

Marton Lajos\* , Mikó Lajos\*\*

1. A környezeti izotópok a hidrogeológiában

Az izotóptechnika hidrológiai alkalmazásának 30 éve rendkívül gyors fejlődési utat mutat. Az első időkben egyszerűbb feladatok megoldására - úgymint a folyók vízsebességének meghatározására, majd a talajvíz mozgásának és a gátakon való vízátzivárgás helyének és mértékének kimutatására - alkalmaztak fúrásokba injektált nyomjelző izotópokat. Ezek a módszerek azóta továbbfejlődtek, rutin-eljárásokká alakultak.

Az igazi újat, a nagy lehetőséget azonban a környezeti izotópok változási törvényszerűségeinek felismerése, a módszer és technika kialakítása jelentette. A "környezeti izotópok" alatt a természetes vizekben és a légkörben (vízpárában, csapadékban, felszíni és felszín alatti vizekben) levő stabil és radioaktív izotópokat értjük, amelyeknek eloszlása, földrajzi hely- és hőmérséklet-függése, különböző fizikai hatásokra végbemenő frakcionálódása lehetővé teszi a vizek körforgalmának meghatározását - egy teljesen új módszert és technikát adva a kutatók kezébe.

Jelenleg a legáltalánosabban vizsgált környezeti izotópok a deutérium és az oxigén-18 stabil, valamint a trícium és a  $^{14}\text{C}$  radioaktív izotópok. Az első három izotóp a vízmolekula alkotórésze, ezért szinte ideális nyomjelzői a víznek.

\* Keletmagyarországi Tervező Vállalat, Debrecen

\*\* MÁFI, Keletmagyarországi Területi Földtani Szolgálat, Debrecen

Az új módszer szükségessé tette a csapadékok trícium, oxigén-18 és deutérium tartalma időbeli és térbeli változásainak tanulmányozását. Így egy világméretű mintavevő állomáshálózat és ehhez kapcsolódó laboratóriumi hálózat alakult ki.

Az idők folyamán a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség - az atomenergia békés hasznosítására létrehozott szervezetként - az izotóphidrológia fejlesztésének is fő központja lett. Az Ügynökség segítségével 17 hidrológiai célú izotóplaboratórium létesült a világon - sajnos, Magyarországon nem - s a személyzet is az intézmény központjában, Bécsben kapott kiképzést.

Jelenleg más radioaktív izotópokkal is folynak vizsgálatok szerte a világon, így a  $^{36}\text{Cl}$ ,  $^{39}\text{Ar}$  és  $^{32}\text{Si}$  alkalmazására történnek eredményes kísérletek. Egyelőre azonban továbbra is a  $^{14}\text{C}$ -es technikát tekintjük a legalkalmasabb rutin hidrogeológiai módszernek, jóllehet alkalmazási lehetőségei nem korlátlanok.

## 2. A stabil-izotópok

A vízmolekula alkotórészét képező  $^{18}\text{O}$  és  $^2\text{H}$  (deutérium) megoszlása, arányainak változása elsősorban a vizek származásáról, eredetének körülményeiről ad lényeges információkat. A víz fázisátalakulása (párolgás, kondenzáció, fagyás) izotópeffektust von maga után, melynek nagysága jellemző a folyamat körülményeire.

A laboratóriumokban a vizeknek egy standard óceáni vízmintához viszonyított relatív  $\delta\text{D}\%$  és  $\delta^{18}\text{O}\%$  értékeit szokták meghatározni.

A  $\delta\text{D}$  és  $\delta^{18}\text{O}$  közötti összefüggések jól ismertek. Általában a

$$\delta\text{D} = X \delta^{18}\text{O} + d, \quad (1)$$

összefüggést használjuk, ahol  $X = 8,0$ ;  $d_0$  az ún. deutériumhiány, ami pl. Európára 10 % körüli érték. A  $d_0$  a fázisátalakuláskor fellépő kinetikus hatást mutatja. Kapcsolat található a  $\delta D$  és a  $\delta^{18}O$  értékek és a kondenzációs hőmérséklet között is, amint azt számos jól ismert publikáció tárgyalja.

