

## A tiszántúli arzénos rétegvíz hidrogeológiája

ERDÉLYI MIHÁLY

A szakirodalom bőven foglalkozik a folyók és a talajvíz arzéntartalmával, de alig törődik a rétegvízzel (HEM, J.D. 1985). A folyóvizek és a talajvíz arzénszennyezése legnagyobb részben emberi eredetű, a szénerőművekből, a fémkohászatból származik, és az arzén meddőhányókból, ipari hulladéktelepekről peszticidekkel mosódik be.

### Előzmények

Közegészségügyünk 1981-ben lényegében véletlenül figyelt fel a rétegvizek megengedettnél gyakran jóval nagyobb arzéntartalmára. A 80-as évek elején az Országos Közegészségügyi Intézettel együtt több más intézmény is végzett analíziseket különféle módszerrel és nem azonos tapasztalattal. Az évtized közepére több ezer elemzés gyűlt össze, amelyek részben már nagy érzékenységgű (jóval  $10 \mu\text{g/l}$  alatti arzéntartalmat is jelző) automata műszerekkel készültek. Így az OKI ezzel az új módszerrel jórészt a korábbi adatokat is ellenőrizhette.

Az arzénos rétegvíz hidrogeológiai feldolgozásának alapja az OKI vízminőségi adattára volt, mely az összes más intézmény elemzési adatait is tartalmazza és a mérések kezdetétől folyamatosan kiegészíti a saját és más intézmények adataival. A folyamatos ellenőrzést is az OKI végzi. Az OKI adatain kívül felhasználtam a VITUKI és a VGI elemzéseit is. Ezúttal köszönöm meg CSANÁDY Mihály, CSÁKI Ferenc, KÁRPÁTI László és LIEBE Pál segítségét.

Publikált és kéziratot munkáim részletes dokumentációit (ERDÉLYI M. 1979, 1988) újraértékeltem és kiegészítettem az azóta mélyített fúrások dokumentációs anyagával (rétegsor, geofizikai lyukszelvények, szerkezeti, hidrodinamikai, vízkémiai és geotermikus adatok).

A szakirodalomból főleg MOLNÁR B., NAGYISTÓK F., SZEDERKÉNYI T. és VARSÁNYINÉ TÓTH I. tanulmányai és a VITUKI-nak csak részben publikált anyagai („Maros-törmelékűp”) bizonyultak igen hasznosnak. Felhasználtam az országhatáron túli terület 1:200 000-es ma. földtani térképét (Carte...) és újabb szakirodalmát (TENU, A. 1981).

Az ivóvíz megengedett legnagyobb arzéntartalma  $50 \mu\text{g/l}$  (US EPA 1976).

Az  $50 \mu\text{g/l}$ -nél nagyobb arzéntartalmú rétegvíz nálunk két összefüggő területen fordul elő: 1. a Duna-Tisza közének D-i részén  $1270 \text{ km}^2$ -en, az országhatárral párhuzamos sávban Garától Mórahalomig. Erről a területről készült az arzénos rétegvíz első részletes hidrogeológiai vizsgálata az arzéntartalom térképi és mélységi ábrázolásával (ERDÉLYI M. 1986); 2. a Tiszántúl közepén  $5700 \text{ km}^2$ -en (1. ábra) (ERDÉLYI M. 1988).

### Módszer

Az egyes intézmények adatainak kritikai vizsgálatára az összes megszerezhető elemzési adatot felhasználtam. Mértékadónak az OKI újabb elemzési adatait tekintetem. Ennek alapján a mintegy 2000 adatból 800-at első lépésként 1:100 000-es ma. térképlapokon rögzítettem, majd 1:500 000-es térképen a mélységtől függetlenül ábrázoltam az arzéntartalmat (1. ábra). Az arzénszennyezettség határainak térképi megszerkesztéséhez a megbízható legnagyobb arzéntartalmat mutató adatokat vettem figyelembe, nehogy túlságosan optimista” térképet szerkessek.

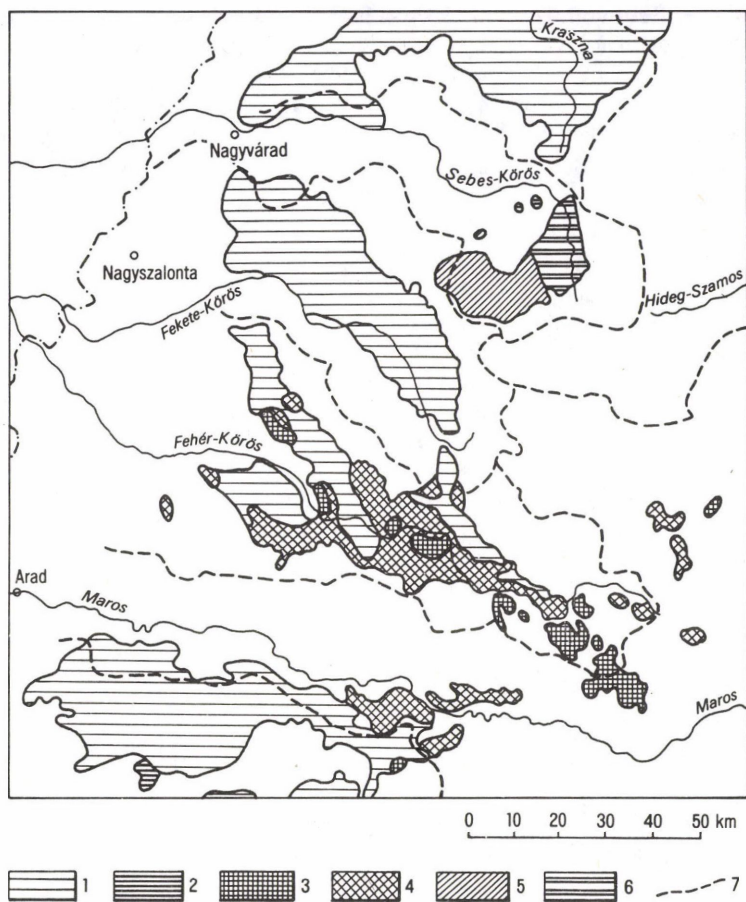
A magas arzéntartalom térbeli elterjedésének ábrázolására szerkesztettem 6 db 1:250 000-es ma. szelvényt a korábbi kéziratot szelvényeim újraértékelésével.



## Az arzén rétegvíz eredete

Az arzén a földkéregből ered, a felszínre szerkezeti mozgások és vulkáni működés során főleg a magmás kőzetekkel jutott. A kőzetek mállási termékét a folyóvizek szállítják az üledékgyűjtőbe, annak üledékes kőzeteibe.

A kárpáti területen a legnagyobb tömegű magmás kőzet az andezit típusú neogén vulkánosság terméke. Az ÉK-i- és a K-i-Kárpátok belső övezetének vulkáni kőzetei a



2. ábra. A Keleti-középhegység Ny-i részének földtani vázlata. — 1 = pannon agyag, márga, homok; Neogén vulkanit: 2 = bazalt; 3 = andezit; 4 = andezit piroklasztikum; Bánsági vulkanit: 5 = riolit; 6 = dacit; 7 = vízválasztó

Geological sketch-maps of the Western part of the Eastern Mountains. — 1 = clay, marl, sand (Pliocene); Neogene volcanics: 2 = basalt; 3 = andesite (lava); 4 = andesite pyroclastics; Older volcanics: 5 = rhyolite; 6 = dacite; 7 = watershed

Hernád völgyétől Brassó vidékéig követhetők, az Erdélyi-medencében kis foltokban és a Bihar hegység Ny-i lejtőin is előfordulnak (2. ábra).

Az andezites kőzetek mállási terméke erősen agyagos. A magmás kőzetek átlagos arzéntartalma 1,8 ppm, a málladéktakaróé, agyagoké és agyagpaláké 9,0 ppm (HEM, J.D. *ibid.* 6. old.), ami szintén a leülepedésük utáni részbeni feldúsulásra utal.

A tiszántúli síkság kőzetanyagának eredete kettős: egyrészt főleg az andezit agyagos málladéka, amelyet folyóvizek szállítottak oda a K-i hegységlejtőről és halmoztak fel a mindenkori üledékgyűjtőben. A sülyledék peremén túlnyomórészt andezit, főleg agglomerátum és tufa fordul elő, ez pedig sokkal gyorsabban mállik, mint a lávakőzet, tehát anyagából a pliocén üledékgyűjtőbe viszonylag sok került bele. A pliocén üledékgyűjtő nagy területű volt, kőzeteinek egy része a tiszántúli sülyledékben megmaradt, ott nagy vastagságban fordul elő, más része a K-i középhegység lejtőjén, eróziótól csonkoltan, még most is nagy területet foglal el (2. ábra).

