

A földkéreg vízbázisaira gyakorolt antropogén hatások globális, regionális és helyi tényezőinek összefüggései

Nagy Sándor¹ – Verdó György²

¹Debrecen Megyei Jogú Város Önkormányzata, Debrecen

²Hajdú-Bihar Megyei Intézményfenntartó Központ, Debrecen
nagy.sandor@debrecen.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A Föld ivóvízkészleteinek csökkenése, minőségének romlása mára létfontosságú problémává vált. Bolygónk teljes vízkészletét 2 milliárd km³-re becsülik, mely saját tömegének csupán 1%-a. Ennek a globális értelemben vett paráynak mindössze 3%-át teszik ki édesvizek, amelyek 79%-a gleccserek formájában, 1%-a felszíni vizekként van jelen. A talajban tárolt vizek aránya pusztán 20%-ra tehető. Ez a teljes vízkészlet igen csekély, 0,2%-a. Tanulmányunk célja, hogy összefoglalja a felszín alatti rétegzett vízádo rendszerekben antropogén hatások eredményeképpen bekövetkezett változásokat mind globális, mind magyarországi tekintetben, továbbá Debrecen régió vonatkozásában. Különös tekintettel a sok esetben geológiailag és ökológiai szinten végbemenő irreverzibilis folyamatokra. Mindezt ok-okozati összefüggésben tárgyaljuk. Rámutatunk a túlzott rétegvíz kitermelés veszélyeire, továbbá modern életünk mellékterméke képpen talajba juttatott toxikus anyagok vízbázisainkra gyakorolt kontaminációjára. Ezen kívül kitérünk az Európai Unió által megfogalmazott Víz Keretirányelvre, amely a vízvédelmi politika terén a közösségi fellépés kereteit határozza meg azzal a céllal, hogy vizeink 2015. évre a „jó állapotú” besorolást kaphassanak.

Kulcsszavak: vízbázis, vízkészlet, környezetvédelem, potenciometriku szint

SUMMARY

The decrease in Earth's drinking water resources and the degradation of its quality has become a critical problem. Our planet's total water supply is estimated to be around 2 billion km³s. This is only 1% of Earth's own weight. Of this small amount only a tiny 3% is fresh water, of which 79% is forzen in glaciers and 1% is present as surface waters. The ratio of water stored in soil is around 20%. This is 0.2% of the total water supply. Our study aims to summarize the layered groundwater aquifer systems and its changes which are the results of anthropogenic effects in both global and hungarian respects and also for the region of Debrecen. In particular with regard to the geological and ecological level where irreversible processes take place. All this is discussed in the context of cause and effect. Pointing out the dangers of excessive deep groundwater extraction and the contamination caused by toxic substances that are the byproducts of modern life. In addition we discuss the Water Directive of the European Union which gives a policy for community action concerning the goal to achieve the status of „in good condition” for our waters till 2015.

Keywords: waterbase, water resources, enviroment protection, potentiometric level

A RÉTEGVÍZTERMELÉS PROBLÉMÁI NEMZETKÖZI KITEKINTÉSBE

A vízádo rétegek (aquiferek mint vízbázisok) túltermelése, túlszivattyúzása napjainkra közismert foga-

lommá vált, mivel egyre több helyen találkozunk annak következményeivel. A túltermelést úgy lehet definiálni, mint azt a helyzetet, amelyben az átlagos vízkivétel mértéke tartósan meghaladja az átlagos utánpótlódás mértékét (Custodio, 2002).

A túlzott igénybevételnek általában olyan negatív következményei vannak, mint a folyamatos potenciometriku szintcsökkenés, fokozódó vízminőség romlás, a kitermelési költségek növekedése, és ökológiai károsodások jelentkezése. Az 1920-as években az USA-ban megfogalmazott és az 1950-es évek közepéig, a törvényhozásban az 1970-es évek végéig alkalmazott „biztonságos hozam” (safe yield) koncepció alkalmazásának idején nem vették figyelembe a más vízádokkal való kapcsolatot és kölcsönhatást, valamint a környezeti hatásokat. Ez több váratlan következménnyel járt, úgymint folyók, források és vizes élőhelyek kiszáradása, ökoszisztémák károsodása és a felszín alatti vizek szennyeződése. Ezek a hatások a világ számos helyén felléptek. Az 1980-as években megszületett fogalom, a „fenntarthatóság” (sustainability) koncepciója új szemléletet hozott a hidrogeológiába. A vízkészletek fenntartható használata nem csak a készletek túlhasználatának elkerülését, hanem a természeti környezet védelmének követelményét is jelenti, beleértve a vízfolyások alaphozamának biztosítását, a parti növényzet, a vízi ökoszisztéma és a vizes élőhelyek védelmét (Sophocleous, 2005).

A vízkészletek fenntartható használatának koncepciója azt fejezi ki, hogy biztosítjuk a társadalom vízigényének megbízható kielégítését, és gondoskodunk a készletek hosszú időtartamú megőrzéséről a következő generációk számára. Ennek a feladatnak több komponense van. Az egyik legfőbb szegmense: a felszíni és felszín alatti vizek koordinált használata oly módon, hogy az utóbbiak tartalékoljanak többlet-vízkészletet bővíző időszakban, és tárolóként működjenek száraz periódusokban.

