	42	gránit	
Pb total	µg/l	<0,2	0,4	6,0	87	karbonát	
Pb total	µg/l	<0,2	1,0	44,0	71	csapadék	
U total	µg/l	<0,2	135,2	2092,7	42	gránit	MCL: 30 µg/l
Br total	µg/l	<1	9	126	96	molasz	MCL: 10 µg/l
I total	µg/l	<1	18	38	19	karbonát	
B total	µg/l	<1	3	99	96	molasz	
B total	µg/l	<1	3	94	72	csapadék	
As total	µg/l	<0,5	13,8	225,2	58	gneisz	MCL: 10 µg/l

Az ivóvíz szabványokban szereplő határértékeket meghaladó koncentrációkat félkövér szedéssel jelöltem. MCL = maximum contaminant level.

Concentrations in excess of the limits in the drinking water standards were marked in bold.

MCL = maximum contaminant level.

III. táblázat. A Stroncium nyomelem-előfordulás a különböző geológiai képződményekben

Table III. Occurrences of strontium microelements in different geological formations

Vizadó	Hely (m tsz. f.)	Sr ²⁺ mg/L				TDS mg/L			
		min	med	max	n	min	med	max	n
Csapadék	Alpesi	<0,001	0,001	0,009	48				
¹ Karbonátos	Alpesi (1 1550)	0,01	0,15	1,75	87	160,5	345,4	547,2	87
¹ Gneiss	Alpesi	<0,01	0,04	0,85	63	22,25	75,20	157,7	64
² Gránit	Alpesi (570 2080)	<0,01	0,04	0,45	55	28,7	69,1	145,8	54
¹ Evaporit	Alpesi (375 2200)	1,0	8,22	17,60	91	760,3	1782,2	2787,5	91
¹ Molassz	Alpesi (340 1430)	0,01	0,215	0,996	96	48,4	418,3	714,1	96
¹ Gipsz-molassz	Alpesi	4,03	4,693	4,797	4	556,9	638,0	674,4	8
¹ Flis	Alpesi (650-1950)	0,111	0,368	3,114	53	159,7	267,1	458,8	53
² Karbonátos	ÉK-Dunántúl	0,456	1,975	3,624	29				
¹ Felső-pannóniai homok	Szentesi termál	0,096	0,135	0,398	felső-pannóniai termálvíz				
¹ Horvát karszt	Toplice, fürdő			0,604	termális karsztvíz		542		
¹ Karsztos kőzet	Baden bei Wien			6,408	termális karsztvíz		1617		
² Karsztos kőzet	Dudince (Gyógy)			9,923	termális szénsavas víz		5470		
¹ Karsztos kőzet	Szécsfürdő			11,582	szénsavas gipszes víz		3550		
² Karsztos kőzet	Bánpatak			0,663	szénsavas ásványvíz		1950		
² Kristályos karbonátos	Borszék K-forrás			1,272	szénsavas ásványvíz		5410		

¹KILCHMANN et al. (2004), ²DOBOS-SCHEUER-KELE (2012), ³SCHUEER (2011), ⁴VARSA NYI (2003)

A négy mérés közötti feltűnően nagy eltéréseket dőlt szedéssel jelöltem.

Extreme large differences between the four measurements were marked italic.

képviselnek, széles területi eloszlásban, míg a nátrium-kloridos, hidrogén-karbonátos alcsoportba tartozó hévizek 30 kúttal 8%-ot tesznek ki. A nátrium-kloridos vizeket 13 hévízkút (3,5%) képviseli (MARTON 2009).

Véleményalkotási kísérlet a nyomelemek eredetéről

Miután hazánkban a múlt században „évtizedekig meddő vita folyt a hévizek juvenilis-, profundus-, kompakciós, sőt vulkáni eredetéről” (ALFÖLDI et al. 1975), mára a csapadék-eredet egyértelmű elfogadást nyert, sőt az áramlási rendszerek működése is tisztázódott. A felszín alatti vizeink kémiai alkotórészeinek, ezen belül a nyomelemek eredetének kérdésében azonban még ma is vannak, sőt most jelennek meg igazából a megválaszolendő feladatok.