Tudjuk, hogy az Alföldet határoló hegyvidékek a felső-pliocénben és az alsó pleisztocénben jelentősen kiemelkedtek, a szomszédos alföldi területen pedig ugyanakkor mély sülyledékek alakultak ki.

A hegységi perem viszonylag gyors pliocénvégi emelkedése miatt az akkor még nagyobb területű, laza pliocén üledéksor egy része — arzéntartalmával együtt — rohamosan, egészen a fekéjéig lehordódott.

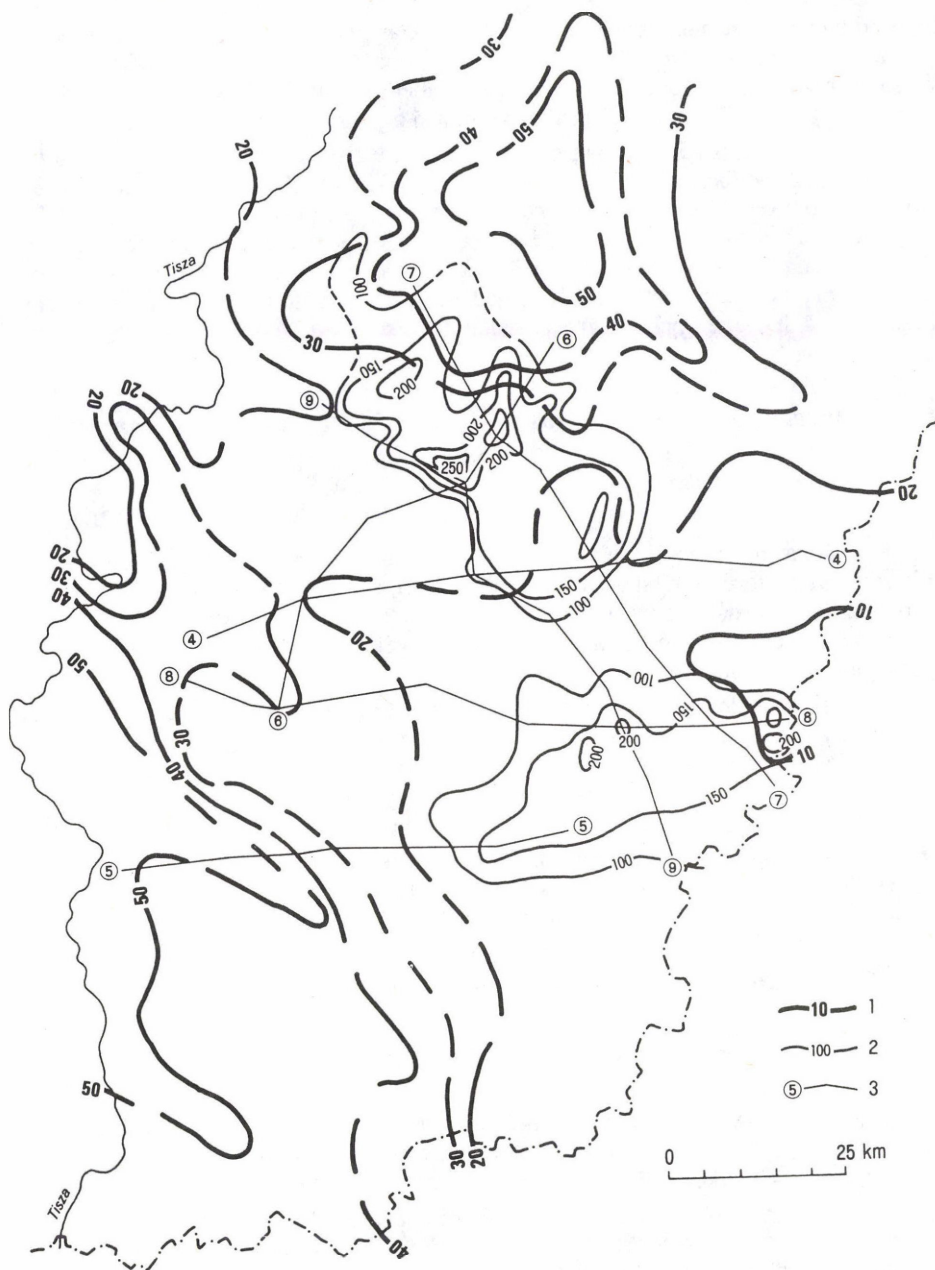
Ugyancsak vastag pliocén üledéksorok hordódtak le a K-i középhegység (Bihar) Ny-i lejtőjén (amit JÁMBOR Á. mutatott ki a Bakonyban). Ilyen nagyméretű lehordásra utal a Bácska D-i sávjában az is, hogy diszkordancia van az alsó- és a felsőpannon között, viszont hiányzik a felsőpliocén (mely megvan a dél-alföldi és békési mély sülyledékekben). A D-i Bácskában a felsőpannon és az alsópleisztocén közötti határ is diszkordáns (ERDÉLYI, 1986). A tiszántúli mély sülyledékben a mélyfúrások geofizikai szelvényei és kőzetmintái vastag felsőpliocén és pleisztocén üledéksort jeleznek. A felszíntől nagy mélységig erősen arzénos az üledék: Békéscsabán legalább 1600 m-ig, másutt a hiányzó elemzések miatt mélységi határa nem állapítható meg, de így is jelentős vastagságban harántolták (Füzesgyarmat 840 m, Szeghalom 520 m, Dévaványa 570 m, Kisújszállás 730 m, Nagyszénás 720 m, Székkutas 1725 m, Békés 580 m stb.) (1., 3. és 4-9. ábra).

#### *A tiszai üledékgyűjtő sülyledék és kőzetanyagának lehordási területei*

Ismeretes, hogy a mai tiszai vízrendszer kialakulása (pleisztocén vége - holocén eleje) előtt a Szamos az Ér völgyében a Berettyón át folyt az alföldi sülyledékbe. A Szamos akkori vízgyűjtőjéről, egyrészt a belső-kárpáti vulkáni kőzetek sávjából és az Erdélyi-medencéből, másrészt a K-i középhegység É-i részéből folyt le a víz. Ez lehet a másik fő oka annak, a Körösök vízgyűjtője mellett, hogy az É-i tiszántúli mély üledékgyűjtő az arzénos rétegvíz jelentős területe (2. ábra).

A Sebes-Körös üledékgyűjtőjén kisebb a rétegvíz arzéntartalma, mert a vízgyűjtőn aránytalanul kevesebb a magmás kőzet. A Sebes-Körös vízgyűjtőjén van a Bihar-hegység karsztja, a karsztkőzet átlagos arzéntartalma pedig csak 1,8 ppm (HEM, J.D. *ibid.* 6. old.).

A Fekete- és Fehér-Körös egykori vízvidékének üledékgyűjtő sülyledékében (Békési-sülyledék) a legnagyobb a rétegvíz arzéntartalma (1. ábra). A Fehér-Körös



3. ábra. Az 1,5 m-nél vastagabb (szűrőzhető) rétegek %-os aránya („homok-%”) és a 100  $\mu\text{g/l}$ -nél nagyobb arzéntartalmú rétegek területe. — 1 = homok-%; 2 = arzéntartalom ( $\mu\text{g/l}$ ); 3 = a szelvények (4-9. ábra) helye  
 Percentage of sand layers over 1.5 m thickness and the area of arsenic content over 100  $\mu\text{g/l}$ . — 1 = sand percentage; 2 = arsenic content ( $\mu\text{g/l}$ ); 3 = trace of cross-sections (Figs 4-9.)

vízgyűjtőjén nagy területű a neogén andezit piroklasztikum, viszont kevés az andezitláva (2. ábra). A Kettős-Körös vízgyűjtőjén kiterjedt az erodált pannon üledéksor. Innen e kőzetek eróziójával is bőven juthatott arzén az üledékgyűjtő süllyedékbe, hiszen kőzetekben jelentős a vulkanitok mállásából származó agyag, tehát az arzéntartalom is.

A Maros vízgyűjtőjén nagy területű az andezitláva és -piroklasztikum a belső kárpáti vulkáni övben (Kelemen-havas, Görgényi-havas, Hargita). A marosi eredetű alföldi törmelékes kőzetekben jóval kevesebb az arzén, mint az É-ra fekvő süllyedékben. Ennek oka az, hogy az Erdélyi-medencében rakódott le a vulkáni kőzetek törmeléke a pliocénben. Ezt igazolja a felsőpannon üledék nagy elterjedése is. Az Erdélyi-érchegység D-i része már nem tartozott az Erdélyi-medence üledékgyűjtőjéhez, ezért is kevesebb az arzén az alföldi üledékgyűjtő marosi eredetű rétegsorában (1. ábra).

