

AZ IVÓVÍZKÉSZLETEK VÉDELME NEK HIDROLÓGIAI VONATKOZÁSAI[⊗]

HYDROLOGICAL ASPECTS OF THE PROTECTION OF DRINKING WATER RESOURCES

MARTON Lajos

H-2683 Acsa, Petőfi u. 4.
lamarton@invtel.hu

Kivonat: A felszín alatti vízkészletek védelme korunk egyik legfontosabb műszaki és tudományos kérdésévé vált. Miközben Európa vízkészletei veszélyben vannak, hazánknak helyzeti előnye van Nyugat-Európához képest vízbeszerzési források és vízminőség tekintetében. A Magyar Alföld rétegzett pleisztocén és felsőpannon üledékei hatalmas mennyiségű édesvíz készleteket tárolnak, amelyek stratégiai jelentőségű készletek, és nemzetközi osztályozás szerint is a világ nagy vízadó rendszerei között szerepelnek. Az elmúlt 130 évben többnyire „vízbányászat” folyt, ennek mértékét indokolt lenne csökkenteni. A hidrogeológiában az elmúlt 50 évben új szemléletet hozó eredmények jelentek meg, amelyek hazai elfogadása terén nekünk is feladataink vannak

Kulcsszavak: Víz Keretirányelv, nyomásszint-csökkenés, Regionális Áramlási Rendszer, vízkészletek védelme

Summary: Protecting of drinking water resources is one of the principal technical and scientific tasks of our days. The aquifers of the Great Hungarian Plain are one of the largest freshwater bases in Europe. The Pleistocene and Upper Pannonian layers of the Great Hungarian Plain are reservoirs of huge amount of fresh water and 80 per cent of wells are drilled on these aquifers. In the first half of the last century most of the wells were effluent ones. The extended abstraction of large quantities of water resulted in remarkable declines of the potentiometric surface (hydraulic head) in aquifers and produced drawdowns of regional scale. Since the 1990s, the water extraction has been decreased in Hungary by 40-45 per cent. Subsequently, the hydraulic heads began to rise in the vicinity of water works, but at larger distances (8-10 km) they kept on sinking. This phenomenon is a clear manifestation of hydraulic continuity of large stratified sediment basins.

In the first half of the 20th century the focus of attention was the aquifer, a geologic unit that can yield economic quantities of water. Active groundwater development has led to the recognition over the past quarter of a century that aquifers are vulnerable to overdraft leading to declining productivity and that aquifer exploitation may cause adverse consequences such as land subsidence and deterioration of wetlands. Experience shows that aquifers are components of larger hydrogeological units and that the notion of “protection of aquifers” has broader implications in space and in time. Because of the open nature of the hydrologic system, protection of aquifers must involve planning on a basin-wide scale. This requires that water management must be aided by long-term monitoring of the hydrogeologic system for water quantity as well as quality.

The concept of multi-aquifer systems has been developed in which aquifers can receive water through subjacent and superjacent aquitards. The problem was mathematically analyzed first by Dutch hydrologists and engineers, and later by Jacob and Hantush. The first important Russian contribution on this subject came from Mjatiev, who analyzed the interaction of pervious strata separated by semiconfining beds. Hubbert (1940) published “The Theory of Ground-Water Motion”, a paper that still remains definitive. He examined the physical meaning of the fluid potential, derived a tangent law for the refraction of flow lines, and established the foundations for the study of regional groundwater systems. In the 1960's attention has again turned to the regional scale, with the groundwater basin as the unit of hydrological study. Tóth (1962, 1963) obtained solutions by analytically modeling flow patterns in a two-dimensional homogeneous basin for two different water-table configurations. In this approach the topography of the water table, which is strongly related to the topography of the land surface, is considered as a major factor in the hierarchical nesting of gravity-driven groundwater flow patterns. This results in flow-systems of different orders of magnitude in lateral extent and depth of penetration. Freeze and Whitherspoon (1966, 1967) followed up the work by developing a method of analyzing regional groundwater flow based on numerical mathematical models.

[⊗] Szaklektorált cikk. Leadva: 2010. augusztus 28., Elfogadva: 2010. szeptember 27..
Reviewed paper. Submitted: 28. 08. 2010., Accepted: 27. 09. 2010.
Lektorálta: Prof. Dr. SZŰCS Péter / Reviewed by Prof. Dr. Péter SZŰCS

Figure 4. shows an excellent Hungarian demonstration of flow directions in a multi-aquifer system following the landslide of the high banks of the Danube river in 1964.

1. BEVEZETÉS

A felszín alatti édesvíz-készletek – mint a legfontosabb ivóvíz-bázisok – egyre fontosabbá válnak az emberiség létfenntartásának folyamatában. A vízkészletek kérdése globális problémává vált, s az emberiség a 21. századba a víz világválság fenyegetésével érkezett. Az 1990-es évek végére a vízzel hivatás-szerűen foglalkozó szakemberek többsége elfogadta, hogy a világ olyan víz-válság elé néz, amely példa nélküli az emberiség történetében. Nem túlzás tehát megfogalmazni, hogy a felszín alatti vízkészletek védelme korunk egyik legfontosabb műszaki és tudományos kérdésévé, sőt napjainkban politikai kérdéssé vált.

A higiénikusok szerint az az eszményi, ha az ivóvíz csak „a pohárban” kerül napvilágra. Az ivóvízszükséglet fedezésében a felszín alatti vizek az elsőség. A felszín alatti vizek "ásványi kincs" szerepét csak az utóbbi évtizedekben kezdték felismerni és a természeti erőforrások között nemzeti vagyonként szerepeltetni. A Magyar Alföld rétegzett pleisztocén és felsőpannon üledékei hatalmas mennyiségű édesvíz készleteket tárolnak. Ezek stratégiai jelentőségű készletek, melyek az Alföld ásványi kincsét képezik, és nemzetközi összehasonlításban is a világ nagy vízadó rendszerei között szerepeltetik (Margat 2007). A tudomány művelőinek és a politikusoknak oda kell hatniuk, hogy a víz stratégiai szerepe a magyar társadalomban is tudatosodjék.

Az alábbiakban a vízkészletek védelmének hidrológiai vonatkozásait tekintjük át, és nem foglalkozunk a különböző típusú szennyeződések kivédésének és kártalanítások technológiai kérdéseivel, mivel az külön önálló ágát képezi a védelemnek.

2. VESZÉLYEZTETETT VÍZKÉSZLETEK

Ismereteink szerint a Föld vízkészletének mindössze 1%-a az emberi fogyasztásra alkalmas édesvíz. Ez is egyenlőtlen eloszlásban van jelen, ennek következtében több mint 2 milliárd ember nem jut egészséges ivóvízhez. Európában az ivóvizek mintegy 65%-a felszín alatti vizekből származik. Napjainkban Európa vízkészletei már veszélyben vannak, amelynek oka részben a túlzott vízfelhasználás, részben a szennyezés – jelentette be a WWF (World Wide Fund for Nature) egy közzétett beszámolójában. Európában a városi vízművek 60%-a az utánpótlódást meghaladó mértékben termel ki felszín alatti vizet. A nemzetközi környezetvédő szervezet 23 országban, így hazánkban is végzett felméréseken alapuló tanulmánya Olaszországot, Görögországot és Spanyolországot sorolta a vízzel legrosszabbul gazdálkodó országok közé, míg Belgiumot, Finnországot és Svédországot találta a legjobbakkak.

A víz nem áll meg az államhatároknál. Jó példa erre a Kárpát-medence, amely egyetlen hidrológiai egység, és jelenleg 8 ország osztozik rajta. Az egyik országban történő vízkitermelés drámaian befolyásolhatja a másik ország vízkészletét. Mivel a felszíni és felszín alatti víz a fizika törvényei szerint áramlik, a hidrológiai és hidrogeológiai rendszereket teljes egészükben kell vizsgálni, hasznosítani, és a készletekkel gazdálkodni. Ilyen körülmények között a vízgazdálkodás nemzetközi összefogást, valamint megfelelő kormányzati és jogi intézményrendszereket igényel.

Európa vízellátottsága a világ számos területéhez képest kedvező, a kontinens általános vízhiánytól nem szenved. A kérdés közelebbi vizsgálata azonban jelzi, hogy Európa vizeinek minősége távolról sem tekinthető kielégítőnek, és intézkedéseket kell tenni a további romlás megakadályozására. Ennek az igénynek jogi formába foglalt intézményi dokumentuma az EU Víz Keretirányelv (2000. december 22), amely minden vizet törvényes védelem alá helyez. Európa kormányai szerződésben vállaltak kötelezettséget az Irányelvben foglaltak betartására. A Víz Keretirányelv szerint meg kell akadályozni a vizek állapotának romlását, illetve meghatározott időn belül (általában 15 év alatt) el kell érni a vizek "jó állapotát", amely a természeteshez közeli ökológia állapotot és határértékek szerint szabályozott vízminőségi állapotot jelent. Ebből az következik, hogy belátható időn belül a kutatásoknak is az országhatárokon átívelőnek kell lenniük.

Mint ahogy a világ más pontjain, egy az ELTE-n készült dolgozat szerint (Szalkay 2004) elvileg Magyarországon is kialakulhatnak konfliktusok édesvízszűkösség eredményeként az alábbi tényezők

miatt: – földrajzi okok, – demográfiai, társadalmi okok, – gazdasági okok és – éghajlatváltozás. Szerzője a kérdést elsősorban a felszíni vizek tekintetében vizsgálja.

A világ számos más országában is találkozunk azzal az adottsággal, hogy a vízgyűjtő területeket és a vízbázisokat államhatárok osztják meg, így ez a probléma több helyen nehezen kezelhető helyzetet teremthet. 2009. március 16-22. között került sor az Ötödik Víz Világ-fórum (Fifth World Water Forum) megrendezésére a World Water Council (WWC) szervezésében Isztambulban (www.worldwaterforum5.org). A fórum mottója „Bridging Divides for Water” volt, ami közelítően „Hídverés a felek között a vízért” értelemben fordítható, amely világosan rámutat a nemzeti és nemzetközi együttműködés szükségességére az emberiség vízigényének kielégítése érdekében. Megfogalmazták annak a követelménynek igényét, hogy a víz, és különösen a vízszűke a béke és együttműködés forrása legyen, ahelyett, hogy nemzetek közötti konfliktusokat okozzon. Nagy figyelmet keltett a rendezvényen a US Geological Survey (Geológiai Szolgálat) és a US Army Corps of Engineers (Katonai Műszaki Alakulatok) együttes bemutatója. Miközben ismertették Irak vízkészleteit és azt a bonyolult műszerezettséget, amelyet az iraki folyókra beépítettek, a bemutatón csendesesen rámutattak arra a kiábrándító realitásra is, hogy Irak és Törökország határon átnyúló vízkészletei ezen országok között 2020-2025-re konfliktusok forrásai lehetnek. Ezt arra alapozzák, hogy Irak felszíni vizeinek 70%-a Törökország hegyeiben ered, ahol jelenleg több forrásvidéken duzzasztógátákat építenek a visszatartás céljából (Kazemi 2009).