Mint az előbbieken láttuk, az alpi vizeket tanulmányo-

zó szerzők azt a következtetést vonták le, hogy a karbonátos kőzetek felszín alatti vizei általában nagyon alacsony nyomelem-koncentrációval rendelkeznek, a kalcit nagyon korlátozott mennyiségű nyomelemet tartalmaz. Az olyan nyomelemek határozott megjelenése mint az U, Mo, As, W és Ba, bizonyítékkal szolgálhat arra, hogy a vízmozgás uralkodóan a repedésekben megy végbe. Ezek a nyomelemek ugyanis döntően a kőzetrepedések felületi bevonatóban fordulnak elő, de nincsenek jelen (vagy csak nagyon alárendelten) a kőzetmátrixban.

A tárgyalt könyv fő mondanivalója — a hatalmas ismeretanyag bemutatása mellett — annak a kimutatására irányul, hogy a magas nyomelem-koncentrációk mértéke elsősorban a lemeztektonikai tevékenység működésének eredménye lehet. Ez elegáns és nagyívű magyarázata a jelenségnek, amelynek lényege az, hogy a lemeztektonikához kapcsolódó folyamatok eredményezték azt, hogy kialakulhatott a triász dolomitokból és mészkövekből álló

IV. táblázat. Nyomelem koncentrációk VARSA NYI I. (2003), S. KILCHMANN et al. (2004) és DOBOS I. et al. (2012) nyomán

Table IV. Microelement concentrations - based on VARSA NYI I. (2003), S. KILCHMANN et al. (2004) és DOBOS I. et al. (2012)

		As	Ba	Li	Sr	B	Mn	Zn	Rb	Mo	Pb
		µg/l									
Szentesi termálvizek	min	1,89	81,04	48,02	95,53	255,0	3,14	0,00	8,60	0,30	0,30
	med	5,92	144,23	65,78	134,97	395,0	8,10	0,00	11,2	0,8	0,5
	max	40,00	320,05	130,04	397,90	1994,0	14,70	23,20	23,8	3,2	5,2
Alpi mészkő vizadók	min	<0,5	<0,2	<1	10	<1	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
	max	<0,5	11,1	<1	150	8,0	1,1	0,9	0,6	0,3	0,4
ÉK-Dunántúli karszt	min	>1,4	220,0	6,0	1750	49,0	36,9	86,6	7,5	10,7	6,0
	med	0,21	38,9	22,1	456	73,5	0,1	0,36	4,45	0,05	0,03
	max	1,45	76,2	166	1975	759	7,21	4,56	33,0	0,23	0,12
		21,0	198	618	3624	1359	160	52,7	68,5	5,12	3,17

karsztos-hévíz hidrodinamikai rendszer egy folyton megújuló vízkörforgalommal, le- és feláramlási pályákkal, amelynek (feltehetően) járulékos mélységbeli nyomelemforrásai is vannak (DOBOS et al. 2012).

Azt már legalább ötven éve tudjuk, hogy a Pannon-medence felszín alatti vizeinek mozgása áramlási rendszerekben történik, leáramlási és feláramlási zónákkal s ennek fő hajtóereje a gravitáció. Újabban azt is tudjuk, hogy a medence mélyebb tartományaiban tektonikai kompressziós hatások uralkodnak, s az ott található vizek feszített állapotban vannak, ennek következtében felfelé igyekeznek mozogni, amiből az következik, hogy ezek a mélységbeli vizek a felszínről nem pótlódhatnak (TÓTH & ALMÁSI 2001). A jelenleg méltatott könyvben bemutatott áramlási rendszer regionálisan nyitott, leáramlási és feláramlási zónákkal rendelkezik, és a gravitáció működteti. A lemezttektonikai folyamatok hatását a szerzők főként a törések és járatok kialakításában látják. Amíg az alpi régiókban megfigyelt természetes nyomelem-koncentrációk olyan értelemben minősülnek hidrotermális eredetűeknek, hogy a kőzetrepedésekben található ásványi fázisokból oldódnak ki, a könyv szerzői ezen túlmenő eredetet is vélelmeznek. Arra a következtetésre jutottak, hogy a ma is aktív törések mentén, mint nagymélységű áramlási pályák mentén jelenleg is *köpeny-eredetű* gáz és fluidum feláramlások mehetnek végbe, s ez a folyamat döntően gazdagítja nyomelemekben a rendszer hévizeinek minőségét.