### A tiszai arzénos rétegvíz és az alföldi dunai üledékgyűjtő rétegvízének összehasonlítása

A Duna mai vízgyűjtőjén — de pleisztocén és felsőpliocén vízgyűjtőjén is — aránytalanul kis területen találunk olyan kőzeteket, amelyek az arzén forrásának tekinthetők. Ennek következménye az, hogy a dunai üledékgyűjtő igen kis részén van jelentékeny arzénos rétegvíz, csupán a D-i Bácskában vékony sávon, aminek azonban főleg szerkezeti okai vannak.

A tiszavízvidéki vulkáni kőzetek, főleg a piroklasztikumok mállási terméke nagy tömegű agyagot tartalmaz. Ennek következtében azonos körülmények között, ugyanazon időben a lánál jóval több piroklasztikum pusztul le és vele több arzén jut az üledékgyűjtőbe. Erre utal részben a Békési-süllyedék nagy arzéntartalmú rétegvize.

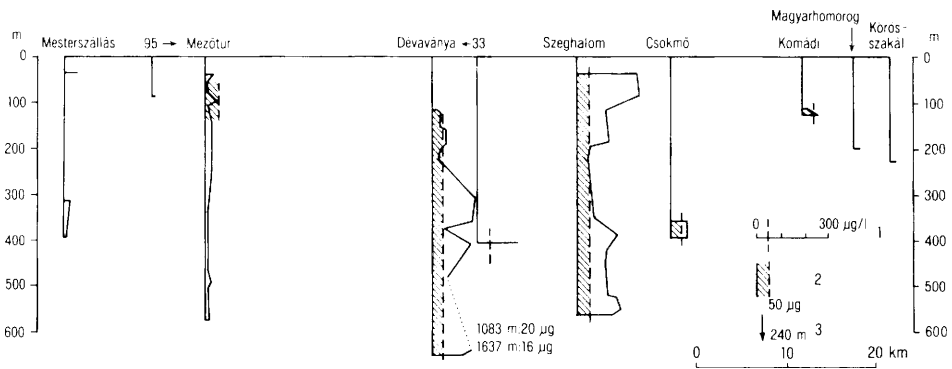
A finomszemcsés agyagos mállási terméket közepes vízhozamú, kis esésű folyók vitték az üledékgyűjtőbe, amelynek legmélyebb részét a felsőpliocénben és a negyedidőszak elején pangó vízű sekély tavak és mocsarak töltötték ki. E mély medence üledékei között a homok százalékos aránya a legkisebb (3. ábra). A hordalék nagy agyagtartalma és a mocsári, tavi, ártéri környezet kedvezett az arzén megkötésének, feldúsulásának. Jelentős lehetett a növényzet (algák) arzént koncentrááló hatása.

### A tiszai és dunai vízvidéki eredetű üledékes kőzetek határa

Az arzéntartalom függőleges változásában betöltött szerepe miatt vizsgálni kell a „tiszai” és „dunai” vízvidéki eredetű negyedidőszaki és felsőpliocén kőzetek érintkezésének sávját. A következő függőleges eloszlás tapasztalható:

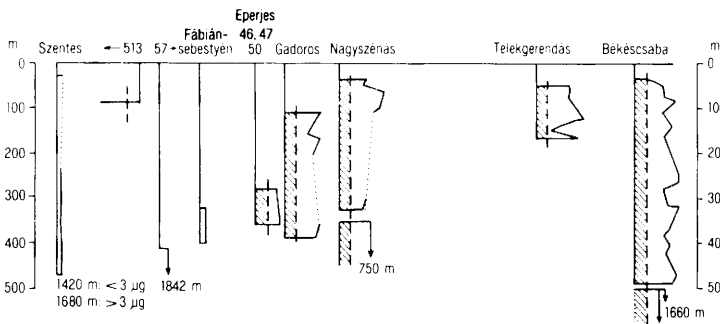
a) Nagy mélységig kevés és egyenletes arzéntartalom jellemzi a dunai jellegű üledéksor rétegvizét (Hódmezővásárhely, Csongrád, Szentés, Fábiánsebestyén és Mesterszállás térségében) (4-5. ábra).

b) A dunai jellegű üledéksor mélységét a geofizikai lyukszelvények alapján lehet megbecsülni, de az arzéntartalom is nyújthat ehhez tájékoztatást. A következőkben ez alapon jelölöm a „dunai üledék” fekvésének mélységét: Mezőtúr kb. 570 m, Kengyel kb. 390 m, Törökszentmiklós kb. 400 m, Tiszaföldvár kb. 250 m, Kunszent-



4. ábra. A rétegvíz arzéntartalma a Mesterszállás—Körösszakál szelvényben. — 1 = arzéntartalom ( $\mu\text{g/l}$ ); 2 = elfogadható arzéntartalom ( $\mu\text{g/l}$ ); 3 = az 500-600 m-nél mélyebb kút talpmélysége, m

Arsenic content of the artesian water in cross-section Mesterszállás—Körösszakál. — 1 = arsenic content ( $\mu\text{g/l}$ ); 2 = acceptable arsenic content ( $\mu\text{g/l}$ ); 3 = depth of bored well more than 500-600 m, in m

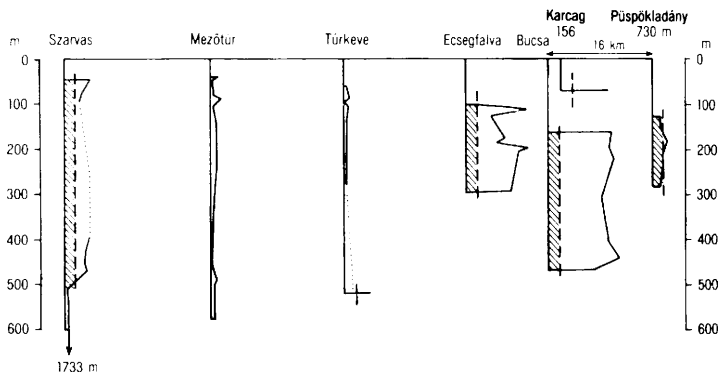


5. ábra. A rétegvíz arzéntartalma a Szentes—Békéscsaba szelvényben. — A jelmagyarázatot l. a 4. ábránál!

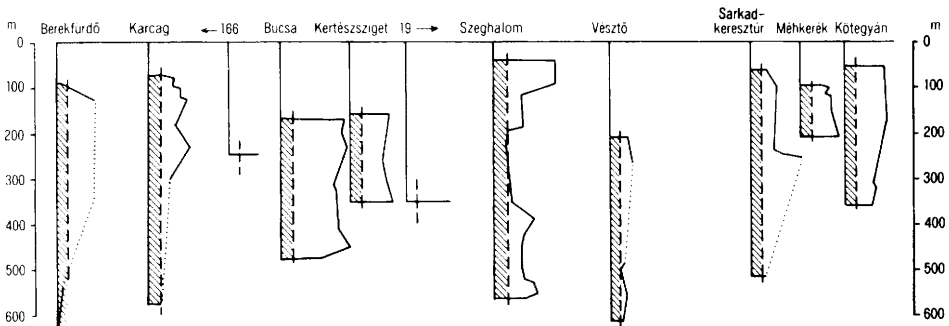
Arsenic content of the artesian water in cross-section Szentes—Békéscsaba. — For explanation see Fig. 4.

márton 560 m. Ezek az adatok jelzik a felsőpleiocén vagy alsópleisztocén „dunai” rétegsor aljának mélységét.

c) Nagyon kevés a felszínhez közelebbi adat, azonban lehetséges az, hogy elkülönítsük az arzéntartalom alapján a „tisztai vízvidéki” eredetű rétegsort a fekjében lévő dunaitól. A dunai üledék felszín alatti mélysége: Ócsodnál 250 m alatt, Derekegyházán 350 m alatt, Szarvason 500 m alatt (6. ábra).



6. ábra. A rétegvíz arzéntartalma a Szarvas—Püspökladány szelvényben. — A jelmagyarázatot l. a 4. ábránál!  
 Arsenic content of the artesian water in cross-section Szarvas—Püspökladány. — For explanation see Fig. 4.