Általános tapasztalat, hogy a laboratóriumok sokkal szívesebben végeznek  $\delta^{18}O$  méréseket, mint deutérium meghatározásokat s a  $\delta D$  értékeket esetenként a  $\delta^{18}O$ -ból számítják ki. A hidrogeológiai gyakorlatban ez az eljárás megengedhetetlen, mert értelmezési hibákhoz vezethet. A következőkben ennek indoklását ismertetjük.

Az egyik indok az ún. oxigén-18 eltolódás jelenségének fellépése a termálvizeknél. Azt tapasztalták, hogy izotópcserél lép fel a vízben levő oxigén és a tárolókőzet oxigén-atomjai között, s ez a hatás az idő és a hőmérséklet függvénye. A hatás  $100^\circ C$  alatt még viszonylag nem nagy, e felett azonban már jelentős lehet. Az oxigén-eltolódás úgy jelentkezik, hogy pl. az eredeti  $\delta^{18}O = -10\%$  helyett  $-5\%$ , kevésbé negatív értékeket kapunk, sőt a deviáció pozitív előjelűvé is válhat.

Magyarországon a közelmúltban több bedúsult koncentrációjú oxigén-18 értékeket mértünk, pl.  $\delta^{18}O = -0,1\%$ -et és  $\delta^{18}O = -1,4\%$ -et Dévaványán 2370 m és 2450 m mélységből miocén konglomerátumból vett mintákban. Miután azonban a hazai laboratórium nem tudta megmérni a  $\delta D$  értékeket, jelenleg még nem tudjuk értékelhető adatoknak tekinteni ezeket. (A minták mérése külföldi laboratóriumban folyamatban van.) A stabil izotóp-arányokból meleg vizeknél többnyire csak a  $\delta D - \delta^{18}O$  adatpárok adnak értékelhető információkat.

A másik ok, amiért el kell kerülni a  $\delta D$ -nek a  $\delta^{18}O$ -ból való átszámítását az, hogy maga a  $\delta D$  és  $\delta^{18}O$  összefüggés időben és térben nem állandó. Az (1) összefüggés a geológiai korok folyamán nem volt mindig egyazon nagyságú. Az utolsó jégkorszak

ki maximum idején, kb. 18 000 évvel ezelőtt az óceán  $^{18}\text{O}$ -ban mintegy 1,1 - 1,4 ‰-kel bedúsult. Az ennek megfelelő  $\delta D$  eltolódás ma már nem határozható meg, de kb. 10 ‰-ra becsülhető. Ezért az idők folyamán a  $d_0$  nagysága is változik.

Feltételezhető, hogy az (1) egyenlet a Pleisztocénban más volt, mint jelenleg. Kimutatták [1], hogy amíg a postglaciális csapadékokra az (1) összefüggés, a glaciális csapadékokra a

$$\delta D = 7,9 \delta^{18}\text{O} \quad (2a)$$

alkalmazása célszerű. Ennek kerekített formája a

$$\delta D = 8 \delta^{18}\text{O} \quad (2b)$$

összefüggés.

Jelen interglaciálisunk kb. 10 000 évvel ezelőtt kezdődött. Ezért az ennél idősebb vizek esetében a (2b) összefüggés alkalmazása célszerű.

A  $d_0$  érték lényegében független a párolgási hely hőmérsékletétől, de lineárisan csökken a hely relatív páratartalmának növekedésével. A  $d_0 = 0$  érték megfelelhet egy kb. 100 ‰-os relatív páratartalmú óceáni nedvességnek. A kontinentális jégtakaró növekedése szintén hatással lehetett a  $\delta D - \delta^{18}\text{O}$  összefüggésre annak következtében, hogy mind a deutérium, mind az oxigén-18 bedúsult a tengervízben.