3. MAGYARORSZÁG VÍZKÉSZLETEI EURÓPAI ÉS GLOBÁLIS KITEKINTÉSBEN

A közelmúltban figyelemreméltó könyv jelent meg a világ nagy vízadó rendszereiről “Great aquifer systems of the world” címmel. Szerzője, Jean Margat (2007) francia hidrogeológus szemügyre veszi a világ 37 legnagyobb vízadó rendszerét, amelyek kiterjedése egyenként 100 ezer és 2 millió négyzetkilométer között van. A világ legnagyobb ismert vízadó rendszere a „Nubiai homokkő vízadó rendszer” (Nubian Sandstone Aquifer System), amely lényegében egész Észak-Afrikát átölelve, Egyiptom, Líbia, Csad és Szudán területe alatt fekszik, s roppant mennyiségű vízkészletét a Nilus 3750 éves vízhozamával egyenértékűnek becsülik. Európából két nagy vízadó rendszer, a „Pannon-medence” és a „Párizsi-medence” szerepel a felsorolásban. A Kárpát-medence, amelynek közepén Magyarország fekszik, Európa legnagyobb hegységközi medenceegyüttese. Nevezik Pannon-medencének is, minthogy kiterjedését az újharmadidőszaki Pannon-beltenger üledékei határozzák meg. A Pannon-medence legnagyobb tájegysége az Alföld, a maga 100 000 km² kiterjedésével, melynek kevesebb, mint a fele, kerekén 45 000 km² tarozik ma Magyarországhoz (Rónai 1985).

Magyarországon hasznosítható vízkészlettel a triász alaphegység, harmadidőszaki mészkő és konglomerátum, továbbá a felsőpannoniai és negyedidőszaki porózus üledékek rendelkeznek. A hidegvizes mélységi víztárolók közül legjelentősebbek a negyedkori folyóvízi lerakódások. Az ország fűrt kútjainak 80%-át ezekre a rétegekre képezték ki. Hazánknak helyzeti előnye van Nyugat-Európaéhoz képest vízbeszerzési források és vízminőség tekintetében. Magyarországon döntő mértékben rétegvizekből történik az ivóvíz előállítása, illetve kisebb mértékben felszíni vizekből és ebben az esetben is meghatározó mértékben parti-szűrészű kutakból.

4. MAGYARORSZÁG FELSZÍN ALATTI VÍZKÉSZLETÉNEK HASZNÁLATA

A hazai és általában az európai vízellátási helyzetet egészen a 19. század közepéig az jellemezte, hogy a helyi adottságoktól függően a forrásvíz, folyók és tavak, ezek hiányában ásott kutak vize szolgált ivóvízként. Magyarországon a lakosság többsége az ásott kutak vizére volt utalva, amelyeknek száma 600 000-re volt tehető (Papp 1939). Az ásott kutak vize többnyire már eredetileg is kifogásolható volt, vagy egyre inkább elszennyeződött. Különösen komoly gondok voltak az Alföldön, ahol a talajvizekre telepített ásott kutak erősen szennyezettek, fertőzöttek voltak, ezért alternatív forrásként a felszíni vizeket is használták. Egyre sürgetőbbé vált a mélyebb felszín alatti vizek feltárása és használatba vétele.

Magyarországon a felszín alatti víz feltárásának első kísérletei a 19. század első felében kezdődtek, de ezek még kezdetleges technológiával történtek. Csak a század második felétől, a fűrástechnológia fejlődésével indult általános és regionális hidrogeológiai kutatás. 1900-ban már mintegy 2400 artézi

kutunk van, s ezeknek túlnyomó része az Alföldön (Lászlóffy 1982, p. 410). Több vállalkozó szellemű iparos kezdett fúrással foglalkozni, különösen az Alföld déli részén, ahol a földtani viszonyok olyan páratlanul kedvezőek voltak, hogy már sekély mélységben (30-35 m) felszökő vizet találtak. A kutak 40%-a felszökő vizet adott. A Délalföld nagyobb városaiban minden tehetősebb gazda udvarán artézi kutat fúrtak. Mivel az 1913. évi XVIII. tc. életbeléptetése előtt a vízjogi törvény értelmében saját területén bárki engedély nélkül létesíthetett kutat, és maga a kútfúrás nem tartozott a képesítéshez kötött iparok közé, sok volt a helytelenül megépített kút. A költségek csökkentése érdekében, és az elhomokolódástól való félelem miatt is, a minden elzárószerszerkezet nélkül készített kutak éjjel-nappal megszakítás nélkül ontották a vizet. Ez azonban **a vizek nagymértékű pazarlásához** vezetett. A vízkincsrel való rablógazdálkodás hamarosan megbosszulta magát: a kutakban csökkent a víznyomás.

Az artézi kutak ugyanakkor rendkívüli szerepet játszottak az Alföld egészségügyi színvonalának emelésében. Az Alföld lakosságának nagyobb része nyílt edényben, kannákban és lajtokban hordta a kútról a vizet. Amíg a legtöbb európai ország 30-50%-os hozzájárulással és kamatmentes kölcsönökkel segítette a vízművek építését, a magyar állam az ügy érdekében érdemleges áldozatokat nem hozott (Lászlóffy 1982, p. 413).

A vízellátáshoz igénybe vették a nagy folyók menti sekély vízadó rétegek vizét is, parti-szűrészű kutak létesítésével. Budapesten az első vízművet 1868-ban helyezték üzembe a Duna kavicssteraszán, mely 4 aknakútból állt. Az alföldi kutakon kívül több domb- és hegyvidéki településen mérnöki-, geológiai irányítással épített gravitációs rendszerű forrásfogaló művek biztosították a vízellátást.

A vízöblítéses fűrásmód bevezetése (1890) új fejezetet nyitott a vízföldtani kutatásban, illetve az ország vízellátását szolgáló kutak fűrásában. Az ország akkori területén, amely az egész Kárpát-medencét jelentette, a békés időszak végén már mintegy 5 000 fűrt kút szolgáltatva az ivóvizet Magyarországon. Az 1940-es évek elején pedig, már az ország lecsökkent területén, kb. 24 000 artézi kutat tartottak nyilván. Az Alföld artézi rétegvíz készletének utánpótlódási kérdései azonban tisztázatlanok voltak, így azok védelme még nem szerepelt a hidrológiai feladatok között, a víz még nem szerepelt az ásványi kincsek védendő készletei között. A század első felében **folytatódott a vízpazarlás**, főleg a szabad kifolyású alföldi pozitív artézi kutakból.

A II. világháború után bekövetkezett gazdasági fejlődés a vízigényes technológiák elterjedésével ugrásszerűen bővítette a gazdasági célú vízfelhasználást és ezzel párhuzamosan rohamosan növekedtek a lakossági vízigények is. A 20. század második felében felgyorsult az alföldi vízellátást szolgáló kutak építése, 1980-ban az országban 58 000 kutat tartottak nyilván, és ebből 43 000 volt az Alföldön. A vízdíjakon lévő jelentős állami támogatás nem ösztönzött a vízzel való takarékosagra, ami a felszín alatti vízkincs további pazarlásához vezetett. Jellemző a növekedés mértékére, hogy országunk vízfelhasználása az 1970. évi 3 milliárd m³-ről az 1990-es évek elejére 8 milliárd m³-re emelkedett s az 1970-es évektől kezdődően már tapasztalni kezdték ennek következményeit: az alföldi rétegvizek energiaszintjeinek (potenciometrikus szintjeinek) csökkenését. A hazai szennyvíztisztítás fejlesztése viszont messze elmaradt a szükségestől, emiatt felgyorsult vízkészleteink elszennyeződésének folyamata, amely korlátozza, és egyre drágábbá teszi az újrahasznosítást, illetve jelentősen rontja a víz minőségét.

Az 1989-ben Magyarországon végbement politikai és gazdasági rendszerváltozás gyökeres változásokat hozott a vízgazdálkodásban és a tudományos munkában. 1989-ben már tartós lemaradásban voltunk a nyugateurópai technikai szinttől, s közben megkezdődtek az uniós csatlakozási tárgyalások. Ezek rendkívüli elvárásokat fogalmaztak meg az élet számos területén, így a vízügy területén is. Ennek legnagyobb tehertétele a csatornázás minden elmaradásának felszámolása 2015-ig.

A rendszerváltozást követően az állam fokozatosan megszüntette a nyersanyagkutatások állami finanszírozását. A kutatóintézetek földtani apparátusa egyharmadára csökkent. A *Központi Földtani Hivatal* megszűntették, helyette létrehozták a *Magyar Geológiai Szolgálatot*, kizárólag az állami feladatok ellátására. 2007. január 1-én a Geológiai Szolgálatot is megszüntették, jogutódja a *Magyar Bányászati és Földtani Hivatal* lett. A tudomány és oktatás új alapokra helyeződött, struktúrájában és irányvonalaiban is megváltozott.

A vízgazdálkodás elé is új feladatokat állítottak, s nagyon erős vízkészlet-takarékosságra ösztönző intézkedéseket fogantatosítottak. Bevezették a víz piaci árát, ami országosan 30-40%-os fogyasztás-csökkenést eredményezett. Ennek hatására kedvező irányú regionális hidrológiai változások

következtek be az Alföld víztartó rétegeiben. Az ÉK-Alföld rétegvizei energiaszintjének 1966-2006 között végbement 40 év időtartamú változásairól Marton (2009a, p. 534; 2010 p. 17) készített térképi és grafikus ábrázolásokat.

A vízfogyasztás csökkenéseként jelentkező nyomásszint (energiaszint) emelkedés a víztermelő üzemek területén azt a képzetet kelthetik még a szakemberek körében is, hogy a vízbázisokban visszaállhat az eredeti, vagy az azt megközelítő energiaszint. Ez azonban nem lehetséges, már csak azért sem, mert a mélyebb rétegek készleteinek utánpótlódása jóval lassúbb, mint a kitermelés üteme, még abban az esetben is, ha a jövőben további megtakarításokra törekszünk. Ezt azok a kutatások is alátámasztják, amelyek az energiaszintek emelkedésével kapcsolatosak. Ennek az a lényege, hogy a vízművek területén a fogyasztáscsökkenés miatt emelkednek ugyan a vízszintek, de a távolabbi területeken továbbra is csökkennek, az emelkedés egy része tehát a nyomáskiegyenlítődés következménye (Marton 2009a, p. 540).