„FENNTARTHATÓ TERMELÉS”

Kalf és Woolley (2005) szerint a „fenntartható termelés” fogalom sem oldotta meg igazán a problémát, ezért sürgetik annak felülvizsgálatát. Kifogásolják, hogy a definíció és a koncepció kétértelmű, nem fizikai alapokon nyugszik, és így nem alkalmas kvantitatív meghatározásra. Néhány esetben fel kell ismerni, hogy a vízkészlet nem megújuló, ezért használata nem lehet fenntartható.

A 20. század első felében még az a szemlélet uralkodott a hidrogeológiában, 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 kavicsrétegek, hanem az őket közbezáró, eddig vízzárónak tekintett rétegek is forrásai és közegei az áramlásnak. Ez azt jelenti, hogy a termelés során nem csak a homokrétegből kapunk vizet, hanem az agyagból is, és az agyagban is történhet átszivárgás. Az agyagból kapott vagy azon átszivárgó vizek vízlágyító reakciót eredményeznek, mivel a vízben lévő Ca^{2+} és Mg^{2+} ionok, Na^+ -ra cserélődnek (Domenico és Schwartz, 1998).

Az agyagon való átszivárgás azonban jóval lassabb folyamat, mint a homokban. Jóllehet mivel óriási méretű felületekről van szó, jelentős vízmennyiségeket szolgáltatnak, de ez még mindig töredéke az ember által kitermelt vízmennyiségnek. Amíg a vízáadó homokrétegben 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 szemléletváltozást hozott a hidrogeológiába. Mivel az üledékes medencék mindig rétegzettek, ebből következik, hogy a többretegű 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 többretegű összletben is fel kell tételezni a rétegek közötti kontinuitást, azaz a szivattyúzott réteg vizének a félig vízzáró rétegen (rétegeken) át történő lassú utánpótlódását.

Halász (1975) elméletileg igazolta a rétegzett hidrogeológiai rendszerek egyetlen vízáadóként való viselkedésének szükségességét. Matematikailag bebizonyította, hogy „*a rétegzett rendszer egy számítható távolságon túl egyetlen, de az összlet teljes átbocsátó képességével rendelkező réteggént viselkedik*”. Az artézi medencéket kitöltő üledékek tehát, tekintet nélkül arra, hogy összetételükben agyagrétegek is előfordulnak, egyetlen összefüggő hidraulikai rendszert alkotnak (Halász, 1996; Székely, 2005).

MAGYARORSZÁG VÍZKÉSZLETEI EURÓPAI ÉS GLOBÁLIS KITEKINTÉSBEN

A Magyar Alföld rétegzett pleisztocén és felső pannon üledékei hatalmas mennyiségű édesvíz készleteket tárolnak. Ezek stratégiai jelentőségű készletek, amelyek az Alföld ásványi kincsét képezik, és nemzetközi összehasonlításban is a világ nagy vízáadó rendszerei között szerepeltek. Jean Margat francia hidrogeológus a világ legnagyobb vízáadó rendszereit felsoroló kiadványban Európa két nagy vízáadó rendszereként jegyzi a „Pannon-medencét” és a „Párizsi-medencét” (Margat, 2007).

Magyarország felszínalatti vízkészlete a triász alaphegyiség, harmadidőszaki mészkő és konglomerá-

tum, továbbá a felsőpannoniai és negyedidőszaki porózus üledékeiben található. Jelenleg az ivóvíz 90%-át felszín alatti vízből nyerjük. Magyarországon jelenleg átlagosan naponta 2,7 millió m^3 vizet termelünk ki a felszín alól, melynek nagyjából:

- 50%-a rétegvíz,
- 30%-a parti szűrészű víz,
- 15%-a karsztvíz,
- 5%-a talajvíz (Liebe, 2002).

Korábbiakban említettek szerint a dinamikus vízkészletünknek, az az csapadéknak, a felszíni lefolyásoknak és egyes felszín alatti vízfajták egy részének az utánpótlódása meghaladhatja a felhasználásuk intenzitását, míg a statikus vízkészletünknek, a földtani tömbben tárolt víz jelentős részének utánpótlása csak hosszú idő, több száz vagy több ezer év alatt lehetséges. Eközben sok évi átlagban elmondható, hogy az ország területére belépő vízfolyások vízállítása 114 km^3 , amely átlagosan 58 km^3 csapadékkal egészül ki. Az ország területét 120 km^3 vízfolyás hagyja el évente (Vermees, 1997).

A víztermelés környezeti hatásai

A víztermeléssel kapcsolatos negatív környezeti hatások közül ki kell emelni a vízáadó réteg túlzásait. Geológiai szempontból akkor tekinthetjük túlzásnak a vízáadót, ha termelése nagyobb vagy közel azonos az évente megújuló készlet mennyiségénél, vagy használata a vízminőség jelentős romlásához vezet. A vízáadó képződmények túlzásait (overexploitation) Magyarországon sem új keletű jelenség. A magyar Alföldön 1879-ben fúrták az első artézi kutat és 1900-ban már több ezer artézi kút üzemelt Zsigmondy Vilmosnak és Zsigmondy Bélának köszönhetően. 1980-ban már 58 000 kutat tartottak nyilván Magyarországon. Ma már döntő többségük szivattyúzással üzemel. A nyolcvanas évek végére a biztonságosság helyére hazánkban is a fenntarthatóság elve lépett, mivel az erópai vizek általános állapotára (maig is) jellemző adatok szerint Európában a városi vízművek 60%-a az utánpótlódást meghaladó mértékben termel ki felszín alatti vizeket.

