

# Trícium – A nukleáris technika melléktermékének vízföldtani alkalmazása

Deák József<sup>1</sup>, Horváthné Deák Emese<sup>2</sup>

<sup>1</sup>GWIS Kft.

2120 Dunakeszi, Alkotmány u. 45. Telefon: 06-70-772-1956

<sup>2</sup>Pannon Egyetem, Radiokémiai és Radioökológiai Intézet

8201 Veszprém, Pf. 158. Telefon: 06-88-624-923

Az 1953-63 között végzett magaslégköri fúziós-bomba kísérletek drasztikusan megemelték a felsőlégkör, így a csapadékvizek trícium koncentrációját. Ezen változások egy világméretű, a hidrológiai kutatások során kiválóan felhasználható nyomjelzési módszer alapjait tették lehetővé.

A rétegvizek védettségének bizonyítására a „trícium-mentesség” kimutatása kiváló módszer. A környezet nagyarányú ipari és mezőgazdasági szennyezésének kezdete ugyanis egybeesett a légköri trícium szennyezés megjelenésével. Ennek alapján a 1,6 TU-nál kisebb trícium tartalmú felszín alatti vizeket védettnek tekintjük az antropogén szennyezőkkel szemben.

A cikkben bemutatásra kerül a magyarországi csapadékvíz rekonstruált trícium időszora, valamint - hazai példákon keresztül - a felszín alatti vizek áramlásának és utánpótlódásának becslése trícium adatok alapján.

## Bevezetés

A nukleáris technika jelentős elterjedése az elmúlt évtizedekben környezetünk radionuklidokkal való elszennyezését okozta. Ez az elszennyeződés közel sem éri el az egészségre káros szintet, de egyes tudományterületek globális nyomjelzőként gyakorlatban is hasznosítják őket megbízható és olcsó eljárásként. A trícium vízföldtani kutatásokban való gyakorlati alkalmazása mára már Magyarországon is elterjedt módszer, melyet cikkünkben gyakorlati példákon keresztül szeretnénk bemutatni.

## A hidroszférában található trícium keletkezése

A trícium, mely lágy béta-sugárzó hidrogén izotóp, természetes illetve antropogén forrásokból kerülhet a hidroszférába.

Természetes úton legnagyobb mennyiségben kozmikus sugárzás hatására keletkezik 10-25 km magasságban, a sztratoszférában. A kozmikus sugárzás hatására keletkezett szekunder neutronok bombázzák a légkört, és a levegőben lévő nitrogénnel reakcióba lépnek:



A fenti módon történő trícium termelési sebesség  $0,12 \pm 0,04$   ${}^3\text{H}$  atom/cm<sup>2</sup> sec.

A litoszférában keletkező trícium mennyisége elhanyagolható.

Mesterséges eredetű trícium környezetünkbe először 1945-ben, az első atombombák robbantásakor került be. Ezen atombombák maghasadáson alapultak és viszonylag csekély mennyiségű tríciumot juttattak be a Föld légkörébe.

Az első, termonukleáris magfúzió alapuló hidrogénbomba kísérleti robbantására 1952-ben került sor, ezután környezetünk trícium koncentrációja nagyságrendekkel megnőtt. A termonukleáris bombák robbantása során a bomba minden TNT megatonna-egyenértékére 1-5 kg trícium keletkezett, ahol 1 kg trícium aktivitása  $3,5 \cdot 10^{17}$  Bq.

Jóval kisebb mennyiségben, de mégsem elhanyagolható mértékben bocsátanak ki tríciumot környezetünkbe az atomerőművek (lásd (3) és (4) egyenlet).



A digitális órák és egyéb műszerek folyékonykristály kijelzőjének háttérvilágítására, ipari úton előállított trícium is jelentkezik a környezeti trícium koncentrációban [1].

## A csapadék trícium idősora

1952-ig csak természetes eredetű trícium fordult elő a csapadéokban. Az 1950-es évek elején vizsgált folyóvizek  $^3\text{H}/^1\text{H}$  aránya  $10^{-18}$  nagyságrendbe esett. Emiatt a  $10^{-18}$ -arányt használják a trícium mértékegységének, melyet az angol Tritium Unit rövidítéséből TU-val jelölünk. SI rendszerben Bq/l a hivatalos mértékegység, de a szakmai gyakorlatban még mindig elsősorban a TU-t használják.

$$1\text{TU} = \frac{1 \text{ } ^3\text{H}}{10^{18} \text{ } ^1\text{H}} = 0,12\text{Bq/l} \quad (5)$$

Mérési adatok hiányában az 1953. előtti csapadék trícium koncentrációját palackozott borok mérésével állapították meg, abból a helyes következtetésből kiindulva, hogy a borok azon csapadékok trícium koncentrációját reprezentálják, amelyek a bor alapjául szolgáló szőlő tenyészidőszaka alatt hullottak. Ismert évjáratú borok vizsgálata alapján megállapították, hogy az 1928-1953 közötti időszakban a csapadék trícium tartalma Észak-Amerikában és Európában, így Magyarországon is közel állandó, 3-7 TU volt [2].