Az Alföldön mintegy 130 éve folytatott víztermelés jellegéről összefoglalóan megállapítható, hogy a Magyar Alföld rétegzett pleisztocén és felsőpannon üledékeinek vízkészletei nemzetközi összehasonlításban is jelentős nagyságúak, s bár van utánpótlódásuk, a **pótlódás mértéke jóval lassúbb, mint a kitermelés üteme.**

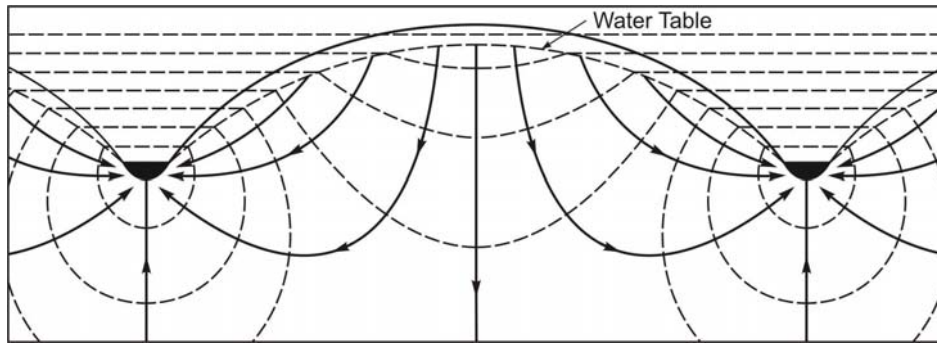
5. SZEMLELÉTVÁLTOZÁS A HIDROGEOLOGIÁBAN

Az elmúlt 50 évben a vízfelhasználás rohamos növekedése világszerte arra a felismerésre vezetett, hogy a vízádókat sérülékennyé teszi a túltermelés, hogy csökkennek a készletek, hogy környezeti károk jelentkeznek. A tapasztalat azt mutatta, hogy a vízádó rétegek és összletek, vagy mai szóhasználattal „vízbázisok” nagyobb hidrogeológiai egységek részei, és hogy a „vízbázisok védelme” fogalom szélesebb értelmet kap térben és időben. Mivel a **hidrológiai rendszerek nyitottak**, a vízbázisok védelme a rendszer egészére kiterjedő összehangolt tervezési tevékenységet igényel, és a felszíni és felszín alatti vizek koordinált használatát jelenti. Ez szükségessé teszi a hidrogeológiai rendszer folyamatos, hosszú ideig tartó ellenőrzését és figyelését (monitoring) a kitermelt víz mennyisége és minősége tekintetében. Egy ilyen monitorozó rendszer elméleti alapja a Regionális Áramlási Rendszer (Regional Groundwater System) koncepciója. A regionális áramlási rendszer fogalma elméletileg az áramlási rendszerek hierarchiáját, a hidraulikai folytonosság koncepcióját és az átszivárgó rendszerek létezését és működését jelenti (Narasimhan 1999).

5.1. Az áramlási rendszerek elméletének születése

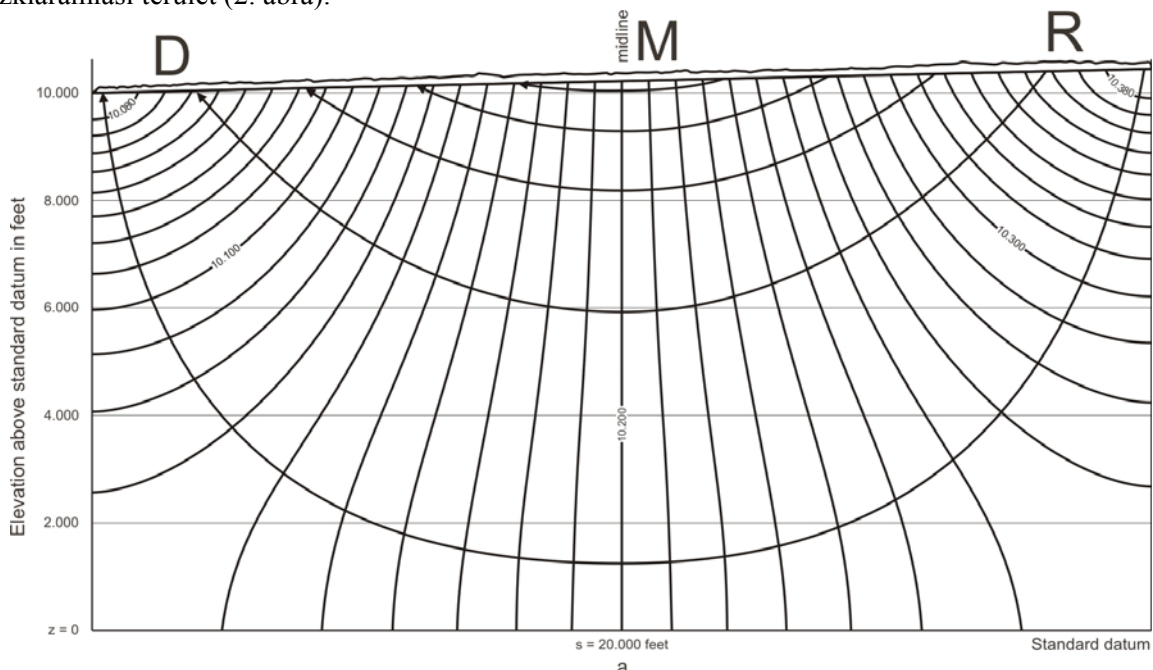
Az áramlási rendszerek létezésének felismerése és tudományos vizsgálata új szemléletet hozott a hidrogeológiai gondolkodásba. Amíg korábban az aquifer volt a hidrológiai vizsgálatok alapegysége, mára a regionális medence áramlási rendszere került a figyelem és a kutatás középpontjába. Röviden fogalmazva, a kúthidraulika helyébe a medence áramlási rendszerének hidrológiája lépett. Az áramlási rendszerek új elmélete kidolgozásának történetét célszerű a legilletékesebbtől, magától a szerzőjétől idézni, Tóth J.: „Célba értem: önéletrajzi vázlat” (in: Horn J. 2010) alapján:

„Beosztottak Közép-Albertának egy körülbelül 200×200 km-es területére, „talajvíz-geofizikus” minőségben, hogy a környék gazdáinak, településeinek és ipari üzemeinek a felszín alatti vizekkel kapcsolatos problémáival és kérdéseivel foglalkozzam mint tanácsadó, — mi tagadás, bedobtak a mélyvízbe! Úgy gondoltam, hogy a várható problémák általános hátterének a megismerésére leggyorsabb és legjobb mód az lesz, ha megértem egy esőcsepp útvonalát, attól a helytől és pillanattól kezdve, amikor az beszivárog a talajba, addig, amíg újra a felszínre kerül. Kollégáimtól azt a tanácsot kaptam, hogy ennek a kérdésnek megválaszolásához legjobb kiindulás M. King Hubbert (1940) nagyra becsült, de kevesek által értett dolgozata. Elolvastam mind a 159 oldalát és megpróbáltam a tanultakat alkalmazni. Hamarosan azonban eltérést vettem észre a várt és a tapasztalt eredmények között. Hubbert 45. ábrája szerint az összes beszivárgott víz a folyóvölgy talpvonalában jön a felszínre, mintha az egy lecsapoló csatorna lenne (lásd 1. ábrát).



1. ábra A felszín alatti víz mozgásának áramképe két völgy között homogén izotróp kőzetben Hubbert 45. ábrája szerint

Ezzel szemben, az én területem minden patakja vízszegény volt, medrek sok helyen szárazak, vagy télen fenéig befagytak. Pedig a talajvízszint sehol nem mélyebb 3 m-nél, még a vízválasztókon sem, tehát a kőzetváz telítve van. A patakok 150-200 m-es tengerszint feletti magasságú, érett morfológiájú völgyekben, egymással 10-15 km-es távolságra párhuzamosan futnak. Vajon hová lesz az a sok víz, melyet a meredek völgyoldalak nagy szintkülönbségei a jól áteresztő kőzeten áthajtanak és biztosítani is tudja a gazdaságok és települések vízellátását? Hová megy, ha nem a talpvonalba? Egy napon aztán észrevettem valamit: a Hubbert ábráján levő áramvonalak konvergenciája posztulátum, nem eredmény! Lássuk csak, hová akar menni a víz magától, határoztam el, és megoldottam a Laplace-egyenletet a ma már „egység medencének” (Unit Basin) nevezett vízgyűjtő geometriájára vonatkozóan (Tóth 1962). A megoldással világossá vált, hogy a medence mindkét völgyfalának az egész alsó fele vízkiramlási terület (2. ábra).



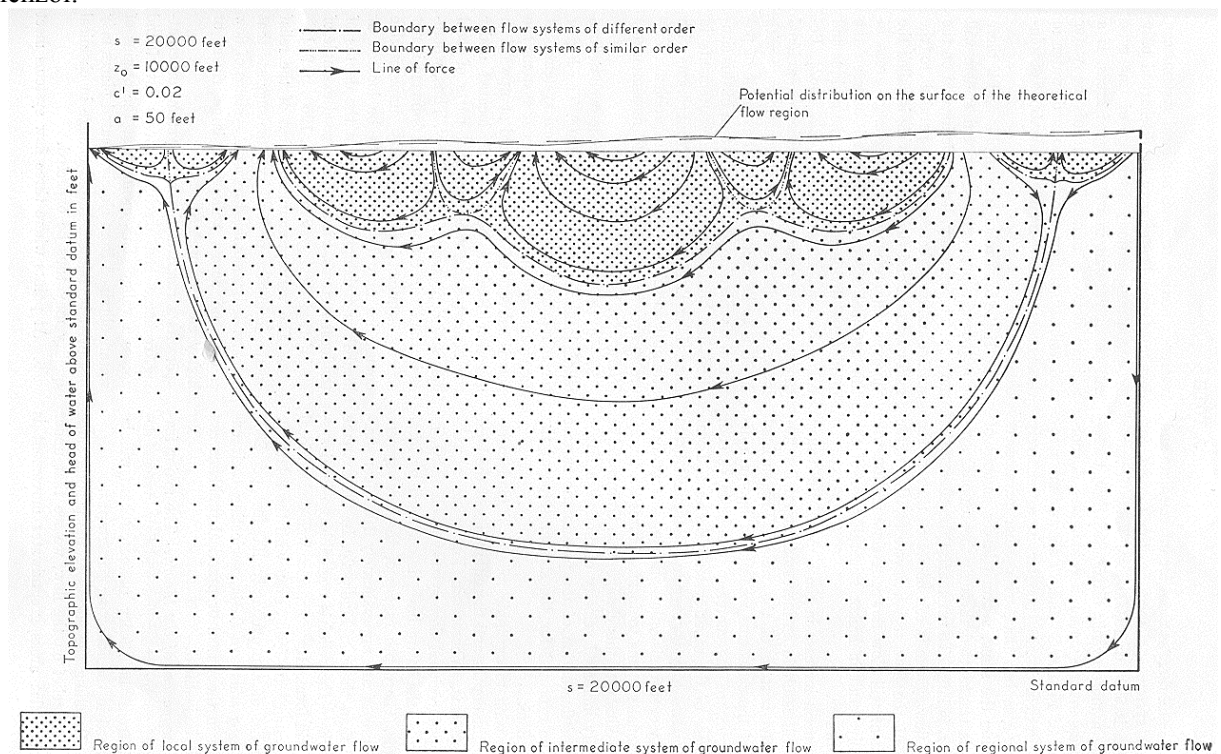
2. ábra A gravitációs áramlású vízgyűjtők első számított elméleti modellje. Egyszerű medence áramképe lineárisan lejtő talajvíz felszínnel (Tóth, 1962, Fig. 3, p. 4380)