A túlzásait negatív következményei a víz kitermelési oldaláról tekintve:

- Költségnövekedés:
 - mélyebbre kell fúrni,
 - nagyobb teljesítményű szivattyúk,
 - nagyobb energia igény.
- Kiáramló vízmennyiség folyamatos csökkenése, felszíni vizek hozamának apadása.
- Áramlási pályák változásával a beszivárgás növekedésével a felszíni szennyeződés mélyebbre tud lejutni.
- Vízpotenciál csökkenése következtében különböző vizek keveredhetnek, megváltozhat a víz kémia tulajdonsága, vízkőzet reakciók és ioncserék a vízminőség romlásához vezethetnek.
- A semleges pórusnyomás csökkenésével térszín-süllyedés, oldható kőzeteknél talajrogyások következhetnek be (Custodio, 2002).

Másik oldalról az egész felszín feletti ökoszisztémára drasztikus, sőt akár drámai hatással is járhat.

Hazánkban máig tartó vízkészlet apadások előzményei

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 elzárószervezet nélkül készített kutak éjjel-nappal megszakítás nélkül ontották a vizet. A vízkincs-csel 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).

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

A vízellátás fűrészmód 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 5000 fűrt kút szolgáltatja 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 ösztönözte a vízzel való takarékosságra, 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 szükségéstől, emiatt felgyorsult vízkészleteink elszennyeződésének folyamata is, 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 nyugat európai 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 teherterele 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 Hivatalt megszüntették, helyette létrehozták a Magyar Geológiai Szolgálatot, kizárólag az állami feladatok ellátására. 2007. január 1-jén a Geológiai Szolgálatot is megszüntették, jogutódja a Magyar Bányászati és Földtani Hivatal lett. A tudomány és oktatás új alapokra helyeződött, struktúrájában és irányvonalaiiban 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. 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 a fent említettek szerint 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 nyomás kiegyenlítődés következménye (Marton, 2009a).

Potenciometrikus szintek süllyedése a 20. század második felében

Az 1970-es évektől kezdődően kezdtek megjelenni publikációk az alföldi rétegvizek energiaszintjeinek (potenciometrikus szintjeinek) csökkenéséről. Nagyobb alföldi városainkban a kútcsoportos vízművek üzemeltetése az 1970-es évek közepére jelentős mélységű és kiterjedésű depressziós tölcserék kialakulását eredményezte. Debrecenben a maximális depresszió ebben az időben 24 m, a kimutatható depressziós hatósugár 20 km volt, Szegeden 8 m, illetve 10 km, Békéscsabán 8 m, illetve 7 km (Székely et al., 1976). Szentesen az energiaszint csökkenés 4,5 m, Gyulán több mint 4,0 m, Békésen 3,0 m volt. Hasonló folyamat zajlott le minden nagyobb településen, így pl. Makón, Mezőberényben, Dévaványán, Szeghalmon, Sarkadon, Szarvason és sok más helyen, ahol kimutatható volt az egy métert meghaladó szintcsökkenés (Rakonczai, 1977). (Debrecen térségben kimutatható nagyfokú depressziós tölcser kialakulásában lokális geológiai viszonyok is szerepet ját-

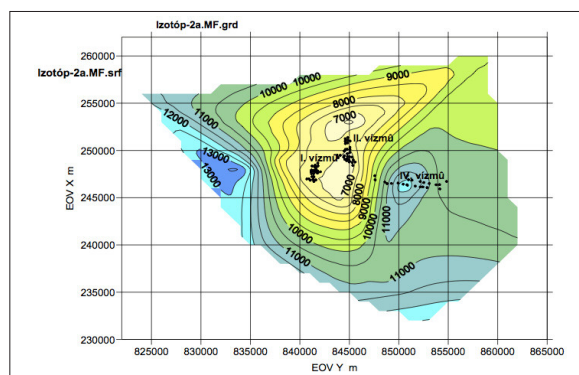
szanak. Erről bővebben a vízzáró rétegen való átszivárgás című fejezetben.)