A Nemzetközi Atomenergia Ügynökség csapadék világhálózatának (GNIP) adatai alapján az északi féltekén két nagyságrenddel nagyobb a szennyeződés mértéke, mint a déli féltekén.

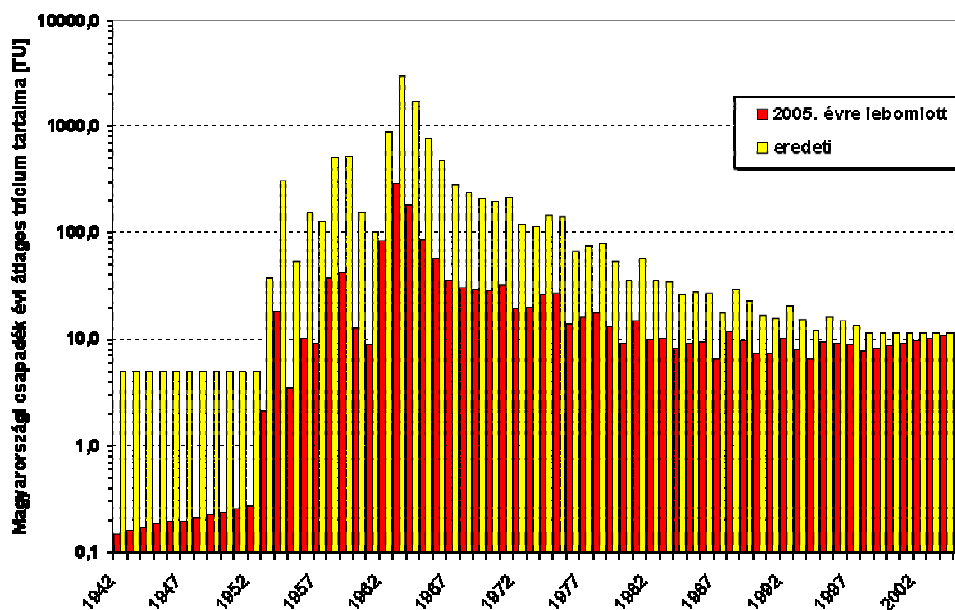
Magyarországon 1972-ben kezdődött a csapadék trícium tartalmának rendszeres mérése [3]. A legszennyezettebb időszak csapadékának trícium koncentrációját ismert évjáratú, az 1960-as évekből származó palackozott borok utólagos mérése alapján állapították meg [4]. Az ily módon rekonstruált éves átlagos trícium tartalmat logaritmikusan ábrázolva mutatja be az 1. ábra.

Látható, hogy a trícium tartalom 1963-ban érte el a maximumát, több mint 2000 TU évi átlaggal. Az 1963-ban életbe lépett részleges atomcsend egyezmény értelmében az aláíró USA, Szovjetunió és Nagy-Britannia beszüntette a légköri robbantásokat. A következő években a csapadék trícium koncentrációja exponenciálisan csökkent, mintegy 1,2 éves felezési idővel, ami a légkörből történő trícium kiürülés sebességét jelzi. A jelenlegi, 10-12 TU átlag érték még mindig több mint kétszerese a kozmogén eredetű trícium szintnek. Az utóbbi tíz év stagnáló értékei jelzik, hogy beállt az új, az ipari eredetű trícium kibocsátás miatt kissé magasabb trícium szint a csapadéokban [1].

Az 1963-ban beszivárgott talajvíz még ma is nagy trícium tartalmú, amely markáns nyomjelzési csúcsként jelentkezik, ugyanakkor az 1952 előtti csapadékból beszivárgott talajvíz trícium tartalma ma már kimutatósi határ (0,5 TU) alatti. Tehát megállapítható, hogy a 0,5 TU-nál kisebb trícium tartalmú felszín alatti vizek védettek az utóbbi 55 év szennyezéseivel szemben. Szerencsés egybeesés, hogy Magyarországon az 1950-es években indult be az ipar és a mezőgazdaság nagyarányú fejlődése, és az ezzel járó környezetszennyezés.