Ez az egyszerű felismerés egy új világot tárt fel előttem és szakmai jövőm szempontjából meghatározóvá vált. Az egység-medence felszínére helyezett szinuszhullámos domborzat egy fokkal valószínűbbé tette a talajvíz áramképét. Eredményképpen létrejött az „összetett” vagy „komplex” áramlási rendszerek fogalma (Tóth 1963; „Tóthian flow” field — „Tóth-féle áramtér” — a mai szóhasználat), melyet Engelen oly találóan „hierarchikusan fészkelte” áramlási rendszereknek” nevezett (Engelen és Jones 1986, p. 9). (3. ábra)

Az Amerikai Földtani Társulat (The Geological Society of America) újonnan alapított „O. E. Meinzer Díj” bizottságának tagjai valami érdemét fedezhették fel az elméletnek, mert az 1963-ban megjelent dolgozatomat választották az 1965-ben először kiosztásra került díj nyertesének „A hidrológiához való kiemelkedő hozzájárulás elismeréseként”. Szerencsémre, a komplex gravitációs áramlási rendszerek fogalma megfelelő időpontban született meg, a vízföldtani világ fogékony volt rá. Sok jól ismert vagy majd a jövőben ismertté váló hidrológus figyelt fel rá, és dolgozta ki magas szintű elméletté vagy gyakorlati alkalmazássá ennek számos aspektusát.”

A fenti három ábra megtalálható a www.taki.iif.hu/1tojo.pdf internetes webcímen is, amely Tóth József „Felszín alatti vízáramlás rendszerek és talajtani hatásaik” című 2006. november 2-án az Eötvös Loránd Tudományegyetem Alkalmazott és Környezetföldtani Tanszékén tartott előadását tartalmazza.

A regionális áramlási rendszerek elmélete paradigmaváltó szemléletet hozott a hidrológiába. Magyarországon azonban csak kevesen fogadták el, s talán még ma is fenntartások vannak vele kapcsolatban. Amikor az egész tudományos világ elismeri az áramlási rendszerek hierarchikus elméletét, éppen Magyarországon fanyalognak, mondván, hogy a magyar medence más. A tudomány napról-napra igazolja a már közel fél évszázada felismert koncepciót, de nálunk még mindig vannak ellenzői.



3. ábra Gravitációs vízáramlási rendszerek összetett topográfiájú vízgyűjtő medencében (Tóth, 1963, 3. ábra, p. 4807)

A közel fél évszázada született elmélet jelenleg újabb virágkorát éli. Tóth Józsefnek e sorok írója számára küldött e-mail üzenetében (2010. július 4) ez áll:

„Talán írtam már, hogy az áramlási rendszerekre és azok következményeire vonatkozó gondolataim iránti érdeklődés nemzetközi szinten erősen fellendült. Japánban, Ausztráliában, Kínában és az USA-ban új projektek, programok indultak be, melyek elméleti és terepi adatok alapján vizsgálják az áramrendszerek tulajdonságait és hatásait, nemcsak mint felszín alatti hidrológiai folyamatot, hanem úgy is, mint földtani tényezőt. Az ausztrálok a "Great Artesian Basin"-jük ("Nagy Artézi Medence", kb 1.5 millió négyzetkilométer) új hidrológiai feldolgozásába vonnak be. Az USA-ról onnan tudok, hogy az NSF-jük (National Science Foundation, az OTKA-juk) felkérésére véleményeztem egy, írd és mondd, \$ 5,000,000.00 (öt millió) dollárt igénylő pályázatot. A pályázat

témája: a "Tóth-féle" (Tóthian) áramlásrendszerek elméleti és terepi tanulmányozása tranzienis körülmények között. Ezek mellett kellett elkészítenem három, elég pontosan megadott témájú előadást az ezévi május 13-26-ra tervezett és lezajlott kínai látogatásomra. A meghívók (China University of Geosciences-Wuhan (Kínai Földtani Egyetem-Wuhan), China University of Geosciences-Beijing (Kínai Földtani Egyetem-Beijing), China Geological Survey (azaz Kínai Állami Földtani Intézet). Két előadást a wuhani és beijingi egyetemeken tartottam, a harmadikat pedig Beijingben, a Kínai Állami Földtani Intézetben.

Kínában most voltam harmadszor, az 1984 és 1994 évi látogatásaim után. Meg kell állapítanom, hogy a korábbi tapasztalatok és a médiából szerzett információim ellenére, megközelítőleg sem fogtam fel az ottani fejlődés lendületét, iramát és méretét. Napoleon "Sárga Oroszlán"-ja nem csak felébredt, bömböl! Kíváncsi vagyok, a világ mikor fog erre ráébredni."

Az alábbi fotó Tóth J. kínai látogatása alatt készült, mutatva a fokozott külföldi érdeklődést.



Május 15, a laborlátogatás után: "Talajvíz Áramlásrendszerek Kutató Csoport", Kínai Földtudomány Egyetem, (KFE-Wuhan). (Felírás: "Egyetemünk üdvözli a nemzetközi hírű Tóth professzort")

5.2. A hidraulikai folytonosság

A hidrogeológiában a másik legfontosabb elméleti kérdés, amely a 20. század második felében felmerült, a kőzetváz regionális hidraulikai folytonossága. Az egyre növekvő tudományos ismeretanyag a század utolsó harmadára megérlelte azt a koncepciót, hogy bizonyos jelenségek csak akkor magyarázhatók, ha a nagykiterjedésű üledékes medencéket tekintjük a hidrogeológiai vizsgálatok természetes egységének és feltételezzük ezek hidraulikai folytonosságát. Ez a koncepció azonban még nem talált általános elfogadásra. A regionális hidraulikai folytonosság fogalmát Tóth (1990, 1995) a következőképpen jellemzi. „A hidraulikai folytonosság jelzője a kőzetvázban tárolódott víznek az a tulajdonsága, hogy nyomásának tetszőleges pontban bekövetkező megváltozása más pontokban is megváltoztatja a víznyomást. A hatás mértéke számszerűen a gerjesztő és gerjesztett

nyomásváltozás hányadosaként fejezhető ki. Mivel a hézagokat kitöltő vízben fellépő nyomásváltozások a kőzetben véges sebességgel terjednek, az észlelhető hidraulikai folytonosság csak viszonylagos lehet, hiszen annak érzékelhetősége függ az eredeti nyomásváltozás és az észlelés helyének távolságától, valamint a kőzet-folyadék rendszer szivárgási tulajdonságaitól, így tértől és időtől”.... „A kőzetváz regionális hidraulikai folytonossága nem nyilvánvaló és nem könnyen igazolható tulajdonság. Az egymással érintkező képződmények vízföldtani tulajdonságainak lehetséges jelentős eltérései következtében a kevésbé áteresztő kőzetet a hagyományos észlelések vízzárónak mutathatják. Az áramlási rendszer különböző pontjain a távolabbi nyomásváltozás hatása esetleg csak hosszabb idő múlva jelentkezik, így a képződmény vízzárónak vélhető. Nem meglepő tehát, hogy a hidraulikai folytonosság, illetve a kőzetvázban tökéletesen elszigetelt részek létezése felől évszázada folyó vitát máig sem sikerült eldönteni”.

A hidraulikai folytonosság elve hazánkban sokáig nem nyert általános elfogadást, amit jól példáz az a tény, hogy a vízbázisok vizsgálatához kiadott irányelvben még az 1990-es években sem szerepel a talajvízszint helyzete megállapításának követelménye.

5.3. Átszivárgó rendszerek

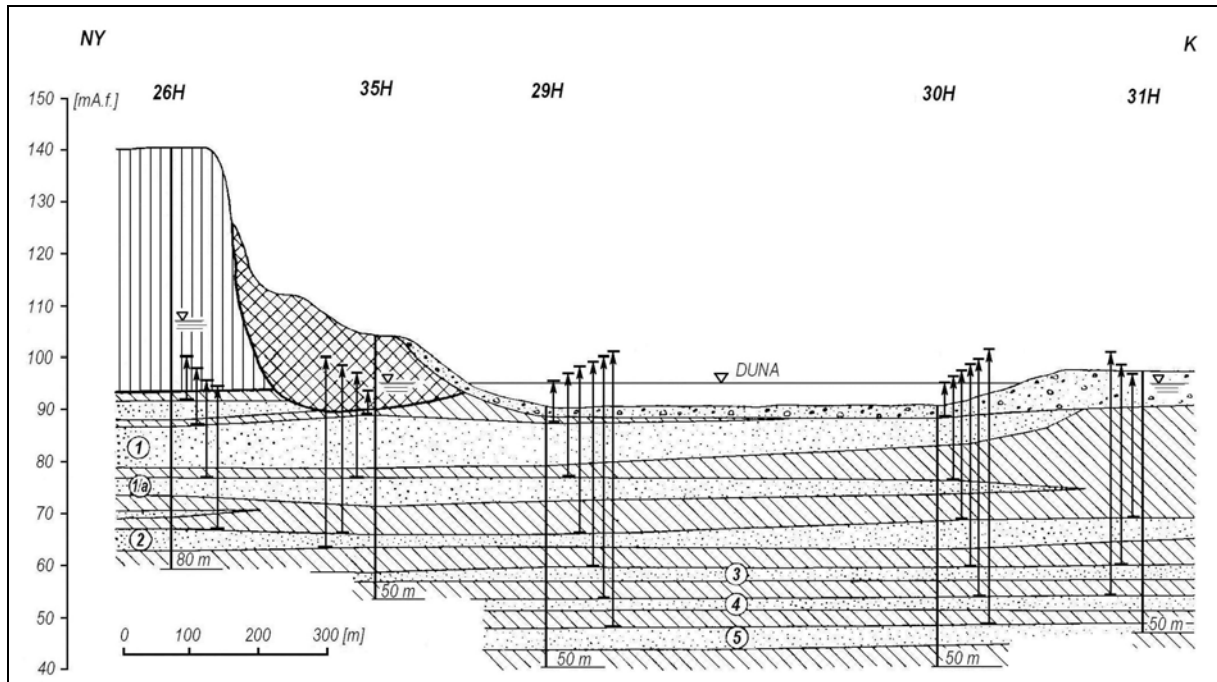
A modern hidrogeológia harmadik új eleme az átszivárgó vízadó rendszer (leaky aquifer system) hidraulikai elmélete, amelynek kidolgozása a kúthidraulika területén Jacob (1946) és Hantush (1964), továbbfejlesztése Neuman és Witherspoon (1969, 1972) nevéhez fűződik. A természetes körülmények között végbemenő területi átszivárgás hidraulikájának elméleti alapjait Mjatiev (Мятиев) 1940-es években végzett munkássága alapozta meg (in: Szilin-Bekcsurin, 1965, p. 128). Az orosz kutatók munkássága az átszivárgó rendszerek kúthidraulikájában is jelentős volt.