A fenti fogalmazásban közölt — a dolgozatban részletesen tárgyalt lemezttektonikai folyamatokkal alátámasztott — fluidum-feláramlás koncepciója nagyon hasonlít egy 110 évvel ezelőtt nyilvánosságra hozott és nagy figyelmet keltett tudományos elmélethez. Eduard SUESS osztrák geológus 1902-ben a természetkutatók és orvosok konferenciáján Karlsbadban ismertette a juvenilis vizekre vonatkozó elméletét. Ezt a nevet adta annak a víznek, amely a magmából származó oxigénből és hidrogénből keletkezik, gőz formában érkezik a forrásokból és vulkánokból, és belép a vízkörforgásba. Később maga korrigálta elméletét, amennyiben a vízgőzt nem tekinti juvenilisnek, csak a hidrogént származtatja a magmából, amely a légkör oxigénjével keveredve alkotja a juvenilis vizet. A juvenilis vizek létezését a tudomány ma elismeri, de tiszta eredetében nem tudja tanulmányozni, mert a többi vízzel együtt, keverékvízként kerül be a vízkörforgásba. A magmából történő juvenilis víz és gáz feláramlásának színhelyei elsősorban az óceánok (PINNEKER 1983, ENDERSBEE 2005), ahol a kéreg vastagság csak 5–10 km, szemben a kontinensek 30–35 km-es átlagával.

Visszatérve a véleményezett műhöz, nevezetesen a köpeny-eredetű gáz- és fluidum-feláramlások kérdéséhez, el kell ismerni, hogy ez is egy vélelmezhető koncepció, egy erősen valószínűsíthető feltételezés, azonban csak feltételezés, mert bizonyítása hiányzik. A III. táblázatban látható, hogy az alpi övezet legmagasabb stroncium-koncentrációi az evaporit kőzetekben 375–2200 m tengerszint felett fakadó forrásvizekben található, s még medián-értékei is jóval nagyobbak a hazai maximumnál, de a szerzők egyértelműen a hidrotermális telérekből

történő kioldódásból származtatják, meg sem említik más származási lehetőséget.

A III. táblázatban láthatjuk, hogy a stroncium mértékét tekintve a horvát Stubica fürdő (Toplice) és az osztrák Baden bei Wien vizének koncentrációi hasonlítanak a Dunántúli-középhegység vizeihez, még a TDS tekintetében is. Különösen nagy TDS értékkel és magas Sr-koncentrációval szerepelnek Szlovákia szénsavas karsztos ásványvizei: Gyügy (Dudince) és Szliácsfürdő (Sliache Kupele), az utóbbi egyben gipszes víz is. Gyügy esetében igen magas még a lítium (3,22 mg/l) és bór (6,85 mg/l) koncentrációja is. A szénsav eredetét a szerző a mélyben zajló lemezttektonikai folyamatokkal hozza kapcsolatba, bár megjegyzi, hogy felmerült még egyéb magas karbonát-tartalmú kőzetek termikus bomlásából származó eredet is (SCHEUER 2011). A földrengési adatok azt jelzik, hogy a források környezetében 10 km-nél mélyebbre lehatoló aktív törések is vannak és ezek mentén feláramló fluidumok és gázok juthatnak a vízbe. SCHEUER (2011, p. 35) táblázata szerint az erdélyi Bánpatak és a borszéki Kossuth-forrás szénsavas karsztos ásványvizei magas Ca^{2+} , Mg^{2+} és HCO_3^- -koncentrációval tűnnek ki, ami a

$$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_{2(s)} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + 4\text{HCO}_3^-$$

reakcióból következik (KILCHMANN et al. 2004).