Fentiek miatt kerülni kell a  $\delta D$  értékeknek a  $\delta^{18}\text{O}$ -ból történő kiszámítását, mert egyrészt valójában nem jelent újabb adatot, másrészt még félrevezető is lehet.

Ha a két stabil izotóp közül valamely oknál fogva csak egyiket választhatnánk, akkor feltétlenül a  $\delta D$  értéket kellene választani. Ennek magyarázata az előbbieken említetteken túl a következő.

Matematikai statisztikai elemzéssel arra a következtetésre lehetett jutni [2], hogy az izotóp és az öt hordozó víz keletkezése, kicsapódása idején uralkodó átlagos hőmérséklet kapcsolatában a deutérium "pontosabban mérhető"-nek, az oxigén-18 "kevésbé pontosan mérhetőnek" minősíthető, mint a kondenzációs hőmérséklet. Logikailag belátható, hogy ha csak a két izotópot nézzük, akkor a deutérium pontosabban meghatározhatónak tűnik, mint az  $^{18}\text{O}$  izotóp. Ez nem a tényleges mérési pontosságot minősíti, mert az relatíve mindkettőnél lényegében ugyanaz. ( $\delta\text{D}$ -nél 2‰,  $\delta^{18}\text{O}$ -nál 0,2‰ a meghatározás pontossága). Az előbbi állítás az izotópok viselkedésének tendenciáit, a folyamat belső tulajdonságait fejezi ki.

### 3. Stabil izotópok a termálvíz kutatásban

Egyik különlegesen érdekes és fontos alkalmazási terület a termálvizek kutatása. Az izotópos vizsgálatok hosszú évekig tartó szakmai vitára tettek pontot, amikor a világ összes nagy termálvíz-medencéjéről kimutatták, hogy vizeik csapadékeredetűek, a felszínről jutottak be a tároló kőzetbe.

A csapadékvizek stabil izotóptartalma igen nagy szórást mutat, a szerint, hogy milyen éghajlati körülmények között keletkeztek, s milyen a hely földrajzi elhelyezkedése. Megállapították, hogy a H/D viszonyszám minden esetben pontosan ugyanaz volt, mint a csapadékvizekben, az  $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$  értékek azonban "eltolódtak" az előzőekben említett izotópcseré miatt [3].

Nincsen azonban kizárva az a lehetőség, hogy a termálvizekben létezhetnek vulkáni tevékenységből származó oldott komponensek, melyek a csapadékeredetű víztestekbe injektálhattak, mivel a nagysűrűségű gőz nagy mennyiségű oldott sókat tartalmazhat.

Munkahipotézisként általánosan elfogadott, hogy a víz hid-

rogénje változatlan marad a talajban (kőzetben) s ennek eddig még egyetlen megfigyelés sem mondott ellent [4].

Figyelmet érdemel a termálvizek mintavételi technikája. A mintavétel gyakran nehézségekbe ütközik, sőt esetenként nem is lehet az eredeti izotóptartalommal rendelkező mintát venni. Természetes melegvízű forrásokból vagy nyitott fúrólukkból, ahol a víz alaphőmérséklete  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  felett van, s amely ezért egy olyan keveréket szállít, amely  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os 1 at nyomású vízből és gőzből áll, csak vízfázisú mintát lehet gyűjteni. Az ilyen víz már deutériumban és oxigén-18-ban bedúsult a párolgás (gőzképződés) következtében. A lehetséges legnagyobb frakcionálódás a két fázis között akkor lép fel, ha egyensúlyi viszonyok jönnek létre a gőz és a víz között a felszínen. Nem egyensúlyi viszonyok mellett kisebb a különbség az izotóparányok változásában.