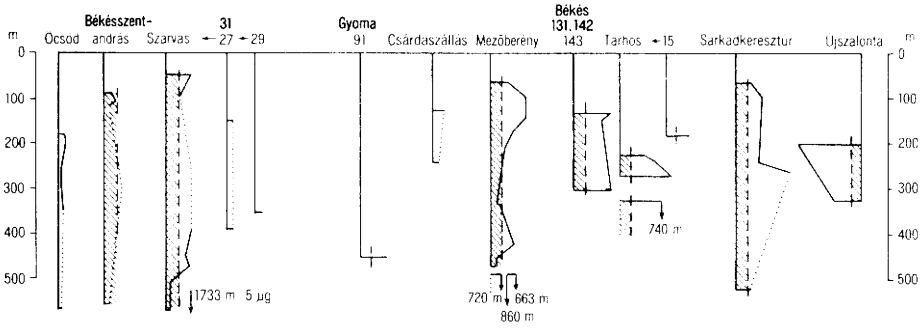


7. ábra. A rétegvíz arzéntartalma a Karcag—Bereksfürdő—Kőtegyán szelvényben. — A jelmagyarázatot l. a 4. ábránál!  
 Arsenic content of the artesian water in cross-section Karcag—Bereksfürdő—Kőtegyán. — For explanation see Fig. 4.

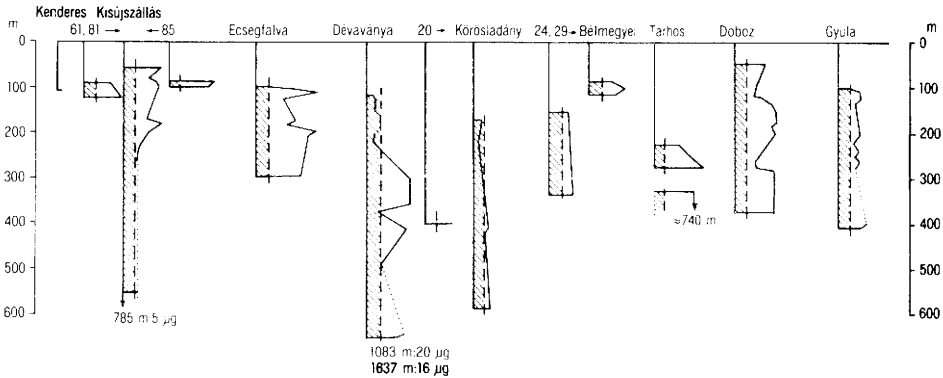
d) Erősen arzénos a rétegvíz a dunai jellegű üledéksor alatt Túrkeve térségében (6. ábra).

e) A Tiszát közvetlenül kísérő sávban a felső 150-200 m-ből alig van elemzési adat. A geofizikai lyukszelvények szerint ebben a rétegsorban jóval kisebb a homok aránya. A jó vízadó szintek 200 m alatt vannak, ahonnan a bőséges arzénelemzések jellemzően kis értékeket jeleznek, ami dunai eredetű kőzetanyagra utal. Itt tehát a Tisza sávjában van egy gyenge vízadó tiszai összlet maximum 200 m-ig, alatta pedig homokos, jó vízadó dunai eredetű szintek következnek. Csakis Szegeden tártak fel a Tisza melletti kutatófúrásokban 150 m mélységig 75  $\mu\text{g/l}$ -ig terjedő arzéntartalmat.





8. ábra. A rétegvíz arzéntartalma az Öcsöd—Újszalonta szelvényben. — A jelmagyarázatot I. a 4. ábránál!  
 Arsenic content of the artesian water in cross-section Öcsöd—Újszalonta. — For explanation see Fig. 4.



9. ábra. A rétegvíz arzéntartalma a Kenderes—Gyula szelvényben. — A jelmagyarázatot I. a 4. ábránál!  
 Arsenic content of the artesian water in cross-section Kenderes—Gyula. — For explanation see Fig. 4.

Ez a rétegsor ott is, mint feljebb, majdnem Lakitelekig viszonylag jól elkülönül arzénszegény fekküjétől. A Tisza vonalában tehát a felső finomszemcsés tiszai rétegsor jóval nagyobb arzéntartalmú, mint a fekküjében a dunai eredetű, durvaszemcsés üledék, melyet a nagy esésű, bővízű Ósduna rakott le.

A Tiszától K-re lévő sávban a Hódmezővásárhely—Derekegyháza—Szentés K.—Nagytóke—Kunszentmárton—Öcsöd Ny.—Mesterszállás—Mezőtúr vonalig terjedően a rétegsorokban dunai és tiszai eredetű kőzetanyag váltakozik úgy, hogy felfelé haladva egyre növekszik a tiszai eredetű üledék, viszont csökken és csakhamar megszűnik a dunai eredetű (MOLNÁR B. 1988).

A dunai eredetű üledék K-i határa ott van, ahol függőleges szelvényben végig nagy

arzéntartalom jellemzi a rétegvizet. Ez a határ Szarvas K.—Fábiánsebestyén—Derekegyháza—Orosháza (Gyopáros)—Hódmezővásárhely K. vonalában húzódik. Szarvastól É-ra e határ nem jelölhető ki, viszont Túrkevéen 500 m körül már hirtelen feldúsul az arzén, Mezőtúron 100 m mélység alatt dunai eredetű lehet az üledék 570 m-ig (6. ábra).

### A sekély rétegvíz-kutak vizének arzéntartalma

A 100-120 m mély kutakban feltűnően gyakori a nagy arzéntartalom még ott is, ahol alatta alacsony értékeket találunk. Valószínű, hogy az esetek jó részében felszíni eredetű az arzén dúsulása. Nagy arzéntartalom anomáliák leggyakrabban mezőgazdasági üzemek, raktárak, állattartó telepek sekély rétegvíz-kútjaiban tapasztalhatók.

A felszíni szennyeződést valószínűsíti az is, hogy ezek a nagyobb arzéntartalmú, sekély rétegvíz-kutak főleg ott vannak, ahol a felszín homok és a felszín alatt 120-150 m-ig gyengén negatív hidrodinamikusan gradiens miatt leszálló vízmozgás alakul ki az erősen pozitív gradiensű összlet felett. Jellemző ez a Közép-tiszai-síkságon, a Nagykőrűtől Abádszalókon át Tiszaigárig húzódó széles sávban, ahol a földtani térképek és fúrási szelvények sok homokot jeleznek. Ehhez hasonló a helyzet a Tiszántúl néhány homokos sávjában is.

### Az arzénos rétegvíz és a szerkezet kapcsolata

Mélyből felszálló, nagy arzéntartalmú rétegvízre lehet következtetni az alföldi mélyszerkezet fő irányában lévő, keskenyebb és erősen arzénos rétegvíz-sávokon (1. ábra). Két ilyen domináns irány van:

a) A DNY—ÉK irányban futó, a Tiszával párhuzamos Nagykőrű—Tiszaigár sáv valószínűleg több ilyen irányú és erre merőleges sáv területe. Az egyes kisebb sávokat a kevés adat miatt nem lehet elkülöníteni. Mélyszerkezeti adatokból e területen jelentős töréses szerkezetre lehet következtetni. Nagyon határozott anomália-zónák még a következők: Kenderes—Karcag, Ecsefalva—Bucsa és Szeghalom—Füzesgyarmat. A Pocsaj—Kismarja környéki anomália is ide tartozhat, a kevés adat miatt azonban elhatárolása bizonytalan. Ezek a sávok nagyjából megegyeznek a szénhidrogénkutatás által kimutatott, párhuzamos hosszanti törésekkel. A Békési-medencében nem mutatkozik ez az irány; talán a Békés és Tarhos közötti területi anomália lehet ilyen szerkezeti eredetű (1. ábra).

SZEDERKÉNYI T. (1988) kéziratosa szerint ebben a DNY—ÉK-i sávban vastag vízzáró összlettel „lefojtott”, mély és nagy porozitású karbonátos kőzettömegekből törések mentén felszálló víz az oka az erős arzéntartalom-anomáliának. Erre a „lefojtó kőzetre” utalhat a fábiánsebestyéni fúrás forróvíz kitörése is, ugyanis e fúrás is ebbe a sávba esik. Érdemes lenne e három zónában részletes geotermikus kutatást folytatni, mert az eddigi geotermikus térképek — a kevés adat miatt — e sávokat nem jelzik.

b) ÉNy—DK irányban kevésbé határozottak az arzénos rétegvíz anomáliák. A Kisújszállás ÉNy—Ecsegfalva Ny—ÉNy és az Ecsegfalva DK—Körösladány irányú anomáliák nagyjából egyetlen keskeny sávban helyezkednek el (3. ábra). Lehet, hogy több, egy irányban húzódó, nagy keresztörést jeleznek (pl. a Bucsa—Szeghalom tengelyű anomália). Kár, hogy Körösladány—Szeghalom—Füzesgyarmat vonaltól ÉNy-ra fekvő és az Ecsegfalva—Bucsa—Szerep közötti vonalig terjedő területről csak igen kevés adat van, így határozottabb anomália-sávok nem mutathatók ki.