Az egyik legegyszerűbb, de nagyon hatékony módszer a felszín alatti vizek védettségének bizonyítására a „trícium-mentesség” kimutatása. Ennek alapján a 21/2001. Miniszteri rendelet védettnek fogadja el az 1,6 TU-nál kisebb trícium tartalmú, felszín alatti vizeket, és ezeknél felmentést ad az antropogén eredetű mikroszennyezők (igen költséges) rendszeres vizsgálata alól.

Az eddig vizsgált hazai ásványvizekben sehol sem mutattak ki tríciumot, ami bizonyítja a magyarországi ásványvizek védettségének az utóbbi 55 év antropogén szennyezéseivel szemben.



1. ábra: A magyarországi csapadék évi átlagos trícium tartalmának időszora logaritmikusan ábrázolva

## A trícium legfontosabb hazai alkalmazásai vízföldtani kutatásokra

Ezen fejezetben bemutatjuk - hazai példákon keresztül - a felszín alatti vizek áramlásának és utánpótlódásának becslését trícium adatok alapján.

A felszín alatti vizek áramlásuk során megőrzik a beszivárgás kori csapadék trícium tartalmát, természetesen a 12,4 éves felezési időnek megfelelően lebomlott mennyiséggel korrigálva.

A 2.a, ábrán látható a magyarországi csapadék 2000. évre lecsökkent trícium tartalmának időszora, melyet a talajvízbe történő beszivárgásnak megfelelően ábrázoltunk, azaz legfelül a jelenlegi csapadék trícium tartalma áll. A beszivárgáskor jelentkező diffúzió illetve a diszperzió miatt az éles csúcs ellaposodva jelentkezik, de az 1963. évi csapadék jelenlegi mélységében lesz a maximális trícium tartalom [1].

Amennyiben a felszín alatti áramlási pályán mérésekkel nyomon tudjuk követni a trícium változását, az áramlási sebesség és/vagy beszivárgás számolható egyrészt a trícium csúcs, másrészt a trícium mérleg egyenlet alapján.

A trícium csúcs módszer esetében az 1963-ban beszivárgott víz jelenlegi helyzetéből ( $h_{63}$ , lásd 2.b, ábra) számítható a

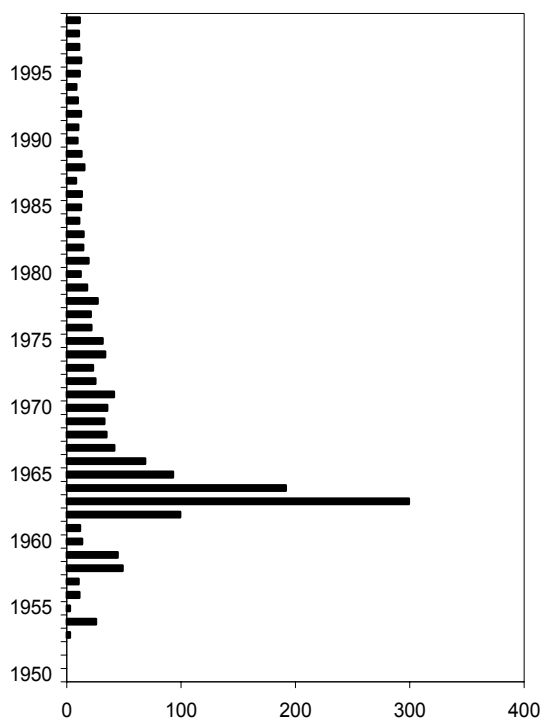
vízmozgás sebessége. Szerencsés esetben a trícium koncentráció nullára csökkenésének helyzete ( $h_{52}$ , lásd 2.b, ábra) is meghatározható.

A felvett profilok trícium mérleg szerinti értékelésének alapja, hogy a talajvízben mért, összegzett trícium tartalom azonos az évente a talajvízbe beszivárgott csapadék jelenlegi értékre lebomlott trícium tartalmának összegével (lásd (6) egyenlet).