Az eredeti izotóptartalmat a következőképpen számíthatjuk [4]:

$$\delta D_o = \delta D_L - 4,63 \left( \frac{t_o}{100} - 1 \right), \quad (3)$$

$$\delta^{18}O_o = \delta^{18}O_L - 0,975 \left( \frac{t_o}{100} - 1 \right), \quad (4)$$

ahol  $\delta D_L$  és  $\delta^{18}O_L$  a kifolyó víz deutérium és oxigén-18 tartalma

$t_o$  az alaphőmérséklet a tárolóban,  $^{\circ}\text{C}$

Pl. a Dévaványa-12 szénhidrogénkutató fúrás kifolyó vizéből vett mintánk izotóptartalmát  $\delta^{18}O_L = -0,1\%$ -nek határozták meg. A kút felszállva 2 " átmérőjű csövön  $486\text{ m}^3/\text{d}$   $14,65\text{ g/l}$  állandó sótartalmú gázos sósvizet termelt, a réteghőmérséklet 2400 m-en  $142\text{ }^{\circ}\text{C}$  volt. A számított korrigált érték a (4) szerint:  $\delta^{18}O_o = -0,1 - 1,38 = -1,48\%$ . (Mivel azonban a kifolyó víz hőmérséklete  $85\text{ }^{\circ}\text{C}$  volt, a számítás pedig  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  felvételével történt, a helyes korrekció kisebb mértékben eltérhet a számított értéktől.)

#### 4. Radioaktív izotópok

A trícium-eloszlás szakirodalma megszámlálhatatlan cikket tartalmaz. Az 1950-es és 1960-as évek elején a nukleáris-bomba kísérletek nagymennyiségű tríciumot juttattak a légkörbe (sajnos nem csupán a troposzférába, hanem a sztratoszférába is injektálták), amelynek révén a csapadékkal ún. bomba-trícium jut be a vizekbe. Ezek eredményeként, ha egy felszín alatti vízből vett mintában jelentősebb mennyiségű tríciumot találunk, biztos, hogy az a víz az utóbbi 2-3 évtizedben jutott a tároló kőzetbe.

A trícium koncentrációk nagymértékű megnövekedése kiváló nyomjelzési lehetőséget adott a fiatal korú vizek mozgásának tanulmányozására.

A vizek  $^{14}\text{C}$ -es kormeghatározása jóval bonyolultabb feladat, mint a régészeti kormeghatározás. A szén nem alkotó része a vízmolekulának, hanem a vízben oldott szervesanyagokban jelenik meg. A víz körforgása közben bekövetkező geokémiai változások során a hidrokarbonát ionok kölcsönhatásba lépnek a tároló kőzettel s általában hígítani igyekeznek a radioaktív  $^{14}\text{C}$ -et, aminek következtében a valóságosnál nagyobb látszólagos korokat kapunk. A  $^{13}\text{C}$  stabil izotóptartalom meghatározása bizonyos korrekciós lehetőséget nyújt. Több modell került kidolgozásra, amelyek segítségével számítható vagy valószínűsíthető a valóságos kor. A kérdés azonban még távolról sincs megoldva. Az 1983-ban Bécsben tartott, a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség és az UNESCO által rendezett izotóphidrológiai szimpóziumon is hangsúlyozták, hogy a modellek nagy részét még az izotóp-hidrológia kezdeti időszakában dolgozták ki s továbbfejlesztésükre van szükség. Rámutattak arra, hogy a kőzet és víz geokémiai kölcsönhatásait tovább kell tanulmányozni s például a homokkővek másodlagos karbonátjainál a jelenleg használt kormeghatározási modellek felülvizsgálata szükséges [5].

A  $^{14}\text{C}$ -es kormeghatározás a 2000-3000 évesnél idősebb vizeknél alkalmazható, a felső határ pedig 30 000 - 40 000 év, amit új technikai megoldásokkal fel lehet emelni 70 000 - 80 000 évre.