Békésben nem jelentkeznek olyan sávok, mint a Körös—Berettyó vonaltól ÉNy-ra (esetleg ilyen lehet a Méhkerék—Sarkadkeresztúr irányú sáv és talán a kevés adatból adódó újszalontai anomália; 1. ábra).

### Az ÉK-Tiszántúl rétegvízének arzéntartalma

Feltűnő, hogy itt kevés, sokszor csak egyetlen elemzéssel jelzett pozitív arzén-anomália van. Ennek magyarázatára először is meg kell vizsgálni a felsőpleisztocénig tartó időszak ősi tiszai vízgyűjtőjét és üledékgyűjtőjét, valamint az ősi vízrendszert.

Az ősi Tisza vízgyűjtője nagyjából az Ondava és a Borsava völgye közötti terület volt. E vízgyűjtő területén a belső-kárpáti vulkáni hegységek és a magas helyzetű ÉK-i-Kárpátok hegységei emelkednek; nagy területet foglal el a kárpáti homokkő. A homokkősávon van a vízválasztó, valamint a jelenlegi folyók esése is ott a legnagyobb. A magas homokkővonulatok és a vulkáni hegységek közötti medencékben már kicsi a folyók esése. Így lehetett ez az ősi tiszai vízrendszerben is. Ennek a felsőpliocén és -pleisztocén vízrendszernek az üledékgyűjtője volt kb. a pleisztocén végéig a jelenlegi Nyírség kiemelt homokhátsága. A Tisza addig ugyanis a Huszti-kaputól DNy-ra és az akkori Szamossal egyesülve az Ér—Berettyó vonalán folyt az alföldi mély üledékgyűjtőbe. Az akkori tiszaszamosi vízrendszert a pleisztocén végének süllyedékei vonzották a mai helyére, vagyis a Beregszásztól a Tisza záhonyi kanyarjáig terjedő és mocsarakkal (pl. Szernye-mocsár) jelzett süllyedékek, a Bodrogköz, a Rétköz és a Taktaköz, valamint a mély Közép-tiszai-árok Sajó-torkolat körüli újabb megsüllyedése.

Mind a Nyírségi-homokhátság, mind pedig az azt határoló, a fentebb felsorolt fiatalabb süllyedékek kőzetanyaga jelentősen eltér a DK-i, Békési-részmedencéjétől. Az ÉK-Tiszántúlt — a dunai eredetű alföldi feltöltéshez hasonlóan — homokos üledékek jellemzik; a homoktartalom a hegységperemtől befelé természetesen csökken, de mindvégig jelentős marad.

A Nyírséget szegélyező süllyedékekben (a Sajó torkolatától a Borzaváig) pozitív a függőleges hidrodinamikus gradiens, vagyis ezek is a „megcsapolás”, a felszálló rétegvíz területei. Ezeket a mélyedményeket azonban kavicsos homok tölti ki, hiszen szorosan az egykori lefordási területet veszik körül (3. ábra). Az ilyen területen viszonylag gyors a vízmozgás. A folyószabályozás előtt igen sok víz (folyó és mocsár) „megcsapolta” a peremek felől a durvaszemcsés üledéksorban gyorsan mozgó talajvizet, így a mélyebbről felszálló rétegvizet is, melynek esetleg nagyobb volt az arzéntartalma. Talajvíz eredetűek voltak a vízszabályozás előtt a kiterjedt mocsarak is. A párolgáson kívül a belőlük kifolyó folyókkal távozott „felesleges vizük” is.

Az arzén hiányának másik oka az lehetett, hogy itt a Nyírség kiemelkedése és szegélyének megsüllyedése előtt a vulkáni hegységek sávja előtt viszonylag meredeken lejtő, durvaszemcsés anyagú törmelékletű terület el, ami — ellentétben a Békési-süllyedéssel — nem volt kedvező a pangóvízű mocsaras, tavas térség kialakulására.

Az egész területre jellemző alacsony arzéntartalom magyarázata a hordalék jellege, a vízgyűjtő terület kőzeteinek arányában keresendő. Az itteni üledékgyűjtő kőzetanyagának zöme a kárpáti homokkő és a homokkő erodált anyagából lerakódott fiatalabb (a K-i Kárpátok és a vulkáni hegységek közötti) medenceüledékek pleisztocén végi lehordódásából származik. Ekkor a vízhálózat — a Nyírség kiemelkedése és K-i peremének megsüllyedése miatt — lényegesen megváltozott.

A vízhálózat megváltozásának fiatal voltára utal az, hogy még kb. 200 évvel ezelőtt is a Szamos és a Kraszna nagy áradásakor bifurkáció keletkezett, vagyis helyreállt a régi vízrajz, az árvíz egy része még az Éren át folyt le.

Miért nem jelentkezik a békési süllyedékhez hasonlóan a vulkáni kőzetek hatása az üledékben, így az arzéntartalomban is? Először is itt jóval kisebb a vulkáni kőzetek területi aránya, mint a Körösök vízgyűjtőjén. Másodsor a laza kőzetű belső medencék és az akkor emelkedő ÉK-i-Kárpátok kőzetei jóval könnyebben pusztultak le, mint a vulkáni kőzetek. Az itteni vulkáni kőzetek területén jóval kisebb arányú a könnyebben málló vulkáni törmelékes kőzet (tufa stb.), mint a Körösök (főleg a Fehér-Körös) vízgyűjtőjén.

### **Az arzénes rétegvíz és a hidrodinamikai viszonyok kapcsolata**

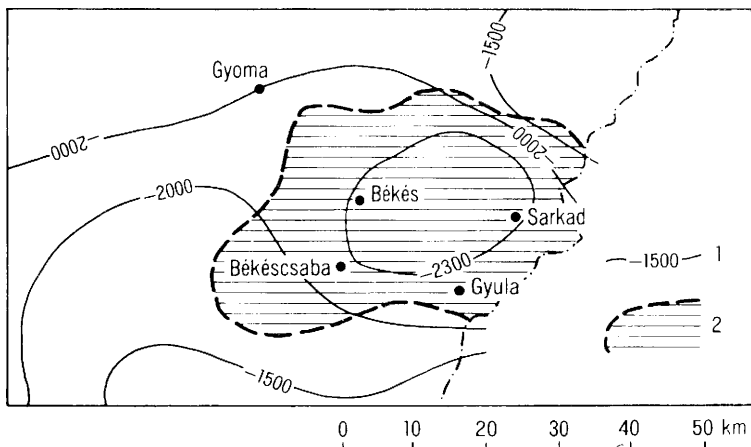
Arzénes rétegvíz mindig a regionális vízmozgás felszálló részén fordul elő, vagy ott, ahol a pliocénvégi, pleisztocén kéregmozgások előtt az akkori felszálló vízmozgás sávjában volt a terület.

A rétegvíz utánpótlódási területein a felszín alatti víz a mélyebb területek felé mozog a potenciálkülönbség miatt. Így van ez a Duna-Tisza közén és a Nyírségi-hátságon is, valamint az Alföld K-i és É-i hegységperemének sávjában is.

#### *A felszálló rétegvíz és az arzéntartalom*

Emlékezzünk rá, hogy a Békési-süllyedék rétegvize nagy arzénanomáliájának oka az egykori lehordási terület vulkáni eredetű kőzeteinek (andezit) és a pannon üledékeknek másodlagosan nagyobb arzéntartalma.

Az anomália létrejöttében ugyanilyen jelentős szerepet játszanak a terület hidrodinamikai viszonyai. A süllyedék alatt helyezkedik el a regionális felszín alatti áramlási rendszer felszálló ága („artézi víz”). A süllyedékben már eleve a hordalék lerakódásakor is nagyobb volt az arzéntartalom a lehordási terület (vulkáni és pannon üledékes) kőzetének nagyobb arzéntartalma miatt. A mélységi eredetű meleg-forró sós víz már nagyobb arzéntartalmú és vastag üledéksoron át (10. ábra) lassan szivárgott és szivárog felfelé regionálisan, ez a szivárgás felgyorsul a törések mentén. Ismeretes a vulkán



10. ábra. A Békési-süllyedék maximuma és a rétegvíz arzéntartalma. — 1 = a felsőpannon összlet fekvérmélysége a tsa., m; 2 = a 100 µg/l-nél nagyobb arzéntartalmú rétegvíz területe

Maximum depth of the eastern subsidence area and arsenic content of the artesian water. — 1 = base contours of the Upper Pannonian (Pliocene) formation below sea-level, in m; 2 = area of arsenic content over 100 µg/l

területeken a gázok és a felszálló forróvízű hidrotermális források kiugró arzéntartalma, amely a mélységi eredet bizonyítéka (HEM, J.D. *ibid.* 112. old., 19. táblázat).