$$\int T_{(z)} w_{(z)} dz = \int I_{(t)} TP e^{-\lambda t} dt \tag{6}$$

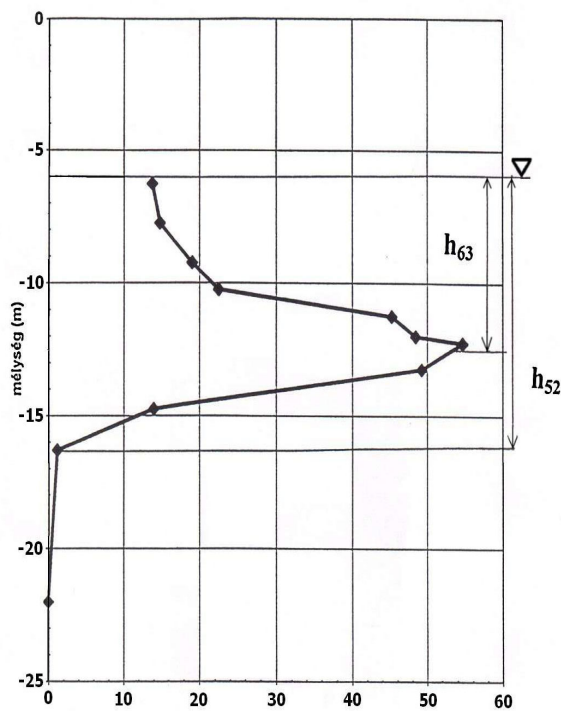
$$I = \frac{\int T_{(z)} w_{(z)} dz}{\int TP e^{-\lambda t} dt} \tag{7}$$

- $T_{(z)}$  a talajnedvességben mért trícium tartalom
- $w_{(z)}$  a talaj nedvesség-tartalma (V%)
- $I_{(t)}$  effektív beszivárgás
- $TP_{(t)}$  a csapadék trícium időszora
- $\lambda$  a trícium bomlási állandója
- $dt$  a t év és a mintavétel éve közötti idő



évi átlagos trícium tartalom (TU)

a



trícium tartalom (TU)

b

2. ábra: a: A magyarországi csapadék korrigált trícium időszora, b: A trícium tartalom vertikális profilja a talajvízben

Átrendezve, és elfogadva, hogy  $I(t) = \text{const} = I$  (vagyis az évenkénti beszivárgás konstans a vizsgált időszakban), a (7) egyenletet kapjuk.

A Duna-Tisza közti hátság (Méntelek, Fischerbócsa, Kéleshalom) végzett vizsgálatok alapján 150-250 mm/év leáramlási sebességet kaptunk a talajvízben. A porozitást ( $n_0=0,2$ ) is figyelembe véve a beszivárgás 42-63 mm/év közötti (1. táblázat). A trícium csúcs és trícium mérleg alapján számított beszivárgás hasonló értékeket adott és jól egybevágt a hidraulikai modellezés eredményeivel.

1. táblázat Különböző módszerekkel számított beszivárgási értékek összehasonlítása a Duna-Tisza közén

módszer	számított beszivárgás [mm/év]		
	Méntelek	Fischerbócsa	Kéleshalom
trícium csúcs	48	63	38
trícium mérleg	42	44	44

Olyan területeken, ahol lassú a beszivárgás (pl. lösz vagy iszap fedőrétegű talajoknál), a trícium csúcs még a talajvíz feletti telítetlen, tehát levegőt is tartalmazó zónában található. A talajnedvességből kinyert víz trícium tartalma alapján a püspökszilágyi radioaktív hulladék-tároló [5] valamint a bátaapáti-i radioaktív hulladék-tároló [6] környezetében frissen ásott kutakban végzett trícium profil felvételek lassú, 100 mm/év-nél kisebb függőleges irányú beszivárgási sebességet és 5-10 mm/év beszivárgást adtak.

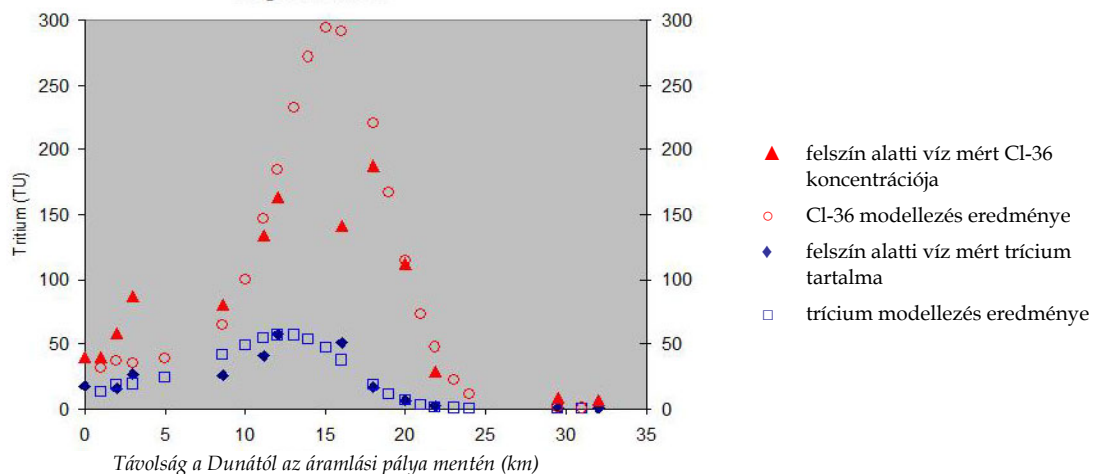
A trícium-csúcs módszer rétegirányú (közel vízszintes) áramlási sebesség számítására is alkalmas, olyan területeken, ahol extrém nagy vízvezető képességű rétegek találhatók. A Szigetköz több száz méter vastag kavicsrétegében 400-500 m/év rétegirányú sebesség számítható a Dunából kiinduló fő áramlási szelvény mentén [7].