Debrecenben a leggyorsabb süllyedést az I-es vízműnél tapasztalták, és már elég korán, mert 1952 és 1966 között évi 1,2 méteres csökkenést mértek, amely 1980-ra összesítve elérte a 28 métert. A II-es vízműnél az első kutak 1952. évi megnyitáskor 16–17 m mély nyugalmi szinteket találtak, amit az akkor már működő I-es vízmű mélyebb térszíni települése és ebből eredő leszívó hatása határozott meg. A potenciometrikus szintek látványos és feltűnő mértékű gyors süllyedése viszonylag korán felkeltette a szakemberek figyelmét. A jelenség a regionális áramlási rendszerben az áramkép gyökeres megváltozását jelezte. Ezért 1976-ban üzembe helyezték a Keleti Főcsatorna tisztított vizét hasznosító felszíni vízművet. A vízigények azonban tovább nőttek, a rétegvíz-termelés fokozódott, és az 1980-as évek közepén a nyugalmi potenciometrikus szintek a II-es vízmű területén már 42–44 méter mélyen álltak. A regionális kiterjedésű rétegben ez hatalmas méretű depressziós tölcserít alakított ki, amely ÉK irányban Nyírgelse településig, 35 km távolságig volt észlelhető, és elérte a vízvásztót (Marton, 2000). A IV-es vízmű termelése hasonló változásokat okozott, a depresszió K és DK felé is kihatott, és a korábbi áramlási viszonyokat megváltoztatva, DK felől is Debrecen felé irányította az áramlást.

Átszivárgás a rétegek között

A tapasztalatok megmutatták, hogy egy adott réteg tartós, hosszú idejű szivattyúzása során nem csak a szűrőzt rétegből származik a víz, hanem a szomszédos (esetünkben a felette települt) rétegek is hozzájárulnak ahhoz az átszivárgás folytán. Ezt a jelenséget különösen jól lehetett látni a Debrecen I. és II. vízműveknél, ahol több évtizedes víztermelés alakította az átszivárgás hidraulikáját. Ezt bizonyította Marton és Szanyi, akik a jelenséget a terület rétegvizei C14 izotóp koncentrációinak és az azokból számítható vízkorok helyi változásának bemutatásával az 1. ábrán szemléltetik. A vizek radiokarbon korát (év) a C14 koncentrációkból számították. (A mért radiokarbon koncentrációk adatai részletesen megtalálhatók: Marton, 2009a).

1. ábra: A fő vízadó réteg vizeinek kora (év) a Debrecen I. és II. vízművek környezetében



Forrás: Marton, 2009a

Figure 1: The age of the main layers (years) in Debrecen, in the area of Waterworks I. and II. Source: Marton, 2009a

Az ábrán látható, hogy az I. és II. vízművek területén a kb. 150–180 m mélység között települt alsó pleisztocén vízadó („vízműves réteg”) vize sokkal fiatalabb – 6000–7000 éves –, mint a távolabbi területek vizei. A IV. vízmű vízadó rétege mélyebben fekszik, mint az előbbieké, védettebb és rövidebb az üzemideje. A víz „megfiatalodása” az I. és II. vízműnél annak a következménye, hogy a hosszú ideig tartó nagymértékű víztermelés hatására átszivárgás történik a fő vízadó feletti, fiatalabb vizeket tartalmazó rétegekből. Az átszivárgás mértéke jelentős, az izotóp-adatokból számíthatóan a víztermelés fele a felső rétegekből származik, és a szivattyúzás depressziós tölcseré a felszínig kihat, a talajvizet is lesüllyesztve (Marton és Szanyi, 2000; Marton, 2009a).

Az átszivárgás mértékét hidraulikai alapon is meghatározták, és ugyancsak azt kapták, hogy esetükben a kitermelt víz 50%-a laterálisan a szivattyúzott rétegből, a másik 50% a felső rétegekből való átszivárgásból származik. Ez azt mutatja, hogy a Debrecen I. és II. vízmű erősen túlszivattyúzott állapotban van (Marton, 2009a) (1. ábra).

Az 1966. évi adatok alapján 62 kút vízszintjeinek ismeretében elkészítették a térségben az alsó pleisztocén vízadó potenciometrikus felületének szintvonalas térképét. A feldolgozást megismételték az 1986. évi, a csúcspozíciós egyik jellemző évének adatbázisa alapján. Ebben az időpontban már közel kétszer annyi, 105 kút adatával rendelkeztek. A nyomáshoz Debrecenben már 16 méterrel alacsonyabb volt, mint 1966-ban. A debreceni közüzemi víztermelés mértéke 1986-ban már olyan nagy volt – meghaladta a 25 millió m³-t –, hogy a vízbázis (az alsó pleisztocén vízadó) nem csak É-ÉK felől, hanem DK-i irányból is kapott táplálást, miközben erőteljes vertikális átszivárgás következett be, ami a talajvízszintet is lesüllyesztette (Marton, 2009a).

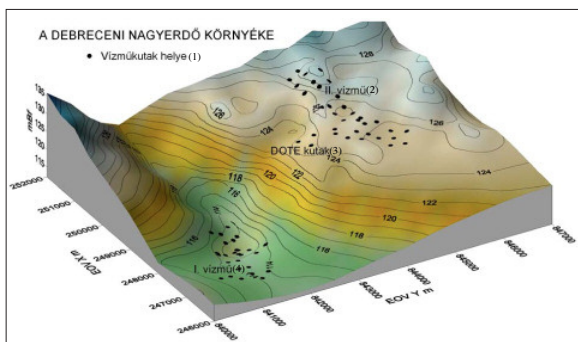
A korábban vízzárónak feltételezett agyagrétegeken való átszivárgását más debreceni tapasztalatok is jól mutatják. A rétegvizeket megcsapoló kutak hosszú ideig tartó szivattyúzásának hatására helyenként talajvízszint csökkenés következik be, melynek egyik jól ismert hazai példája a Debreceni Nagyerdő területén kialakult talajvíz-technő, mely a közelmúltban már Debrecen „tüdejének” tölgyfáira is hatást gyakorolt, számos egyed kipusztulásához vezetett.