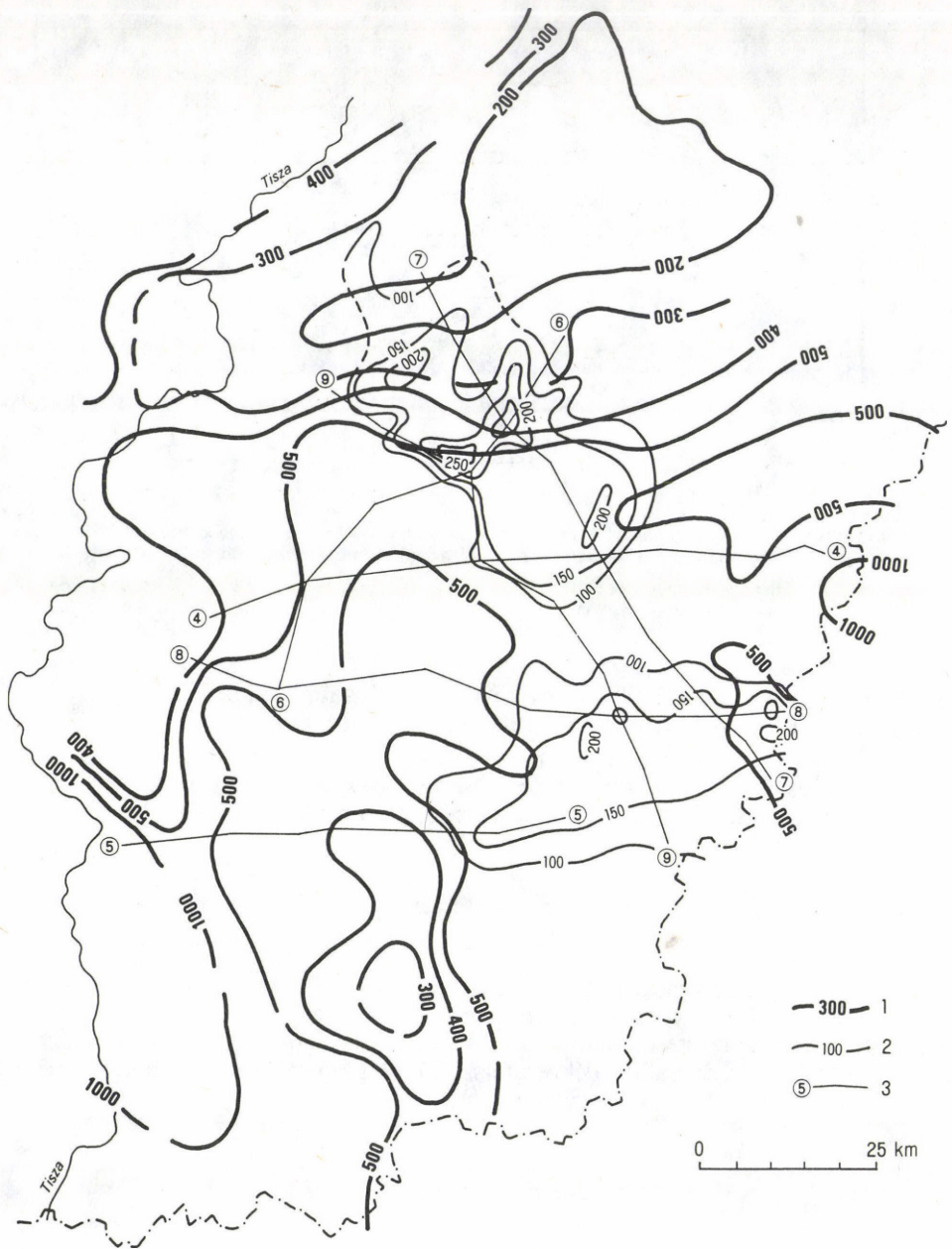
A nagy arzéntartalom mellett nagy hátránya az ivóvízellátásnak az, hogy vékony az édesvízes (az 1000 mg/l-nél kevesebb összes oldott só-t tartalmazó rétegvíz) összlet, ami a Tiszántúli-süllyedékek középső sávjában a legfeltűnőbb (11. ábra).

#### A földgáz és az arzéntartalom kapcsolata

A földgázzal felszálló arzén is forrása lehet a rétegvíz nagyobb arzéntartalmának. A Békési-süllyedékben a legsűrűbben ott vannak a gázos artézi kutak, ahol a legnagyobb a rétegvíz arzéntartalma. Lehetséges, hogy ha jóval kisebb mennyiségben és jóval lassabban is, de a süllyedékben felszálló földgáz ugyancsak hozhat fel arzént, főleg ott, ahol mélyreható töréseket is kimutattak.

#### A rétegvíz pontszerű anomáliája

Előfordulhat, hogy ugyanazon mélységű kutakban erősen különbözik az arzéntartalom, ill. nem arzén területen egyes kutak arzéntartalma kiugró értéket mutat (az 1. ábrán Túrkeve Ny, Öcsöd D, Kunszentmárton DK). Az ilyen pontszerű anomáliák eredete hidrodinamikai (mélyről felszálló víz) és szerkezeti (törésvonalak találkozása), mint ahogy nagyobb, nem pontszerű anomáliák is jelzik a Kenderes—Kisújszállás



11. ábra. Az édesvíztartó összlet vastagsága és a 100 µg/l-nél nagyobb arzéntartalmú rétegvíz területe.. — 1 = az édesvíztartó összlet vastagsága, m; 2 = arzéntartalom (µg/l); 3 = a szelvények (4-9. ábra) helye

Thickness of the fresh water-bearing aquifers and area of arsenic content over 100 µg/l. — 1 = thickness of the fresh water-bearing aquifers; 2 = arsenic content (µg/l); 3 = trace of cross-sections (Figs 4-9.)

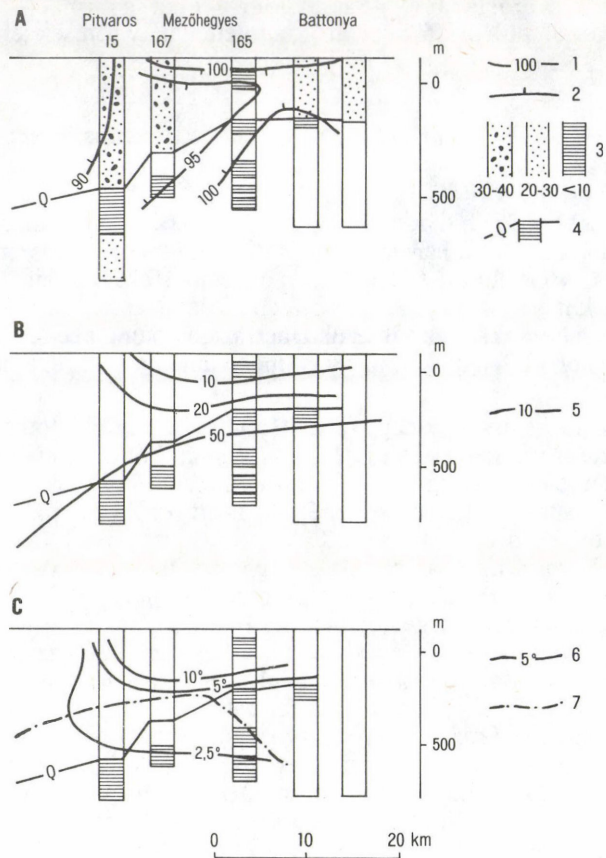
— Ecsefalva — Körösladány — Szeghalom — Füzesgyarmat — Kertészsziget—  
Bucsa—Karcag települések által határolt területen mély törések jelenlétét (1. ábra).

### *A talaj nagyobb arzéntartalmának hidrodinamikai vonatkozása*

Lehetséges, hogy a tiszántúli nagy süllyedékben a talaj arzéntartalmának egy része nem emberi eredetű, hanem a regionális vízáramlási rendszer felszálló vízből került a talajba. A Tiszántúli-süllyedékben öt geomorfológiai szint figyelhető meg: 1. egykori medrek maradványai, 2. alacsonyabb löszfelszínek, 3. magasabb löszfelszínek, 4. folyóvízi homoksávok a löszfelszínek szigeteiként, ezek a lösz alatti folyóvízi homok („kék homok”) ablakai, 5. nagy mélyedmények, a vízrendezés előtti nagy mocsarak (sárrétek).