A természetben a vízadó rétegeket nem mindig tökéletesen vízzáró rétegek határolják. Chamberlin már 1885-ben megfogalmazta, hogy egyetlen réteg sem teljesen vízzáró, és így az „aquifer” folyamatosan vizet kaphat és adhat át az „aquitard”-on keresztül. Megfigyelték, hogy azok a vízadó rétegek, melyeket gyenge áteresztőképességű rétegek fednek, a nagy felületük következtében jelentékeny táplálást kapnak a fedőrétegen keresztül. A jelenséget először holland hidrológusok és mérnökök tették matematikai vizsgálatok tárgyává az 1930-as években, (pl. De Glee 1930), később Jacob (1946) és Hantush (1956) amerikai hidrológusok vizsgálták. Jacob (1946) kimutatta, hogy az aquitard fél-vízzárósága annak tulajdonítható, hogy az agyag többnyire nem egy jól definiálható réteggént, hanem inkább lencse alakú zónák formájában van jelen az összletben. Jacob és Hantush az 1960-as évekig folytatták ezzel kapcsolatos kutatásaikat. Hantush 1954 és 1964 között kifejlesztette az átszivárgó vízadó rétegek hidraulikáját, és a „Kutak hidraulikája” c. művében (1964) létrehozta az átszivárgó vízadó rendszerek átfogó elméletét. Ebben a koncepcióban a Theis-féle „ideálisan zárt vízadó réteg” helyébe a „többrétegű vízadó” lépett.

Amint DeWiest (1969, p. 40) is rámutat, az orosz kutatók közül Mjatiev volt az első, aki jelentősen hozzájárult az elmélet fejlesztéséhez, a félvízzáró rétegekkel elválasztott porózus közegek kapcsolatának analizálásával. Mjatiev (Мятиев 1947) a regionális áramlásokat elemezve feltételezte, hogy létezik egy vertikális vízfiltráció lefelé és felfelé az impermeabilis rétegeken át a nyomásmagasságoktól (pressure surface) függően. Ezért a kiemelkedő, magasan fekvő talajvíztükörrel rendelkező területek beszivárgási zónák, ezeket lefelé történő szivárgás, és a mélységgel csökkenő potenciálértékek jellemzik. A topográfiailag alacsony fekvésű helyek ellenben megcsapolási területek. Ez utóbbiakat lefelé növekvő potenciálértékek és felfelé történő szivárgás jellemzik. Ennek a felismerésnek szép magyar példája és meggyőző igazolása Karácsonyi és Scheuer (1972) feldolgozása (4. ábra).

1964 elején a löszpart dunaújvárosi suvadása súlyosan megrongálta a Vasmű ipari vízművének szivattyúházát és több kisebb épületet. A suvadás okainak felderítésére talajmechanikai feltárás és vízföldtani vizsgálat kezdődött. A rendkívüli helyzetre való tekintettel hazai vonatkozásban egyedülálló és részletes feltárás folyt. Ebben a szelvényben a löszfennsík a Duna felé mintegy 30 m magas függőleges partfallal végződik. Az ábrából leolvasható, hogy a magasparton (beszivárgási terület) a mélységgel csökkenő, a Duna medrében (megcsapolási terület) a mélységgel emelkedő potenciometriai szintek vannak. (Az eredeti ábrát rajztechnikailag a szemléletesség kedvéért kissé módosítottuk, mert a jelölések sorrendje nem volt következetes, de a szintek mértékében semmilyen

változtatás nem történt.) A szerzők egyértelműen kimutatták, hogy a potenciálértékek változása a Duna magaspártja és a folyó medre alatt ellentétes irányú. A változás mértéke jelentős: a 26H jelű vonal mentén 64 és 90 mAf közötti 26 m-es szakaszon 7,0 m a *potenciálcsökkenés*, a 29H függőleges szelvényben 55 és 85 mAf szintek között pedig 8,0 m a *potenciometrikus szintmagasság emelkedése*. A szerzők ezt a jelenséget még nem kapcsolták össze az áramlási rendszer elméletével, de helyesen ismerték fel az ellentétes nyomásváltozási tendenciákat. Ha ezt az ábrát akkor az áramlási rendszer elméletéhez kapcsolva közlik, nemzetközi viszonylatban is elismert bemutatás lehetett volna.

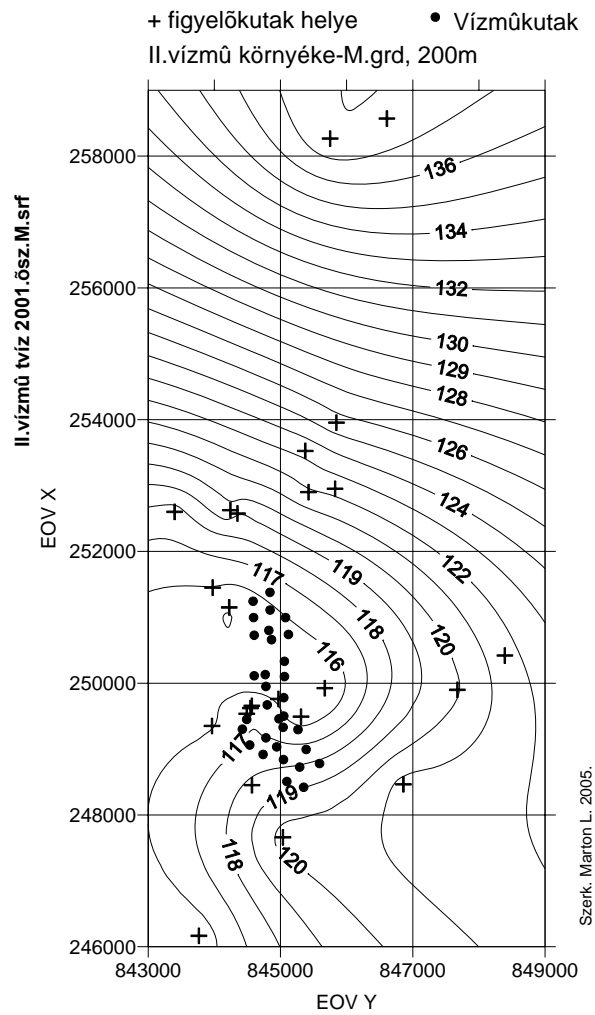


4. ábra Rétegvíznyomások a Duna medrében és a magasparton
(Karácsonyi és Scheuer 1972)

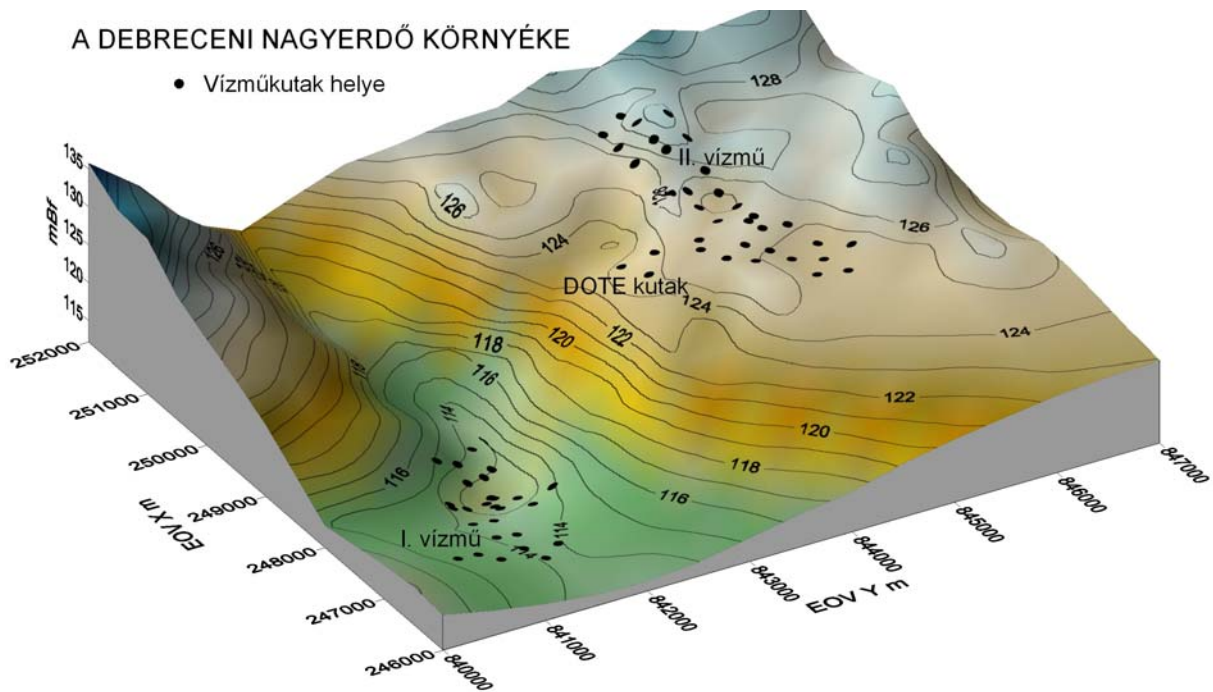
A vizeknek a korábban vízzárónak feltételezett agyagrétegeken való átszivárgását jól mutatják a debreceni tapasztalatok. A rétegvizeket megcsapoló kutak hosszú ideig tartó szivattyúzása hatására helyenként talajvízszint csökkenés következik be, melynek egyik jól ismert hazai példája a Debreceni Nagyerdő területén kialakult talajvíz-technő (5. ábra).