Az elbomlott trícium  ${}^3\text{He}$  ként mérhető a felszín alatti vizekben. Ez alapján a víz kora a (8) képlettel számítható.

$$t = \frac{12,43}{\ln 2} \ln \left[ \frac{{}^3\text{He} + {}^3\text{H}}{{}^3\text{H}} \right] \quad (8)$$

A  ${}^3\text{H}/{}^3\text{He}$  kormeghatározás eredményei a Szigetközben 480 m/év sebességű, vízszintes irányú, a Dunából származó rétegvíz áramlást adtak – jó egyezésben a trícium és a  ${}^{36}\text{Cl}$  vizsgálatokkal.  ${}^{36}\text{Cl}$  a tenger alatti hasadó-bomba kísérletek során keletkezett, a  ${}^{35}\text{Cl}(n,\gamma){}^{36}\text{Cl}$  reakcióban. A csapadékvíz  ${}^{36}\text{Cl}$  csúcsa nyolc évvel korábban jelentkezett, mint a trícium csúcs. A  ${}^3\text{H}$  és a  ${}^{36}\text{Cl}$  csúcsok ellaposodásából számított  $\alpha=250$  m longitudinális diszperzió a kavicsrétegekre jellemző érték és jól egyezik a 435 m/év áramlási sebességnek megfelelő hidraulikai modell eredményével [8].

Cikkünkben ízelítőt adtunk annak demonstrálására, hogyan lehet a környezet nukleáris szennyezéseit globális nyomjelzőként alkalmazni, amit a nukleáris mérés technika nagyarányú fejlődése tett lehetővé.



3. ábra: Trícium és  ${}^{36}\text{Cl}$  profil a szigetközi fő áramlási pálya mentén

## Irodalomjegyzék

- [1] J. Deák: A Duna-Tisza köze rétegoíz áramlási rendszerének izotóp-hidrologiai vizsgálata, Doktori (PhD) értekezés, ELTE TTK Geofizika Tanszék, 2006.
- [2] S. Kaufman, W.F. Libby: *The Natural Distribution of tritium*, *Physical Review* 93, 1954.
- [3] K. Kozák: A környezeti tríciumkoncentráció rekonstrukciója az 1960-75 közötti évekre, ismert évjáratú borok elemzése alapján, Egyetemi Doktori értekezés, ELTE Növényélettani Tanszék, Budapest p.63, 1980.
- [4] Gy. Dénes, J. Deák: Felszín alatti vizek környezeti izotóp vizsgálata, VITUKI témajelentés, 721/1/22, 1981.
- [5] J. Fehér, M.Th. van Genuchten, J. Deák: *Estimating long-term water flow rates in the vadose zone using tritium measurements Scientific colloquium on „Porous or fractured unsaturated media: transport and behavior” Monte Verita, Ascona, Switzerland, 1992.*
- [6] I. Horváth, J. Deák, E. Hertelendi, T. Szóts: *Hydrogeochemical investigations in the Tolna Hills area, Annual Report of the Geological Institute of Hungary, 1996/2, 1997.*
- [7] M. Stute, J. Deák, K. Révész, J. K. Böhlke, É. Deseő, R. Weppernig, P. Schlosser: *Tritium/<sup>3</sup>H Dating of River Infiltration: An Example from the Danube in the Szigetköz Area, Hungary, Ground Water, Vol. 35, No. 5, Sept.-Oct. 1997.*
- [8] W. Balderer, H. A. Synal, J. Deák: *“Application of the chlorine-36 method for the delineation of groundwater infiltration of large river systems: Example of the Danube River in Western Hungary (Szigetköz area)” Environmental Geology, Springer-Verlag Heidelberg, 2004.*