A II. vízmű kútjainak leszívó hatására létrejött tektonó feloldalas, a nyugati oldalon nyitott, mivel azon az oldalon a Tócsó-völgy és az I. vízmű kútjainak leszívó hatása is megjelenik. Az I. vízmű helyzetét – a Nagyerdőben telepített II. vízműhöz viszonyítva – a 2. ábra szerinti tömbszelvény mutatja ortografikus ábrázolásban. Az erős túlmagasítással ábrázolt tömbszelvény bal oldalán és a nyugati oldalon markáns észak-dél irányú völgy látható. Ez a Tócsó-völgy, mely nagy mélységű, 1000 méter körüli mélységet és 100 km hosszúságot is elérő tektonikai törésvonal, és mintegy választóvonal a Nyírség és Hajdúság tájegységnek.

A tömbszelvény észak-keleti oldalán látható a Nagyerdő hullámos, 125–130 m tengerszint feletti magasságú területe (Marton, 2009b). Geológiai vonatkozásban a vízadókat közbetelepült agyag, agyagos homok rétegek választják el egymástól. Az alsó pleisztocén durva- és közép szemű homokból álló, helyenként kavi-

csos vízműves réteg vastagsága a Nyíradony–Debrecen–Derecske vonalban a legnagyobb, 50–70 m. Tágabb környezetében átlagosan 50 méter. A vízműves réteg fedője Debrecen környékén 130–160 m vastag, É-ÉK felé vékonyabb (80–100 m), míg D–DK-i irányban meghaladja a 200 métert (Marton és Szanyi, 1997).

2. ábra: A debreceni I. és II. vízmű helyzete ortografikus ábrázolásban



Forrás: Marton, 2009b

Figure 2: The position of Waterwork I. and II. in Debrecen from an orthographical point of view. Source: Marton, 2009b

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 (Marton, 2009b).

Az 1990-es évek közepe óta jelentősen csökkent az ország, ezen belül a térség vízfogyasztása, amely egyaránt érinti a lakossági és ipari vízfelhasználást. Ezek okai:

- víz- és csatornadíjak emelkedése,
- ipari és mezőgazdasági termelés visszaesése,
- víztakarékos technológiák bevezetése,
- fogyasztási szokások megváltozása,
- öntözési célú kis mélységű kutak számának növekedése.

A három üzemben jelenleg 96 db üzemképes mélyfúrású kút működik. Az ezekből kitermelhető vízmenyiség növelésének természeti és műszaki korlátai vannak. Az utánpótlódó készlet hosszabb időszakra vonatkoztatva 60 000 m³/nap, míg a napi vízigény jelenleg Debrecenben 40 000–55 000 m³/nap értéket mutat.

A műszaki korlátot a szűrési és tárolási kapacitások jelentik, amelyek az alábbiak szerint alakulnak:

- I. számú víztermelő üzem: 20 000 m³/nap
- II. számú víztermelő üzem: 30 000 m³/nap
- IV. számú víztermelő üzem: 20 000 m³/nap (Újlaki, 2008).

A vízügyi igazgatóságokhoz beérkezett jelentések alapján Marton és Szanyi elkészítették a 20 évvel ké-

sőbbi, a 2006. évi potenciáltérképet, 72 kút adatai alapján, ezáltal az ÉK-Alföld fő vízadó rendszere hidraulikai és hidrológiai változásainak egy 40 éves periódusát kísérhetjük nyomon. A térképek az üzemelő kutak leállítás után mért nyugalmi szintjeit ábrázolják 1966–1986–2006-ban is (Marton, 2009a). (A potenciometrikus térképek megtalálhatók: Marton 2009a).

Az 1986–88-as évek csúcstermelése után az 1990-es évek közepétől kezdődően folyamatosan csökkent a közüzemi rétegvíztermelés, Debrecenben évi 25 millió m³-ről mintegy 16 millió m³-re, és hasonló mértékben csökkentek az ipari vízkivételek. Ennek eredménye az lett, hogy Debrecenhez közel emelkedni kezdett, de Létavértesnél továbbra is süllyedt az energiaszint. Ugyanez a jelenség mérhető ki a Debrecen–Nyírgelse vonalon 1998-ban. Ez a hidraulikai jelenség úgy magyarázható, hogy ha a víztermelés csökkenésének első időszakában (amely több év időtartamot jelenthet) a regionális depressziós tölcser legmélyebb zónái töltődnek, a víztest a közlekedő edények törvényei szerint mozdul el. A tölcser mélyebb zónáinak töltődése a távolabbi területek vízkészleteinek nyomás-szintjét csökkenti, tehát ott további süllyedés áll elő. A hidraulikai viszonyoknak ilyen jellegű alakulása a rétegzett medencén belüli kontinuitás fényes bizonyítéka (Marton, 2009a).