Az 1990-es évek végére kiderült, hogy a Debreceni Nagyerdőben létesített II. vízmű kútjainak szivattyúzása a térszínig kiható leszívás miatt, az egyébként is mélyen álló talajvízben egy 5-6 m mély talajvíztechnő alakult ki. A csapadék is kevés volt ebben a periódusban, ehhez járult a szivattyúzás hatása, így a talajvíz 12-14 m mélyre szállt, onnan már nem tudtak elegendő vizet kapni a fák csapadékszegény időben. Ez sokkolta a szakma képviselőit. Erről tanulmányt írtunk (Marton - Szanyi 2000): „A talajvíztükör helyzete és a rétegvíz-termelés kapcsolata Debrecen térségében” címmel. Jellemző, hogy látszólag tudományos alapossággal, vízháztartási vizsgálatokkal alátámasztva, az 1980-as években az egyik budapesti tervező vállalat szakvéleményében még azt állította, hogy itt a víztermelés legfeljebb 8 cm-es talajvízszint süllyedést eredményezhet. Ekkor látnunk kellett, hogy a magyar szaktudomány nagyon leszakadt a világ élvonalától.

A II. vízmű kútjainak leszívó hatására létrejött technő féloldalas, a nyugati oldalon nyitott, mivel azon az oldalon a Tóció-völgy és az I. vízmű kútjainak leszívó hatása is megjelenik. Az I. vízmű helyzetét a Nagyerdőben telepített II. vízműhöz viszonyítva a 6. ábra szerinti tömbszelvény mutatja orthrografikus ábrázolásban. Az erős túlmagasítással ábrázolt tömbszelvény bal oldalán, a nyugati oldalon markáns észak-dél irányú völgy látható. Ez a Tóció-völgy, mely nagy mélységű, 1000 méter körüli mélységet és 100 km hosszúságot is elérő tektonikai törésvonal, és mintegy választóvonal a Nyírség és Hajdúság tájegységnek.



5. ábra A talajvíztükör helyzete Debrecen II. vízmű környezetében 2001. őszén



6. ábra A debreceni I. és II. vízmű helyzete ortografikus ábrázolásban

A tömbszelvény észak-keleti oldalán látható a Nagyerdő hullámos, 125-130 m tengerszint feletti magasságú területe. Topográfiai adottságai következtében a völgy évezredek óta természetes megcsapolója a környék talajvizeinek. Az a körülmény, hogy a múlt század elején ebben a völgyben létesült a város első vízmű-telepe, mesterségesen növelte ezt a megcsapoló hatást a Debreceni Nagyerdő területén. A múlt század első felében tehát már kettős leszívó hatás, a völgy megcsapoló hatása és az I. vízmű depressziós hatása érvényesült a terület vízháztartásában. Megalapozottnak tűnik annak megállapítása, hogy az 1950-es években, már az új vízmű kiépítése előtt is feltehetően ezért állt mélyen a talajvíz szintje a Nagyerdő területén, mert a kettős leszívó hatás megcsapolta.

A vízáadó rétegek közötti átszivárgás tényét néhány magyar hidrológus sokáig nem ismerte el, sőt kifejezetten lehetetlennek tartotta. Ennek a nézetnek legnagyobb tekintélyű képviselője Urbancsek János volt, akinek munkássága egyébként felbecsülhetetlen értékű a felszín alatti vizek kutatásában és a kutak kataszterezésében. A rétegek zártságának megfogalmazása több helyen, de legrészletesebben a Kútataszter VIII. kötetének (1978) preambulumban Urbancsek J. „Az Alföld negyedkori üledékeiben uralkodó rétegvíznyomás” c. tanulmányában látott napvilágot. Mivel ez az elmélet sokáig meghatározó volt szakmai körökben, s nem egy esetben motivált jelentős döntéseket irányítói szinteken is, nem hagyhatjuk említés nélkül. Ma már a tudomány túlhaladott ezen a nézeten, érdekes azonban, hogy még mindig vannak képviselői, s vannak, akik a mai napig tagadják a szivattyúzás hatását a debreceni talajvíztekno kialakulásában. De hát hit és vallás kérdésében a tudomány nem tud érvelni. Egyik nyugalmazott főmérnök, még néhány éve is szenvedélyesen tiltakozott Debrecenben a Hidrológiai Társaság egyik ülésén a jelenség említése ellen, mondván, hogy egy 40 méter vastag vízzáró agyagon nem lehetséges semmiféle vízátzivárgás.

5.4. Izotóphidrológiai eredmények

A múlt század második felében kialakult izotóphidrológia ugyancsak jelentősen hozzájárult az hidrológiai ismeretek bővüléséhez. Segítségével egyértelműen meghatározhatóvá vált a felszín alatti vizek, köztük a termálvizek csapadékeredete. A vizeknek az izotóptartalmuk alapján meghatározható „kora” pedig új hidrológiai paraméterré vált. A tartósan szivattyúzott több kúttal működő vízművek területén kimutathatóvá vált a rétegek közötti átszivárgás, amelynek mértéke, amint a debreceni példa kimutatta, a mindenkor termelési intenzitás függvénye (Marton 2009).

6. A SZEMLELETVÁLTOZÁS KÖVETKEZMÉNYEI

Ha új dolgok és új ismeretek születnek, ennek következményei is vannak. Újra kell gondolni néhány korábban vallott vagy képviselt nézetet. Az elmúlt 50 évben született tudományos eredmények alapján mai ismereteink lényegesen meghaladják az ötven évvel ezelőtti mérnöki szemléletet a vízkészletek kitermelése és a geológiai formációk vízáteresztő képességének tekintetében.

6.1. Honnan kapjuk a vizet?

A 20. század első felében még az a szemlélet uralkodott a hidrológiában, hogy a felszín alatti vizet csupán a homok vagy kavicsos homok rétegek – aquiferek – szolgáltatják, és az őket elválasztó agyag- és iszap-rétegek nem vesznek részt az áramlásban, sem mint víztározó, sem mint vízáteresztő közegek. Az 1960-as évektől kezdve azonban az elméleti fejlesztések és a több évtizedig tartó, hosszú idejű szivattyúzások tapasztalati eredményeként eljutott a tudomány a medence méretű áramlási rendszerek koncepciójához, ahol már nem csak a homok vagy kavics- rétegek, hanem az őket közbezáró, eddig vízzárónak tekintett rétegek is forrásai és közegei az áramlásnak. Ez azt jelenti, hogy a termelés során nem csak a homokrétéből kapunk vizet, hanem az agyagból is, és az agyagban is történhet átszivárgás. Az agyagból kapott vagy azon átszivárgó vizek lágyak, mivel a Ca ion Na-ra cserélődik. Jóllehet ezek a vízmozgások lényegesen kisebbek, mint a homokban, de mivel óriási méretű felületekről van szó, ezért jelentős vízmennyiségeket szolgáltatnak. Amíg a vízáadó homokrétében az áramlás fő iránya vízszintes, a vízzárónak mondott rétegben függőleges, s a vízáadó (aquifer) keresztmetszete csak töredéke a saját vízszintes felületének. Ez a felismerés teljesen új

szemléletváltást hozott a hidrogeológiába. Mivel az üledékes medencék mindig rétegzettek, ebből következik, hogy a *többrétegű medence* (multi-aquifer basin) lett a kutatások fő területe.

Mára elfogadott tudományos tétel, hogy regionális méretekben a vízáadó rétegeket határoló, azokat közrefogó iszap és agyag rétegek sohasem teljesen vízzáró, hanem bizonyos mértékig átteresztő (aquitard) képződmények, miközben jelentős vízmennyiséget is tárolnak. A többréteges összletben is fel kell tételezni a rétegek közötti kontinuitást, azaz a szivattyúzott réteg vízének a félig vízzáró rétegen (rétegeken) át történő utánpótlódását. Halász (1975) elméletileg igazolta a rétegzett hidrogeológiai rendszerek egyetlen vízáadóként való viselkedésének szükségszerűségét. Matematikailag bebizonyította, hogy „a rétegzett rendszer egy számítható távolságon túl egyetlen, de az összlet teljes átbecsátó képességével rendelkező rétegeként viselkedik”. Az artézi medencéket kitöltő üledékek tehát, tekintet nélkül arra, hogy összetételükben agyagrétegek is előfordulnak, egyetlen összefüggő hidraulikai rendszert alkotnak (Halász 1996, Székely 2005).

6.2. A küszöbesés a hidrogeológiában

A szemléletváltás magával hozta néhány – az oktatásban is újragondolást igénylő – tétel új szemléletű kezelését. A múlt század 30-as éveitől kezdődő talajmechanikai és geotechnikai kutatások eredményeként a geológiai közegek vízzel szembeni viselkedésének kapcsán, a mikroszivárgás vizsgálatánál bevezették a „küszöbesés” vagy „küszöb-gradiens” fogalmát. A hidraulikai gradiens és a folyadék sebessége közötti kapcsolat vizsgálatára vonatkozó kísérleteket elsősorban a talajmechanika (geotechnika) tudománya igényelte, itt fordul elő, hogy a kőzet szárazra kerül, majd újra víz alá, s a küszöbgradiens fogalmát kezdetben innen kölcsönözte a hidrogeológia. Kovács (1972, p. 108) a mikroszivárgást úgy definiálja, mint olyan vízmozgást, amelynek dinamikai jellemzője, hogy a mozgást fékező erőként figyelembe veendő a víz és a szemcse közötti tapadóerő hatása is. A mikroszivárgásra legjellemzőbb, hogy létezik egy olyan határesés (I_0), amelynél kisebb esés esetében a mozgás nem indul meg. Meinzer (1936) azonban, aki hidrogeológiai aspektusból vizsgálta a kérdést, úgy vélekedett, hogy a Darcy-törvény érvényességének nincs alsó határa. Kísérletekkel kimutatta, hogy a Darcy-törvény $0,00003 \div 0,00004$ gradiensek esetében is alkalmazható. Ennek alapján ki lehet jelenteni, hogy a Darcy törvény még ezeknél kisebb gradiensek esetében is érvényesnek tekinthető (Szilin-Bekcsurin 1965, p. 67). A Darcy-törvény alkalmazhatóságának alsó határát magyar kutatók, V. Nagy és Karádi (1960) is vizsgálták (1. táblázat).

Sorszám	Víz-tartalom W %	Szivárgási tényező K cm/s	Kezdeti gradiens I_k
1	29,1	$0,72 \times 10^{-8}$	22,8
2	32,2	$1,03 \times 10^{-8}$	12,8
3	34,5	$5,32 \times 10^{-8}$	7,3
4	39,3	$11,20 \times 10^{-8}$	3,1
5	42,1	$15,20 \times 10^{-8}$	0,0

1. táblázat A kezdeti gradiens értékei különböző víztartalomnál V. Nagy és Karádi (1960) nyomán

Az ugyanazon agyagtalajjal különböző víztartalmak mellett végzett szivárgási kísérleteikből kitűnik, hogy egy meghatározott víztartalom alatt a szivárgás csak I_k kezdeti értéket meghaladó gradiens elérése után indul meg. Ha azonban az agyag víztartalma meghaladja azt a határértéket, amely mellett az agyagban csak kötött víz van jelen, a szivárgás már tetszőlegesen kicsiny gradiens mellett is megindul.