A Tiszántúli-süllyedék nagy területén természetes állapotban (melyet azóta a víztermelés erősen megzavart) a 100-120 m mély fúrt kutak nyugalmi (nyomás-)szintje már a felszín felett volt (kifolyó vízű kutak). A felfelé szivárgó víz nyomásszintje a felszín közelében volt (helyenként még ma is ott van), ez táplálta a talajvizet. Ahol a nyomásszint a felszín fölé került, ott alakultak ki a sárrétek (nagy sekély tavak és mocsarak). Amikor a nyomásszint az év egy részében a löszös felszínű területen a kapillaris sávban tartózkodott, a víz elpárolgott, a mélyből felhozott só a talajban maradt, — ez a szikesedés geológiai oka. Így alakultak ki a löszfelszín mélyebb részein, a felhagyott medrek egy részében is a szikesek. A magasabb löszfelszíneken a nyomásszint a kapillaris sávot nem érte el — ezek a kitűnő feketeföldes területek. Az elmúlt évtizedekben éppen ezen a termékeny felszínen sokat öntöztek, ezzel megemelkedett a talajvíz szintje (nyomásszintje), elérte és belejutott a kapillaris sávba, tehát megindult a szikesedés. A homokterületeken (a folyami homok ablakaiban) a talajvizet a csapadék táplálja, ebbe a homokba nem ér el a mélyből felszálló víz, a felszíni táplálás és a felszálló rétegvíz között egy semleges sáv alakul ki, amint azt a nyomás-eloszlás szelvénye és a vízkémiai vizsgálatok mutatják (12. ábra). A felszíni eredetű talajvíztáplálást keményebb víz és kevés kloridtartalom, a mélységből felszálló vizet felszínközeli nagy kloridtartalom és lágy víz jellemzi (12. ábra).

Az emberi eredetű arzéntartalom elsősorban a feketeföldet és a homokterületeket veszélyezteti, éppen azokat, amelyek talaját nem szennyezi mélységi eredetű arzén. A megművelt löszterületekről a löszfelszínbe mélyedő szikes laposokba, elhagyott medrekbe mosódhat le az arzén. A homokfelszíneken pedig a beszivárgó vízzel eljuthat a talajvízig. Az egykori nagyobb tavak, mocsarak és egyéb mélyedések talajába a magasabb löszfelszínről és az alacsonyabb, szikes löszfelszínről elfolyó vízzel kerül arzén, növelve annak már meglévő, mélységi eredetű arzéntartalmát.



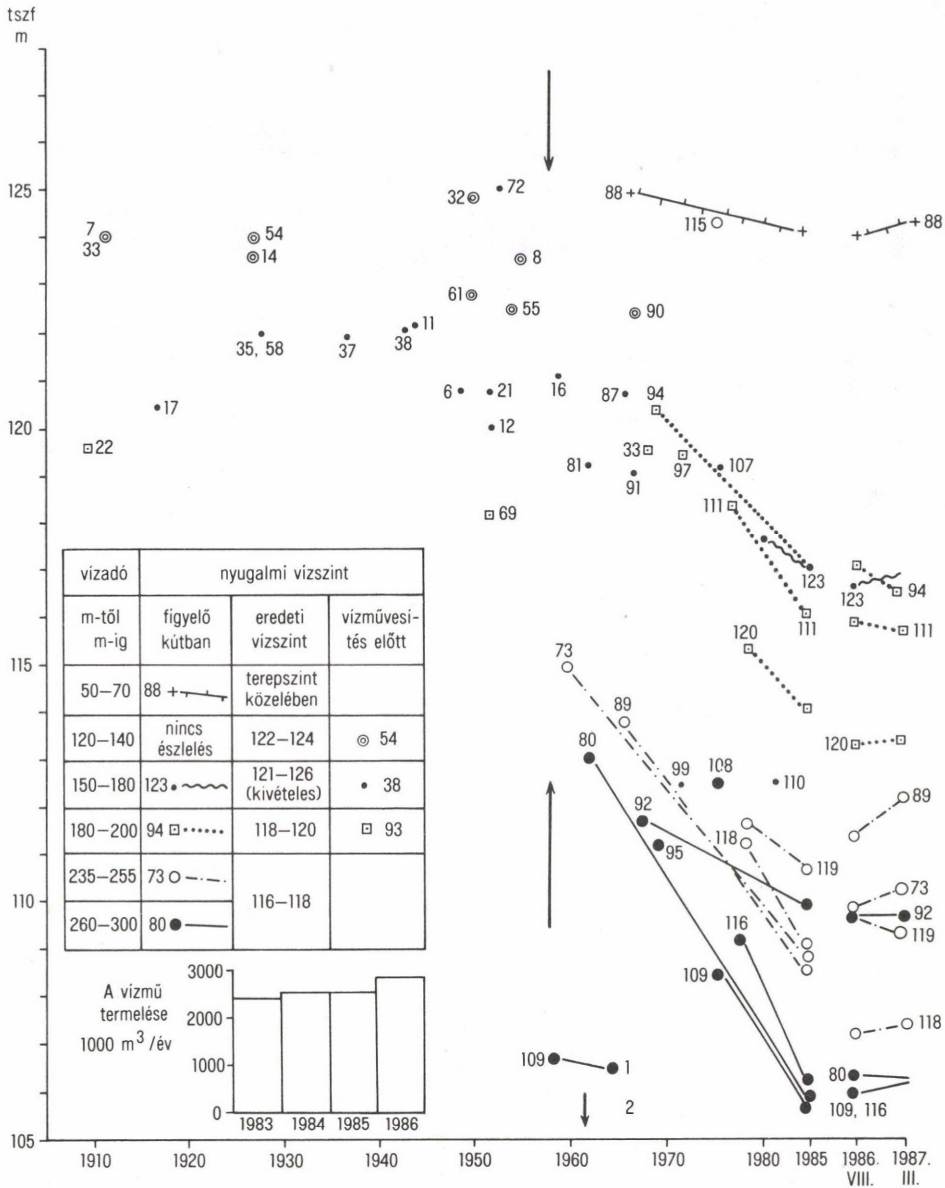
12. ábra. A nyomáeloszlás és a vízminőség összefüggése egy tiszántúli homokterület példáján. — A = nyomáeloszlás; B = klorid-ion tartalom; C = vízkeménység; 1 = nyomásvonal (ekvipotenciál-vonal); 2 = a vízmozgás iránya; 3 = homok-%; 4 = a negyedkori rétegsor fekvélszíne; 5 = klorid-ion tartalom mg/l-ben; 6 = vízkeménység német fokban; 7 = az édesvízi öszzlet alja

Pressure distribution and water quality in an eastern sand area. — A = pressure distribution; B = chloride-ion content; C = hardness of water; 1 = equipotential contour; 2 = direction of groundwater movement; 3 = sand percentage; 4 = base contours of the Quaternary deposits; 5 = chloride-ion content, mgs/l; 6 = hardness of water ('German hardness'); 7 = base contours of the fresh water-bearing deposits

### Változik-e az arzéntartalom a tartós víztermelés hatására?

Erre közvetve válaszol a bácskai arzénos rétegvízrel foglalkozó tanulmányom (ERDÉLYI M. 1986). A 150-190 m-es vízadó szintet Kiskunhalason kb. 80 éve termelik és 1957-től, a vezetékes vízellátás kezdetétől felgyorsult víztermeléssel e réteg jórészt kimerült. Ennek a szintnek a vízében 1981. decemberében az arzéntarta-





13. ábra. A rétegvíz szintcsüllyedése a kiskunhalasi vízmű kútjaiban. — 1 = a figyelőkút kataszteri sorszáma és a szintcsüllyedés vonala; 2 = vezetékes vízellátás kezdete

Decline of artesian water level in waterworks of Kiskunhalas. — 1 = serial number of monitor well and falling water level; 2 = year of opening the piped water supply

lom 37, 38 és 39  $\mu\text{g/l}$  volt. Az 1960-ban megnyitott és kissé mélyebb, 188-207 m-es figyelőkút vizében 1981-ben 15  $\mu\text{g/l}$  volt az arzéntartalom. Az 1960-tól fokozatosan megnyitott, a pleisztocén feküjéig mélyült kutak adják 210-299 m-es mélységből a víztermelés egyre növekvő, jelentékeny hányadát. Az 1979-től termelő új kút vizében 1981-ben még csak 2  $\mu\text{g/l}$  volt az arzéntartalom. Ugyanakkor az 50-60-as években a 188-207 m-es szintből megkezdett víztermeléssel csak 15  $\mu\text{g/l}$ -ig emelkedett. A 150-299 m közötti durva homokos vízadó összlet vízkémiai szempontból, tehát a víz arzéntartalmát illetően is egységes. A különbség a túltermelés, rohamos szintmélyedés következménye (13. ábra).