Amikor egyrészt a  $^{14}\text{C}$ -es hidrogeológiai kormeghatározás bizonyos korlátairól, nevezetesen a számítható abszolút korok bizonytalanságáról beszélünk, másrészt hangsúlyozni kell, hogy a gyakorlati mérnökgeológiában az értékelések során többnyire nincs is szükség az abszolút kor ismeretére, miután a hidrogeológiai paraméterek (beszivárgási hányad, szivárgási sebesség, szabad hézagterefogat, stb) számításához elegendők a relatív korok, sőt maguk a koncentráció-értékek. A szivárgási sebesség számítása pl. egydimenziós síkáramlás esetén a

$$v = \frac{\ln 2}{T_{1/2} (\ln C_1 - \ln C_2)} \cdot n_0 \cdot (x_2 - x_1) \quad (5)$$

összefüggésből történik, ahol  $C_1$  és  $C_2$  a mért koncentrációk értéke,  $T_{1/2}$  az izotóp felezési ideje,  $n_0$  a porózus összlet szabad hézagterefogata,  $(x_2 - x_1)$  pedig a két mérési pont távolsága. A számításban a legnagyobb hibalehetőség a szabad hézagterefogat felvételében van, a koncentrációk ennél sokkal - kb. egy nagyságrenddel - pontosabban határozhatók meg.

Ezért a hidrogeológiai gyakorlatban nem is az izotópmérések, hanem maga az interpretálás jelenti a komolyabb feladatot. Az interpretálás feltétele az áramkép ismerete, mivel ennek hiányában nem csak nehéz, de esetenként félrevezető is lehet bármiféle hidrogeológiai számítás végzése. Az értékelésnél sokat segít az, ha egyszerre több izotóppal és alkalmas, céljainkra kifejlesztett modellekkel dolgozunk. Alkalmas és a valóságos fizikai tartalmat reprezentáló modellek esetében a hagyományos módszereknél pontosabb eredményt kaphatunk. Ennek indoklását más helyen már elvégeztük [6].



## 5. A Kelet-magyarországi rétegvizek izotópos kutatása

A Magyar Állami Földtani Intézet Debreceni Területi Földtani Szolgálatánál 1985-ben kutatási munka kezdődött az Alföld, elsősorban a kelet-magyarországi területek izotóphidrogeológiai feltérképezésére. Az állami kutatás szintjére emelkedett munka keretében a felszín alatti vizek pontosabb mozgási paramétereit, a vízkészletek és megújulásuk számításához szükséges adatokat kívánjuk meghatározni, de a szerkezet-földtani viszonyok jobb megismeréséhez is információkat várunk a kutatástól.

A kutatási munkához felhasználjuk az

- 1974-ben Papp B. által Koppenhágában mért stabil izotóp adatokat;
- az 1974-1982 között a Nyírségben a BVFA Geotechnikai Intézetében (Wien) a Marton L. által irányított kutatás során mért radioaktív és stabil izotóp adatokat;
- a MÁFI által a VITUKI-nál rendelt stabil és radioaktív izotóp adatokat (1980-83);
- a MÁFI Debreceni Területi Földtani Szolgálatára megrendelésre a VITUKI-nál Deák J. által Heidelbergben több izotópra végzett (1985) és a Bányászati Kutató Intézetnél Cornides I. által oxigén-18-ra végzett (1985) adatokat;
- az 1986-ban és a következő években különböző laboratóriumokban meghatározandó izotóp adatokat.

Ilymódon jelenleg mintegy 500 izotóp-mérés áll rendelkezésünkre, ezen belül kerekén 300 stabil izotóp, s mintegy 70 db  $^{14}\text{C}$ -es adat. A továbbiakban újabb sajátos célú mintavételekre és mérésekre kerül sor, amelyen belül külön súlyt helyezünk a szénhidrogénkutató fúrásokból vett vízminták stabil izotóp elemzéseire.