Térszínsüllyedések vízkitermelés hatására

A felszín alatti vizek tartós szivattyúzásának hatására a potenciometrikus szintek apadásnak következtében térszínsüllyedéssel is találkozhatunk. A potenciometrikus szint magasságok csökkenése következtében a vízadó környezetének az alacsony permeabilitású rétegeiben kompaktció megy végbe, amely térszínsüllyedéseket eredményez. Az erősen szivattyúzott nyomás alatti vízadó rendszerekben a vízzáró kompaktójából származó vízmennyiség lényegében egyenlő a térszínsüllyedés térfogatával és tipikusan elérheti a szivattyúzott vízmennyiség akár 10–30%-át is (Marton, 2010).

A térszín süllyedése a világ számos pontján előforduló jelenség. Legnagyobb mértékű süllyedéssel a kaliforniai 725 km hosszú Great Valley-ben található San Joaquin völgnél találkozhatunk. Ezen a területen a 70-es évekig 70 milliárd m³ vizet szivattyúztak ki mezőgazdasági tevékenység céljára, aminek következtében 20 milliárd m³-rel csökkent a vízadó kőzet térfogata. Ennek következtében 153 m-es vízszint csökkenés következett be, amivel a világ egyik legnagyobb ember által okozott térszínsüllyedése járt, amely meghaladja a 9 métert. Magyarországon Medgyesbodzást települést szokták említeni ahol vízkitermelés okozta jelentős térsüllyedés már több mint 15 éve tapasztalható és folyamatosan épületkárok is keletkeznek. A térségi vízmű legutolsó adat szerint évi 20 millió m³ vizet termel, ami a debreceni problémát okozó II. telep kitermelésének közel háromszorosa. A Maros hordalékkúpjának vannak vastag, nem nagy mélységben települt puha agyag rétegei, amelyek vízleadása eredményezhet ilyen károkat. Azonban jelentős mértékű térszíni süllyedés, amely épületeket is képes megrongálni, csak kis távolságon belül változó egyenlőtlen süllyedésből származhat, és az ilyen területeken az összennyomódó agyagréteg nem lehet mély fekvésű.

A Kárpát-Balkán régió vertikális mozgásának részletes vizsgálata szerint Magyarország legintenzívebben süllyedő területe Debrecen térsége volt (Joó, 1996). A Debrecen környéki nagyarányú térszint-süllyedés mértéke nagy pontosságú ismétlődő relatív graviméteres módszerrel ellenőrizve is megerősítést nyert (Csapó, 1999).

A süllyedés mértéke 6,6 mm/év (ez azonban mindaddig nem okozott épületkárokat, mivel a süllyedés egyöntetű, továbbá az aquitard réteg mély fekvésű). Ha a II.-es vízmű üzembeállítása óta eltelt ötven évet nézzük, akkor ez 3,3 m térszinsüllyedést jelent. A térszinsüllyedés hatását a vízkitermelésen és a térszerkezeten kívül nagymértékben egyéb tényezőkre hárítani nem lehet mivel szembevetendő az, hogy a magyarországi függőleges irányú mozgások térképén a köpeny kéreg felület betüremkedései azoknak a nagyvárosainknak a területére esik, ahol régóta jelentős mennyiségű felszín alatti vízkivétel van. Érdekes körülmény, hogy a nyír-ség ÉK-i része emelkedik, de ez az emelkedés független a debreceni víz kitermelés volumenétől, mert a kutatási eredmények abba az irányba mutatnak, hogy ennek a függőleges irányú mozgásnak az eredője sokkal korábbra tehető (Szanyi, 2004).

Térsüllyedés mértéke néhány magyarországi településen:

- Debrecen: 6,6 mm/év,
- Szolnok: 4,3 mm/év,
- Szeged: 4,1 mm/év,
- Békéscsaba: 3,8 mm/év,
- Győr: 2,2 mm/év (Joó, 1996).

Felszín alatti vizek sérülékenysége – vízszennyezés

Mivel a felszín alatti vizek mozgása nagyságrendekkel gyorsabb, mint a kőzetmátrix mozgási sebessége ezért a szivárgó felszín alatti víz a kőzettestek között anyagot és energiát közvetít. A felszín alatti víz földtani tényező képletesen hasonlatosnak mondható a

vérnek az élőszervezetben betöltött szerepéhez, vizsgálatával ugyanúgy információhoz jutunk a kőzettestben lejátszódó folyamatokról, mint a vérkép, vérnyomás segítségével a test állapotáról (Tóth, 1999).

A felszín alatti vizek sok év ezred és évmilliók alatt lezajlott természeti folyamatok eredményeként jelennek meg ivóvízként hasznosítható formában. Veszélyeztetést a fenntarthatóságot szem előtt nem tartó gazdálkodás mellett a felszín felől beszivárgó szennyezések jelentenek. A ma magyarországon található 1200 vízszolgáltatást biztosító vízbázisból 643 sérülékeny földtani környezetben található és 78 úgynevezett távlati vízbázis kategóriába sorolható, amelyek kedvező természeti adottságaik és nagy kapacitásuk miatt az ország stratégiai tartalékait képezik.