Következtetések

A magmás eredetű hidrotermális telérekből történő nyomelem-kioldódás bizonyítható, amelyet a KILCHMANN-féle (2004) mérések is alátámasztanak, de a köpenyből történő ma is aktív fluidum-feláramlásra nincsenek hiteles bizonyítékok. A dolgozatban jelzett 11–17 km-es földrengés-kipattanási mélység sem bizonyíték, mivel a kéreg vastagsága ezen a helyen ennél nagyobb. A Pannon-medence legvékonyabb kérgé a Békési-süllyedékben található, ahol vastagsága 20–22 km-re tehető. A lemezttektonikai mozgások következtében természetesen kialakulhattak feláramlási pályák a vizsgált terület kőzeteiben. Ezt alátámasztják a vizsgált területen tapasztalt — itt nem tárgyalt, de ismert — recens kéregmozgások.

Egy másik dolgozat szerzője (ERŐSS 2010) szerint: „A medenceeredetű fluidumok valószínűleg komplex kőzet-víz kölcsönhatás eredményeképpen, TÓTH & ALMÁSI (2001), valamint BADA et al. (2006) szerint a kompresszió következményeként fellépő túlnyomás segítségével kerülnek a rendszerbe”. Tehát a tektonikai kompresszió hatásának és nem a magmatikus fluidum-feláramlásnak vélelmezi. Természetesen ez is csak vélelem és nem bizonyított folyamat.

DOTSÍKA et al. (2010) a bór (B) nyomelem eredetére vonatkozóan hasonló véleménnyel vannak, mint a mi könyvünk szerzői, bár ezt óvatosabban teszik. Szerintük Közép-Macedóniában a karsztvízben mért igen magas 6,45 mg/l bór koncentráció geotermális eredetre, mély cirkulációra és vulkáni kőzetek kapcsolatára utal.

A témához kapcsolódóan érdekes lehet FÓRIZS et al. (2008) véleménye: „A budapesti termál-karsztvíz rendszer esetében többé-kevésbé ismert a karbonátos kőzetek $\delta^{13}\text{C}$ értéke, azonban vita tárgya, hogy honnan származik a többlet szén-dioxid. Az előadásunkban bemutatott izotóp-geokémiai módszerrel számolva, a budapesti termálvizekhez keveredő CO_2 gáz $\delta^{13}\text{C}$ értéke +3 [‰]VPDB körüli. Ez az érték kizárja az utóvulkáni eredetet és a mélyebb karbonátos kőzetek metamorfózisa során felszabaduló szén-

dioxidra utal. A budapesti termálkarszt-rendszer vizeinek kormeghatározásánál a +3 [‰]VPDB értéket használjuk a stabil szénizotópos korrekciónál”.

A szerzők által tett megállapítások, miszerint a mikroelemek jelenléte a lemezek mélyebb részeivel állhatnak genetikai összefüggésben, új szemléletű feltételezések, és munkahipotézisként elfogadhatók. Szerepüket növeli, hogy elsőként jelentek meg a hazai terasztrikus hidrogeológiai irodalomban.