A víztermelés mennyisége Kiskunhalason — főleg a vízművesítés óta — jelentősen felülmúlja a természetes utánpótlódást. Ennek bizonyítéka, hogy 1960-tól 1986 végéig a 180-200 m-es szint 5 m-rel, a 260-299 m-es szint 9 m-rel süllyedt. Valószínű, hogy az erőltetett termelés miatt a durvaszemcsés vízadó szintekben lévő finomszemcsés agyagos lencsék nagy arzéntartalmú vize, az ún. „járulékos készlet” bejut a kútba. Ez igazolja azt, hogy a legrégebben termelt szintben 8-10-szeres az arzéntartalom (ERDÉLYI M. 1986).

Békésben is van néhány megismételt elemzési adatsor, amely szerint az arzéntartalom idővel növekedni látszik. Nehéz itt pontos információt nyerni, mert a megismételt elemzések legtöbbször nem ugyanabban az intézményben, ill. nem azonos módszerrel készültek. Az elemzési dokumentáció pedig legtöbbször nem közli az elemzés módszerét.

### Várható-e máshol is az arzén megjelenése?

Igen, mégpedig ott, ahol a 200-300-nél mélyebb kutak vizét még nem elemezték, vagy ott, ahol a régi, 8-10 éves elemzési adatok helyett ellenőrző, új analízisek más, nagyobb tartalmat mutathatnak ki. Az elemzések sűrítése felderíthet eddig ismeretlen, szerkezeti eredetű pozitív anomáliát, ahogy azt néhány újabb vizsgálat is igazolja.

Újabb pozitív anomáliákra főleg ott lehet számítani, ahol nagy mélységig az arzéntartalom meghaladja az 50  $\mu\text{g/l}$ -t, vagyis ahol nem csak a pleisztocén, hanem a felsőpliocén és felsőpannon rétegvíz is „tiszai vízvidéki” üledékben található, vagyis a Szarvas K—Fábiánsebestyén—Derekegyháza—Orosháza (Gyopáros)—Hódmezővásárhely K. vonalban (11. ábra).

### Javaslatok

Az egyik legnagyobb országos probléma a tartós termeléssel együttjáró minőségi romlás, mely a meglévő adatokból kifogástalanul még nem bizonyítható. A „gyanús” vízművek vizét — főleg ahol a víztermelés az utóbbi 15-20 évben igen megnövekedett, amit a szintcsüllyedés jelez — részletesen újra kell vizsgálni és a kutak vizének elemzéseit azonos módszerrel meg kell ismételni rövidebb időszakonként, főleg az erőltetett csúcsidőszaki termelés után.

Az arzénes rétegvízű területeken (Tiszántúl, Duna-Tisza köze D-i sávja) elkerülhetetlen lesz a „kettős vízellátás” megvalósítása, mert a talajvíz csaknem mindenütt rossz minőségű és kevés. Ezért is épült ki 120-130 év alatt a mélységi vízből történő vízellátás. A talajvíz — még ahol kedvezőbb volt is a hozam és a minőség — 2-3 évtized alatt elnitratósodhat.

#### IRODALOM

- Carte géologique 1:200 000, 19... Comité d'état pour la géologie. — Institut Géologique, Bucuresti
- ERDÉLYI M. 1979. A Magyar Medence hidrodinamikája — Hydrodynamics of the Hungarian Basin. — VITUKI Közlemények 18. pp. 1-82.
- ERDÉLYI M. 1986. Az arzénes rétegvíz a Duna-Tisza köze déli részén. — Kézirat
- ERDÉLYI M. 1988. A tiszántúli arzénes rétegvíz hidrogeológiája. — Kézirat
- HEM, J.D. 1985. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. Third ed. — U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2254., Reston, Va. USA
- MOLNÁR B. 1988. A Nagyalföld DK-i része harmadidőszaki és negyedidőszaki feltöltődésének modellezése. — Kézirat, Szeged
- NAGYISTÓK F. 1988. Az arzénmentesítés vízföldtani lehetőségei Csongrád megyében. — Vízügyi Közlemények LXX. pp. 130-139.
- ONCESCU, N. 1965. Geologia Romaniei, Ed. III. — Editura tehnica, București, 534 p.
- SZEDERKÉNYI T. 1988. Az arzén származásának lehetséges módozatai az Alföld DK-i részén. — In: A környezet arzénszennyeztségének településegészségügyi kérdései a dél-alföldi régióban. A Szegedi Akad. Bizottság kiadv. pp. 12-22.
- TENU, A. 1981. Zacamintele de ape hipertermale din Nord-Vestul Romaniei. — Acad. Rep. Soc. Romania, București, pp. 1-208.
- U.S. Environmental Protection Agency 1976, Drinking water regulations: radio-nucleides. — Federal Register 41. 133 p.
- VARSÁNYINÉ TÓTH I. 1988. Az arzén előfordulása a természetben. — Kézirat

#### ARSENIC CONTENT OF ARTESIAN GROUNDWATERS OF THE GREAT HUNGARIAN PLAIN

by *M. Erdélyi*

#### S u m m a r y

The over 50 micrograms per litre arsenic content of the artesian drinking water of the Great Hungarian Plain is known since the late nineteen seventies. Over 5,000 water analyses showed that unacceptable arsenic content of the drinking water occurs in two major lowland areas: 1. a 1,270 sq km strip of the Danube—Tisza Interfluvium along the Yugoslavian border. The author's hydrogeological evaluation of this strip was the first one showing the area and distribution in the subsurface space of the arsenic content over 50 micrograms per litre (Manuscript, 1986). 2. A 57,500 sq km area in the eastern half of the Great Plain concerning arsenic content was described in 1988 by SZEDERKÉNYI (geochemistry), NAGYISTÓK (water supply), MOLNÁR (sedi-

mentology), MRS. VARSÁNYI (water chemistry) and the author (hydrogeology). This article is based on about 2,000 reliable analyses and shows the areal (Figs 1, 3 and 11) and subsurface distribution of the arsenic content (Figs 4-9).

The arsenic content is of geological origin. The arsenic content of the unweathered igneous rocks is less than that of their clayey mantle rock. The eroded volcanic material of the emerged area has been transported by the streams and deposited in the western subsiding area during the Pliocene and Pleistocene. The source of arsenic of the lower (Pliocene) deposits of the deep basin was the erosion products of predominantly andesitic pyroclastics.

Contrary to this the arsenic of the upper (Quaternary) sequence is of dual origin the pyroclastics as earlier and erosion and deposition of eroded material of Pliocene deposits brought to the surface by post-Pliocene emergence. All the basin deposits are rich in clay because of the high clay content of weathered pyroclastics and are predominantly fine-grained because of the sluggish character of streams which filled up the shallow lakes and swamps of the subsiding western part of the area.

The whole deep basin of today is characterized by high vertical hydrodynamic gradients causing slow regional upward movement of the deep groundwater in the southern half of the area. The net-like pattern of high ion-concentration of the northern part suggests that beside the regional upward seepage the overheated thermal water of thick and deep Mesozoic karstified rocks moves upward along narrow strips of the sedimentary sequences overlying the fractured zones of the deep-lying hardrock basement.

The Quaternary and upper-Pliocene sedimentary rocks of the present and former Danubian catchment are poor in arsenic owing to the negligible percentage area of igneous rocks thereof.

Marked difference between arsenic content of Danubian and eastern deposits makes possible the areal separation of the two type of sedimentary rocks as well as their vertical interfingering in borehole profiles of a zone east of the Tisza river. In this zone the deeper upper-Pliocene deposits are of Danubian origin and those overlying to the surface are composed of the erosion products of eastern watersheds.

Is increasing the arsenic content by overpumping? It is a definite yes in spite of few series of water analyses of the some aquifer over a longer period of time. Fig. 13. proves it. The upper part of a thick aquifer has been pumped for decades. The arsenic content was high before giving up pumping because of critical lowering of the head. The newly opened deeper part of the aquifer yielded low arsenic content of the pumped water for a short period of pumping but with rapidly increased with the overdraft.

According to hundreds of water analyses the arsenic content in the finer grained dirty sands is much higher than those of coarse-grained ones of the same aquifer formation. Presumably the water of the fine-grained lenses within the aquifer will only be released during heavy pumping and after a longer period of withdrawal.

Translated by the author