A sérülékenységet azt jelenti, hogy a felszín alatti víztartó képződményt nem fedi kőzet, vagy a szennyezőanyagot át nem engedő földtani képződmény. Szennyező források lehetnek az ipari szennyezések, a mezőgazdaság a műtrágya mellett a szerves trágya használatával, a közlekedés az elhasznált üzemanyag kibocsátásával és az utak sózásával, a lakóterületek elég változatos módokon és bár más aspektusból de a bányászat és a mélyfúrások is szennyező forrásnak tekinthetők, amelyek a kőzetek megbontásával megsértik a felszín alatti vizek természetes védőrendszerét (Sérülékeny vízbázisok és védelmük, 2007).

Ebben a vonatkozásban Debrecen az utóbbi 28 évet vizsgálva viszonylag szerencsés helyzetben van. Kémiai elemek és vízben oldott vegyületek mennyiségében 1982. és 2010. év közötti időintervallumban számottevő változás nem mutatkozott. Ezt is demonstrálják a Debreceni Vízmű Zrt. igazgatósága által rendelkezésünkre bocsájtott, az 1. táblázatba foglalt, általuk kitermelt rétegvíz kémiai összetételére vonatkozó adatok. Habár a teljes vizsgálat megkívánná az I.-es vízmű üzembeállításának évében kitermelt rétegvíz kémiai összetételének a napjainkban szivattyúzottal való összevetését, ezzel kapcsolatos adataink nincsenek.

1. táblázat

A Debreceni Vízmű által kitermelt rétegvíz kémiai összetétele 1982. és 2010. évi vonatkozásban

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
EE2	K2259	1982.06.15.	–	2,37	7,83	638	7,81	182,2	182,2	92,85	22,94	9,0	476	0,88	0	0	16	430	250	0,24	414	30,0	2,20	–
K2	B2108	1982.05.18.	–	2,96	7,53	572	7,92	191,4	191,4	92,50	26,90	13,0	483	1,67	0	0	7	240	260	5,08	417	28,0	2,2	–
N22	K2206	1982.06.04.	–	1,89	7,82	510	6,41	138,1	138,1	69,09	18,20	7,0	391	2,13	0,21	0	9	180	70	1,36	366	28,5	2,00	–
EE2	K2259	2010.03.03.	15,2	1,53	7,38	660	8,00	198,0	198,0	95,20	29,00	6,2	488	0,67	0	0	8	227	182	1,94	375	27,8	1,34	16,1
K2	B2108	2010.08.11.	16,8	2,15	7,56	645	7,40	184,0	184,0	94,30	21,00	9,6	451	1,66	0,05	0	0	250	240	9,00	441	25,8	1,35	12,0
N22	K2206	2010.08.11.	20,8	1,57	7,75	530	6,60	137,0	137,0	70,80	19,00	4,5	403	1,32	0,05	0	0	231	58	2,34	434	31,0	1,24	3,04

Forrás: Debreceni Vízmű Zrt.

Jelmagyarázat: 1. Kút neve; 2. Kataszter szám; 3. Mintavétel ideje; 4. Höfok, °C; 5. KOIp5, mg/l; 6. pH; 7. Fajlagos elvezetőképesség, µS/cm; 8. m-lúg, mmol/l; 9. Összes keménység, CaOmg/l; 10. Karb. keménység, CaOmg/l; 11. Ca ion, mg/l; 12. Mg ion, mg/l; 13. Cl-ion, mg/l; 14. HCO₂⁻ ion, mg/l; 15. NH₄⁻ ion, mg/l; 16. NO₂⁻ ion, mg/l; 17. NO₃⁻ ion, mg/l; 18. SO₄²⁻ ion, mg/l; 19. Fe, µg/l; 20. Mn, µg/l; 21. Összes lebegőanyag, mg/l; 22. Összes szárazanyag, mg/l; 23. Na, mg/l; 24. K, mg/l; 25. As, µg/l; EE2: I. Telep É/2. sz. kút; K2: II. telep 2. sz. kút; N22: IV. telep 22. sz. kút. –: nincs adat

Table 1: A Debreceni Vízmű által kitermelt rétegvíz kémiai összetétele 1982. és 2010. évi vonatkozásban

Legend: 1. Name of well; 2. Register number; 3. Time of sampling; 4. Water temperature, °C; 5. Chemical oxygen demand, mg/l; 6. pH; 7. Specific electrical conductivity, µS/cm; 8. Metil orange alkalinity, mmol/l; 9. Ttotal hardness, CaOmg/l; 10. Carbonata hardness, CaOmg/l; 11. Ca ion, mg/l; 12. Mg ion, mg/l; 13. Cl- ion, mg/l; 14. HCO₂⁻ ion, mg/l; 15. NH₄⁻ ion, mg/l; 16. NO₂⁻ ion, mg/l; 17. NO₃⁻ ion, mg/l (NO₃⁻ ion, mg/l); 18. SO₄²⁻ ion, mg/l; 19. Fe, µg/l; 20. Mn, µg/l; 21. Total floating material, mg/l; 22. Total dry material, mg/l; 23. Na, mg/l; 24. K, mg/l; 25. As, µg/l; 26. EE2: Site I Sump No. É/2; 27. K2: Site II Sump No. 2; 28. N22: Site IV Sump No. 22; –: no data available. Source: Virágh, A. Waterworks Co. of Debrecen