Irodalom — References

- ALFÖLDI L., BÖCKER T. & LORBERER Á. 1977: Magyarország karbonátos-repedezett hévíztárolóinak hidrogeológiai jellemzői — In: *Magyarország hévízkútjai III.* Budapest, 17–25.
- BADA G. & HORVÁTH F. 1998: A Pannon-medence jelenkori tektonikája.— *Természet Világa* **127/II.** különszám, 18–23.
- BADA, G., HORVÁTH, F., DÖVÉNYI, P., SZAFIÁN, P., WINDHOFFER, G. & CLOETINGH, S. 2006: Present-day stress field and tectonic inversion in the Pannonian basin.— *Global and Planetary Change* **58/1–4**, 165–180.
- CSÁSZÁR G. & HAAS J. 1974: Irodalmi áttekintés a lemezteknikai elmélet mai helyzetéről. — *Földtani Kutatás* **17/3**, 41–56.
- DOBOS I., SCHEUER GY. & KELE S. 2012: *A Dunántúli-középhegység északkeleti szárnyán kialakult karsztos hévízrendszer nyomelem adottságai.*— MHT, FTV Zrt., Budapest, 84 p.
- DOTSICA, E., POUTOUKIS, D., KLOPPMANN, W., GUERROT, C., VOUTSA, D. & KOUIMTZIS T. H. 2010: The use of O, H, B, Sr and S isotopes for tracing the origin of dissolved boron in groundwater in Central Macedonia, Greece.— *Applied Geochemistry* **25**, 1783–1796.
- ENDERSBEE, L. 2005: *A Voyage of Discovery: A history of Ideas about the earth, with a new understanding of the global resources of water and petroleum, and problems of climate change.*— Monash University Library, self-published, Melbourne, 264 p.
- ERŐSS A. 2010: *A Budai termálkarszt fluidumainak vizsgálata a Rózsadomb és a Gellért-hegy környezetében, különös tekintettel a karsztfejlődésben betöltött szerepükre.* — Tézisfüzet, ELTE, Budapest, 11 p.
- FÓRIZS I., DEÁK J., MÜLLER P & TÓTH GY. 2008: *A többlet-szén-dioxid eredete a budapesti termál-karsztvíz rendszerben.* — Elektronikus dokumentum, Fava.hu/balatonfured2008/eloadasok/elozetes/forizs.pdf
- HORVÁTH F. 2007: *A Pannon-medence geodinamikája. Eszmetörténeti tanulmány és geofizikai szintézis.* — Akadémiai doktori értekezés tézisei. ELTE Földrajz- és Földtudományi Intézet.
- KILCHMANN, S., WABER, H. N., PARRIAUX, A. & BENSIMON, M. 2004: Natural tracers in recent groundwaters from different Alpine aquifers. — *Hydrogeology Journal* **12/6**, 643–661.
- MARTON L. 2009: *Alkalmazott hidrogeológia.* — ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 626 p.
- PINNEKER, E. V. (ed.) 1983: *General hydrogeology.* — Cambridge University Press, 141 p.
- SCHEUER GY. 2011: Az aktív lemezteknikai folyamatok hatása a Kárpát-medence körüli karsztos ásványvizekre. — *Hidrologiai Közöny* **91/2**, 33–42.
- TÓTH J. & ALMÁSI I. 2001: Interpretation of observed fluid potential patterns in a deep sedimentary basin under tectonic compression: Hungarian Great Plain, Pannonian Basin.— *Geofluids* **1/1**, 11–36.
- VARSÁNYI I. 2003: A nagy mélységű termálvizek eredete Hódmezővásárhely térségében vízkémiai és izotóp elemzések alapján. — *Kézirat*, Szegedi Tudományegyetem.
- WEIN GY. 1978: A Kárpátmedence kialakulásának vázlata. — *Általános Földtani Szemle* **11**, 5–34.

Kézirat beérkezett: 2012. 08. 27.

Főszerkesztői megjegyzés

Marton Lajos cikke két, a közelmúltban megjelent kiadványra reagálva, mutat be saját eredményeket. Műfaját tekintve így nehéz eldönteni, hogy szakcikként vagy könyvismertetőként kezeljük. Tekintve a lektorok pozitív véleményét, s azt, hogy a Szerző időközben elhunyt, így a cikk további módosítására nincs lehetőség, a szakcikkek sorában történő megjelentetés mellett döntöttünk.

CSÁSZÁR Géza