A geológiai idők alatt kialakult vízáadó képződményeket elválasztó vagy közbezáró képződmények több millió éve kapcsolatban vannak egymással, tehát bőségesen volt idejük arra, hogy ne csak kötött vizet tartalmazzanak, tehát a szivárgás tetszőlegesen kicsiny gradiens mellett is megindulhat. Ezért **a modern hidrogeológia nem ismeri a küszöbgradiens fogalmát**. Más kérdés az, ha a diagenezis, majd metamorfózis során a kőzet olyan változáson megy át, hogy ez a feltétel nincs teljesítve, ilyen esetben regionális léptékben a tektonikai diszlokációk biztosíthatják a kontinuitást.

6.3. Szabad felszínű és zárt, nyomás alatti vízadók

Egy másik aktuális téma a vízadó rétegek nyitottsága (unconfined) vagy zártsága (confined). A fentiekben szerepelt az a megállapítás, hogy a hidrológiai rendszerek nyitottak. Hogyan kell hát értelmeznünk a nyomás alatti, zárt réteg fogalmát, amely a rétegzett rendszerek egyik jól ismert megjelenési formája? A kérdésre a mérettartomány vizsgálata adja meg a választ. Egy vízadó képződmény helyi léptékben lehet nyomás alatti zárt (confined) réteg, amely egy nagyobb méretű medence kisebb része, a medence azonban regionális léptékben nyitott lehet. A ma elfogadott, tudományosan megalapozott vélemény szerint a Pannon-medence felszín alatti vizeinek áramlási viszonyait két különböző eredetű fő hajtóerő határozza meg a) a felszín domborzatából eredő gravitáció, és b) a kőzetváz oldalirányú tektonikus kompressziója. A gravitációs erő által indukált áramlás zónájában az áramtér regionálisan nyitott, míg a kompressziós tartományban feszített. A felső, kb. 400 és 1700 m mélységek közti tartomány vizei – egészüket tekintve – nyitott áramlási rendszerekben folynak, utánpótlódásuk csapadékból történik, és határozott megcsapolódási vagy kiáramlási zónákon keresztül térnek vissza a felszínre (Tóth és Almási 2001). Az egyéb hajtóerőket (geológiai, hőmérséklet-különbségből és geokémiai hatásokból származó erőket) e helyen nem tárgyaljuk.

6.4. A Dél-Alföld lágy vizei

A felszín alatti magyarországi vízkészletek egy része, főleg a Dél-Alföld térségében a szabványban szereplő értéknél *lágább*. A víz keménységének mértéke az Alföldön a mélység felé csökken, egyedül a dél-tiszai medencerészben nincs a mélységgel növekvő változás. Az itteni vizek a felszíntől lefelé 500-600 m mélyséig végig lágyak (Rónai 1985, p. 188). A jelenség az agygrétegek vízleadásának és az agygrétegekben végbemenő ioncserének tulajdonítható. Varsányi (2000) kimutatja, hogy az ioncsere mellett a víz mozgása is szükséges ahhoz, hogy a kémiai változás a vízadóban bekövetkezzék. Ennek alapján lehetővé válik a felszín alatti vízmozgási rendszerek elkülönítése.

Az Alföld rétegzett vízadó rendszerének szerkezetét, és az egymás alatti rétegek vizének kémiai változását a következő példával szemléltetjük. A szakirodalom elég részletesen tárgyalja ezt a kérdést, de ritkán közölnek olyan szemléletesen összehasonlítható adatokat, mint ami a következő ismertetésből kiolvasható. Egy közel negyven évvel ezelőtt készült jelentés alapján a VF-4 jelű tudományos célú alapfúrás és a mellette létesített figyelőkutak hidraulikai és kémiai jellemzőit ismertetjük. Az agyagból származó víz vegyi jellemzőit az árnyékolással kiemelt oszlopban, a másik három réteg vizének elemzésével együtt, a 2. táblázat tartalmazza. Az adatokat a „*VITUKI 1976. évi országos rétegvízvizsgálatai*” c. kéziratból vettük (Székely és tsai 1976).

Az Országos Vízügyi Hivatal (OVH) építető megbízásából, a VIKÖZ tervezésében, a Vízkutató és Fúró Vállalat Debreceni Üzemvezetősége kivitelezésében, 1971-ben Mikepércsen olyan rétegvízfigyelő kútsoport létesült, amelynek célja a pleisztocén üledékek kifejlődésének, helyzetének tisztázása volt, különös tekintettel az ún. „vízműves réteg” paramétereire. 1971. január-március hónapban egy 258,6 m mélységű alapfúrás készült, folytonos magminta vételezéssel. A kút neve VF-4/A volt. A VF-4/A jelű kutat további három rétegvízfigyelő kút építése követte, egymástól néhány méterre telepítve. A kútsoport minden tagja teljes szelvényű fúrással készült. A rétegtani leírást Mikó L. készítette.

A 4/C jelű kutat egy 10 m vastag erősen kötött kövér-agygréteg 5 méteres szakaszára szűrőzték, amelyben a vízszint mélysége –73,55 m-től (1971. 03.09) három hónap alatt – 40,3 m-ig (1971.06.03) emelkedett.

Ismeretes, hogy a legfontosabb csere-reakciók a vízlágyító reakciók, ahol a vízben levő Ca^{2+} és a Mg^{2+} ionok Na^+ -ra cserélődnek, ahogy a víz átszivárog az agyagos képződményen (Domenico és Schwartz 1998, p. 309). A táblázat kémiai adatai markánsan jelzik, hogy a lerakódáskor még azonos minőségű víz milyen mértékű változáson ment át az agyagban. Ezt elsősorban a Ca és Mg ion drasztikus lecsökkenése és a nátrium mennyiségi megnövekedése mutatja. A Dél-Alföld feltűnően lágy vizei az agygrétegek dehidratációjának eredményei.

Kationok	VF-4/A	VF-4/B	VF-4/C*	VF-4/D	Anionok	VF-4/A	VF-4/B	VF-4/C*	VF-4/D
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
<i>Na</i>	99,13	62,10	93,15	61,18	<i>NO₃</i>	0,90	0,30	0,80	0,40
<i>K</i>	2,40	1,80	6,40	1,40	<i>NO₂</i>	0,04	0,10	0,10	0,03
<i>NH₄</i>	1,70	0,60	1,60	0,70	<i>Cl</i>	9,30	14,80	41,30	10,0
<i>Ca²</i>	36,40	79,10	3,50	61,80	<i>Br</i>	0	0	0,20	0
<i>Mg²</i>	12,10	14,40	3,90	25,00	<i>J</i>	0,02	0,01	0,13	0,07
<i>Fe³</i>	0,46	0,37	0,25	1,80	<i>F</i>	0,40	0,50	0,30	0,50
<i>Mn²</i>	0	0	0	0,02	<i>SO₄</i>	0	20,00	68,00	12,00
					<i>HCO₃</i>	378,20	433,10	–	445,30
					<i>CO₃²</i>	24,00	0	36,00	0
					<i>OH</i>	0	0	17,00	0
					<i>S²</i>	0	0,04	–	0
<i>Fajl. vez.</i>	523,2 μS	555,1 μS		577,4 μS					
<i>Hőm. °C</i>	21,5 kif.	20,5		14,0					
<i>Talph. °C</i>	25,0/258								
<i>Réteg m</i>	isz. hliszt	homok	köv. agyag	isz. hliszt					
<i>Szűrő m</i>	244 - 249	182 - 215	98 - 103	32-54					
<i>Ny. vsz. m</i>	- 8,30	-8,24	–	-0,40					
<i>q l/p/m</i>	4,5	297	0	5					

* Groundwater derived from a clay stratum

2. táblázat Mikepércs VF-4 jelű rétegvízfigyelő kutak vízkémiai adatai

6.5. Térszíni süllyedések víztermelés következtében

A térszín süllyedése, mint antropogén hatású természeti jelenség, a világ számos pontján előfordul. A témának mára kiterjedt szakirodalma van, s ebből kitűnik, hogy a legtöbb problémát a felszín alatti vizek tartós szivattyúzásának hatására bekövetkező térszíni süllyedés okozza. Elméleti megközelítésben arról van szó, hogy szivattyúzás hatására az aquiferben az eredeti h energi magasság, más néven potenciometrikus szintmagasság, Δh értékkel csökken, ezáltal a rendszerből víz szabadul fel. Ez a víz három forrásból származik:

- a) a nyomás alatti víz expanziójából,
- b) az aquifer kompressziójából és
- c) a fedő vagy közbezárt agyagréteg kompressziójából.

Az első két hatás a térszíni süllyedés szempontjából elhanyagolható, de az agyagréteg kompressziója figyelembe veendő. Az aquiferben beálló hirtelen nyomáscsökkenést nem követi azonnal a felette lévő agyagrétegben hasonló nyomásmagasság-csökkenés, mert eltérő a hidraulikai diffuzivitásuk. Ennek következtében az agyagrétegben egy „túlnyomás” („excess head”) alakul ki. Erre a túlnyomásra válaszul, az agyagréteg vizet fog leadni. A vízleadás miatt az agyagrétegben megnő a hatékony feszültség (effective stress), ami magában a rétegben a kinyomódó víz térfogatával azonos mértékű térfogatcsökkenést eredményez, így az agyagból kiáramló víz térfogata egyenlő a süllyedés térfogatával.