A kutatási munka legnagyobb gondját jelenti a hazai mérési bázis szűk volta, a szükséges műszerpark, ill. mérési kapacitás hiánya. Debrecenben az ATOMKI-ban folyik ugyan egy

ilyen irányú fejlesztés, de a megvalósulásnak időbeli bizonytalanságai vannak.

A kutatási munkába bevonjuk a hazai szak-intézményeket s az elérhető külföldi laboratóriumokat. A kutatást a szénhidrogén-fúrásokból vett vízminták által a lehetséges legnagyobb mélységig kívánjuk kiterjeszteni.

#### 6. A mérési adatok megbízhatósága

Kiindulási feltétel, hogy a mérést végző laboratóriumok adatai megbízhatók legyenek. Saját magunk is szenvedő alanyai voltunk annak, hogy 1972-ben egy neves hazai laboratóriumban a Debrecen és környéke izotóphidrogeológiai kutatása céljaira végzett tríciummérések teljesen használhatatlanok voltak, egy-két nagyságrenddel nagyobb értékeket jeleztek, mint a Bécsben megismételt mérési eredmények. Ilyen esetben az izotóptechnika alkalmazása több kárt okoz mint hasznot, mert amellett, hogy félrevezető adatokat nyújt, a módszer hitelét is rontja.

A jól felszerelt és jól képzett szakembergárdával rendelkező laboratóriumok által végzett mérések adatai jól egyeznek egymással.

1. sz. táblázat

Hely	Koppenhága	Bécs, BVFA	BKFI	Heidelberg	
	1974	1983	1985	(1985) Deák J.	
	$\delta D\%$	$\delta^{18}O\%$	$\delta^{18}O\%$	$\delta D\%$	$\delta^{18}O\%$
Hajdúnánás hévízút	-48,1-5,17			-44,0	-5,01
Gyula 2.sz. hévízút	-10,66	-10,59	-9,9		
Gyula 3.sz. hévízút	-12,31	-12,52			
Szeged, Anna kút	-12,28	-12,19	-12,1		

Az 1. sz. táblázatban közölt néhány megismételt mérési adatból láthatjuk, hogy pl. az 1974-ben Koppenhágában és 1983-ban Bécsben mért deutérium és  $^{18}\text{O}$  adatok igen jól egyeznek.

A táblázatban közölt többi adat (s a nem közölt, de szintén rendelkezésre álló további ismételt mérések) eltéréseinek okai még nem ismeretesek. Kutatási munkánk során ezeket a tapasztalatokat is hasznosítani kívánjuk.

A fentiek rámutatnak arra, hogy hazánkban is szükség van egy korszerű izotóp-laboratórium létesítésére. Ennek megvalósítása nem csupán az anyagi eszközök rendelkezésre állását, hanem legalább ilyen mértékben az illetékes szakemberek szemléletének változását igényli.

#### I R O D A L O M

- [1] Harmon, R.S. - Schwarz, H.P., Nature, 290, 125-128, 1981.
- [2] Marton L. Hidr. Közl. 26, 180-191, 1982.
- [3] Sigvaldason, G.E. Geothermal Energy, 49-59, UNESCO, 1973.
- [4] Arnason, B. Geothermics, 5, 125-155, 1977.
- [5] Akiti, T.T. IAEA Bulletin, 26, 38, 1984.
- [6] Marton L. Hidr. Közl. 26, 525-533, 1982.

Hydrogeological survey of subsurface waters  
by means of isotope analysis.

Lajos Marton - Lajos Mikó

The commonly investigated isotopes are as follows: deuterium, oxygen - 18 stable, tritium and  $C^{14}$  radioactive isotopes, which occur in our environment. The observation of these isotopes gives some useful information about the seepage movements of subsurface waters and about subsurface water regime / storage, recuperation /. Research in this topic has begun in North - East part of Hungary.