Hazai viszonylatban olyan mértékű térszíni süllyedés, amely a település épületeiben is kárt okoz, elsősorban a Dél-Alföld egyes területein (Medgyesbodzás és környéke) fordul elő. A Maros hordalékkúpján páratlanul bővizű kutak fúrhatók nem nagy mélységben is. A médiában évek óta drámai hírek jelennek meg a károkról, de senki nincs, aki a felelősséget elismerné, s főleg olyan nincs, aki a problémát orvosolná. A falu több mint tizenöt éve süllyed, az első épületkárokat 1994-ben vették észre, amikor egy térségi vízmű kútjait ide telepítették, s vízhozamuk 1994-re 7,6 millió m³-re nőtt. Az utolsó adat, amit a vízmű nyilvánosságra hozott, évi 19,8 millió köbméter volt, már a 2000-es években, ami önmagában is irdatlan mértékű vízkivétel. Debrecenben a II-es vízmű évi 8 millió m³ termelése okozta a károkat, de a két terület hidrogeológiai viszonyai nem hasonlíthatók össze. Olyan mértékű térszíni süllyedés, amely épületeket rongál meg, kis távolságon belül változó egyenlőtlen süllyedésből származik, és ilyen helyen az összennyomódó agyagréteg nem lehet mélyfekvésű. A Maros hordalékkúpjának vannak vastag, nem nagy mélységben települt puha agyag rétegei, amelyek vízleadása ilyen károkat eredményezhet. A jelenlegi magyar hidrogeológia szégyene, hogy ezt a hatást nem tudják, vagy nem akarják kimutatni. A hírforrások különböző, egymásnak ellentmondó, de nem ismertett szakvéleményekre hivatkoznak. Sajnos, megjelennek dilettáns nézetek is. Itt lenne az ideje annak, hogy a konkrét tényeket végre tisztázzák, ami egyben a szaktudomány képviselőinek is szakmai és erkölcsi kötelessége lenne. Magyarországon a törvény minden felszín alatti vizet állami tulajdonként tart nyilván, ennél fogva a kárelhárítás is állami kötelezettség. Ha az üzemelő vízmű vállalat az adatokat üzemi titokként kezelné, az adatok akkor is rendelkezésre állnak, mivel a magyar állam hivatalos intézményei, az illetékes vízügyi igazgatóságok rendelkeznek minden adattal, (vízkitermelés, nyugalmi és üzemi vízszintek, szivattyúzási időtartam, a kutak rétegsorai, stb.), amelyek alapján a hatás egyértelműen kimutatható lenne. Az 1995. évi LIII. törvény 12.§.(1) bekezdése egyébként kimondja: *„Mindenkinek joga van a környezetre vonatkozó tényeknek, adatoknak, így különösen a környezet állapotának, a környezetszennyezettség mértékének, a környezetvédelmi tevékenységnek, valamint a környezet emberi egészségre gyakorolt hatásainak megismerésére.”*

Annak illusztrálására, hogy a jelenség a világ számos más helyén is előfordul, egy távoli példát ismertetünk. A közelmúltban Tajwanban végzett vizsgálatok azt mutatták, hogy a kumulatív térszíni süllyedések egy részét a szmektit agyagásvány dehidratációja okozza a túlszivattyúzások következtében. A dehidratációval kapcsolatos süllyedések 0-60 m mélység között történtek. A túlszivattyúzás következtében előálló térszíni süllyedés két fő folyamat eredménye: az elsődleges konszolidációnak és a másodlagos kompresszióknak. Az elsődleges konszolidációt a túlnyomás disszipációja okozza, ami fokozatosan növeli a kőzetvázra jutó hatékony feszültséget. Amint végbemegy az elsődleges konszolidáció, lassan és folyamatosan kialakul a másodlagos kompresszió, az agyag mikroszerkezetéből víz szabadul fel. Ennek a folyamatnak fontos része a szmektit dehidratációja. A hatékony feszültség hatására a talaj összennyomódása az elsődleges konszolidáció és a másodlagos kompresszió útján megy végbe (Chen-Wuing Liu, et al. 2006).

7. A VÍZKÉSZLETEK VÉDELMEÉNEK HIDROLÓGIAI SZEMPONTJAI

Összegezeként megállapítható, hogy a vízbázisok védelmének célszerű kezelése annak felismerése lehet,

- hogy a vízkészletek védelme alapvetően hidrogeológiai probléma,
- hogy ez medence-léptékű megközelítést igényel térben és időben,
- hogy a gravitációs hajtóerejű vízadó rendszerek regionális léptékben nyitottak,
- hogy a hosszú ideig tartó beavatkozások (évtizedekig tartó vízkivételek) korábban nem ismert jelenségeket indukálnak,
- hogy a felszín alatti vízbázisok használata – a parti-szűrészű vízművek kivételével – vízkészlet-fogyasztást jelent, mivel az utánpótlódás több nagyságrenddel kisebb, mint a kitermelés.
- Mindez a felszín alatti vizek takarékos használatát és újra-hasznosítását igényli.

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Chen-Wuing Liu, Wen-Sheng Lin, Li-Hsin Cheng (2006): Estimation of land subsidence caused by loss of smectite-interlayer water in shallow aquifer systems. *Hydrogeology J.* 14: 508-525.
- [2] De Wiest RJM (1965): *Geohydrology*. John Wiley & Sons, Inc. New York.
- [3] De Glee GJ (1930): *Over Grondwaterstromingen by Wateronttrekking by middel van Putten*. T Waltman Jr. Delft.
- [4] Domenico PA, Schwartz FW (1998): *Physical and Chemical Hydrogeology*. Wiley, New York, 506 p.
- [5] Engelen GB, Jones GP (1986): *Developments in the analysis of groundwater flow systems*. IAH Sciences Publication 163. Wallingford, England.
- [6] Halász B (1975): Rétegzett hidrogeológiai rendszerek sajátosságai. *Hidroológiai Közlöny*, 55 (11): 505-507
- [7] Halász B (1996): Felszín alatti vizekkel való gazdálkodás rétegzett rendszerekben. Doktori értekezés. *Vízügyi Közlemények* 1996/4. 440-443.
- [8] Hantush MS (1956): Analysis of data from pumping tests in leaky aquifers. *Trans. Am. Geophys. Union*, v. 37, p 702-714.
- [9] Hantush MS (1964): *Hydraulics of wells*. In: VT Chow (ed), *Advances in Hydrosience*, vol.1, 281-432, Academic Press, New York.
- [10] Horn J (2010): „Életutak / földtudományok, környezetvédelem, bányászat, energetika”. A kötet a Bányász Kultúráért Alapítvány (Budapest) és a Központi Bányászati Múzeum Alapítvány (Sopron) támogatásával és kiadásában készült, kereskedelmi forgalomba nem kerül.
- [11] Hubbert, MK (1940): The theory of ground-water motion. *The Journal of Geology* 48, 785–944.
- [12] Jacob CE (1940): On the flow of water in an elastic artesian aquifer. *Transactions of American Geophysical Union*, v. 22, 574-586.
- [13] Karácsonyi S és Scheuer Gy (1972): A dunai magaspártok vízföldtani sajátosságai. *Hidroológiai Közlöny*, 52. 9: 375-383.
- [14] Kazemi, GA (2009): Editor’s message: Fifth World Water Forum in Istanbul, Turkey – a short report and a comment on the representation of groundwater, *Hydrogeology J.* 17: 1821-1822.
- [15] Kovács Gy (1972): A szivárgási tényező értelmezése és meghatározása. *Nemzetközi Hidrológiai Továbbképző Tanfolyam*, VITUKI Budapest.
- [16] Lászlóffy W (1982): *A Tisza. Vízi munkálatok és vízgazdálkodás a tiszai vízrendszerben*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- [17] Margat J (2007): “Great aquifer systems of the world.” In *Aquifer Systems Management: Darcy’s Legacy in a World of Impending Water*. Cherry Laurence and Ghislain de Marsily (Eds). Oxford, England: Taylor & Frances, pp. 105-116.
- [18] Marton L és Szanyi J (2000): A talajvíztükör helyzete és a rétegvíz-termelés kapcsolata Debrecen térségében. *Hidroológiai Közlöny* 80, 1: 3-13
- [19] Marton L (2009a): *Alkalmazott hidrogeológia*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, pp. 616.
- [20] Marton L (2009b): *Energiaszint változások az ÉK-Alföld fő vízáadó rétegében*. Debreceni Műszaki Közlemények VIII. évf. 1-2.
- [21] Marton L (2010): Alföldi rétegvizek potenciometrikus szintjeinek változása II. *Hidroológiai Közlöny*, 90, 2:17-21.
- [22] Mjatiev AN (1947): *Napornij kompleksz podzemnüh vod*. Akad. Nauk, OTN. No. 9. 1069-1088.
- [23] Meinzer OE (1936): *Movements of Ground Water*. Bull. of the Am. Assoc. of Petrol. Geology, vol. 20, No. 6.
- [24] Narasimhan, TN (1999): „Protection of subsurface aquifers”: A broader context. „The Geology of Today - for Tomorrow”. A Satellite Conference on the World Conference on Science, held in Budapest, 21-22 June, 1999.
- [25] Neuman SP, Witherspoon PA (1969): Applicability of current theories of flow in leaky aquifers. *Water Resources Res.*, Vol. 5, p.817-829.

- [26] Neuman SP, Witherspoon PA (1972): Field determination of hydraulic properties of leaky multiple aquifer systems. *Water Resources Res.*, Vol. 8, p. 1284-1298.
- [27] Papp R (1939): A magyarországi vízellátás adatai. *Vízügyi Közlemények*, 3-4. sz. 393-406.
- [28] Rónai A (1985): Az Alföld negyedidőszaki földtana. *Geologica Hungarica, Series Geologica*, Tomus 21. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, p. 446
- [29] Sümeghy J (1944): A Tiszántúl. A M. Kir. Földtani Intézet kiadása, Budapest
- [30] Szalkay Cs (2004): Édesvízért folyó konfliktusok a világban és kialakulásuk lehetőségei Magyarországon. Eötvös Loránd Tudományegyetem Természettudományi Kar. Kézirat.
- [31] Székely F, Liebe P, Ágotai Gy (1976): VITUKI 1976. évi országos rétegvízészlelései. Kézirat
- [32] Székely F (2005): Dr. Halász Béla tudományos-szakmai munkássága. *Hidrológiai Közlöny*, 85 (2):63-64.
- [33] Szilin-Beksurin AI (1965): *Dinamika Podzemnüh Vod*, Moszkva.
- [34] Tóth, J (1962): A theory of groundwater motion in small drainage basins in Central Alberta, Canada. *Journal of Geophysical Research* 67, no. 11: 4375–4387.
- [35] Tóth, J (1963): A theoretical analysis of ground-water flow in small drainage basins. *Journal of Geophysical Research* 68, 4795–4812.
- [36] Tóth J (1990): Hydraulic continuity in large sedimentary basins. *International Conference on Groundwater in Large Sedimentary Basins*. Perth, 1990.
- [37] Tóth J (1995): A nagy kiterjedésű üledékes medencék felszín alatti vizeinek hidraulikai folytonossága. *Hidrológiai Közlöny*. 75 (3):153-160.
- [38] 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*, Vol. 1, No. 1, pp. 11-36.
- [39] V. Nagy I, Karádi G (1960): A Darcy törvény érvényességének vizsgálata. *Hidraulikai Konferencia*, Budapest.
- [40] Varsányi Zné (2000): Felszín alatti vízmozgási rendszerek elkülönítése a Dél-Alföldön – kémiai és izotópos vizsgálatok alapján. *Hidrológiai Közlöny*, 80 (3):145-156.