Víz Keretirányelv és vízgyűjtő gazdálkodási terv

A Kárpát-mendecene egyetlen hidrológiai egység és ezen ma hazánkkal együtt 8 ország osztozik. Az egyik országban történő vízkitermelés befolyásolhatja a másik ország vízkészletét. A felszíni és felszín alatti vizek hidrológiai és hidrogeológiai rendszereket képeznek, amelyeket teljes egészükben kell vizsgálni. Ilyen körülmények között a vízgazdálkodás nemzetközi összefogást, valamint megfelelő kormányzati és jogi intézményrendszereket igényel. Ez a felismerés és az a tény, hogy Európa vizeinek minősége távolról sem tekinthető kielégítőnek vezetett oda, hogy az Európai Unió megalkotta a 2000/60EK irányelvet, amelyet Víz Keretirányelvnek szoktunk monani, és amely a vízvédelmi politika terén a közösségi fellépés kereteit határozza meg abból a célból, hogy vizeink 2015-ig „jó állapotba” kerüljenek. A Keretirányelvnek a hazai jogrendbe történő illesztése 2004-ig megtörtént.

A Keretirányelv a vizek „jó állapotba” hozásaként legfontosabbnak a vízkivétel és utánpótlódás egyensúlyának és a vízminőség javításának célja mellett a vízhez kötődő ökoszisztémának a mind természetesebb állapotának elérését és fenntartását irányozza elő. Ehhez szükség van a különböző tervek összehangolására az önkormányzatok és a különböző érdekcsoportok bevonásával. Mennyiségi szempontból vizeinket akkor tekinthetjük „jó állapotban” lévőnek, ha az antropogén beavatkozások hatására nem tapasztalhatók olyan mértékű vízszint változások, amelyek az áramlások irányának megváltoztatásával minőség romláshoz vezetnének, illetve a felszíni ökoszisztémára káros hatást gyakorolnának.

A Keretirányelv azt a célállapotot fogalmazza meg, miszerint 50 éves távon a stratégiai jelentőségű felszín alatti vizeink minőségének az egész ország területén meg kell, hogy közelítse az emberi tevékenységgel nem érintett vizek minőségét. Minőségi tekintetben szintén a jó állapot elérése a cél, amely szerint vizeinkben a szennyezőanyagok koncentrációi nem lehetnek meghatározott szintnél magasabbak, illetve nem okozhatnak károsodásokat a kapcsolatban lévő ökoszisztémában. A Keretirányelv kiemelt feladatként rögzíti a felszín alatti vizek nyomásszint csökkenésének megakadályozása és a veszélyeztetett területeken az egyensúly helyreállítása mellett azt, hogy sehol se következessen be kedvezőtlen irányú vízminőség változás a víztermelés során előálló új hidraulikai viszonyok miatt.

A vizeink állapotának folyamatos ellenőrzéséhez a felszín alatti vizek monitoring rendszerének fejlesztése elengedhetetlen volt. A korábbi a 595 db víztermelő kútra támaszkodó rendszert 2005-ben PHARE támogatásból még 600 db új megfigyelő kút üzembehelyezésével egészítették ki. A Vízkeretirányelv 2009-re irányozta elő a Vízgyűjtő gazdálkodási terv és konkrét intézkedési programjainak megalkotását. 2009 szeptemberére elkészült a Vízgyűjtő-gazdálkodási terv. Magyarország a Duna-vízgyűjtőjéhez tartozik. Négy vízgyűjtő területéből (Duna, Tisza, Dráva, Balaton) Debrecen és térsége a Tisza-vízgyűjtő területéhez tartozik. A négy vízgyűjtő terület további szervezési alegységekre osztott, melyekből megyénk a Hortobágy-Berettyó (2.15) és Berettyó szervezési alegységhez

(2.17) tartozik. Debrecen 63–37%-ban a 2.15, illetve 2.17 számmal jelzett alegységhez tartozik.

A VGT szerint a 2.17-hez tartozó AEP 651 kóddal jelzett ivóvízellátásra és öntözésre használt Keleti-főcsatormánál mint mesterséges felszíni víztestnél 2015-ig a jó potenciál elérhető, de ökológiai állapotát tekintve a besorolása a nem jó kategóriába lett sorolva. Kémiai állapotáról nem kapott jellemzést a csatorna azon kívül, hogy a kimutatható réz szennyezést meg kell szüntetni.

Debrecen és térségének felszín alatti vizei a Nyírség déli rész, Hajdúság besorolásba tartoznak. Leáramlási típusúnak mondjuk és porózus 2.6.1 kóddal van jelölve. Ezeknek a felszín alatti vizeknek sem a minősége sem pedig utánpótlódási adatai nem kaptak jó besorolást. Kémiai állapotuk viszont a Vízgyűjtő-gazdálkodási terv jelenlegi állapotának megállapítása szerint jók, melyet az említett *I. táblázat* is példáz. Környezeti célkitűzésként 2017-re elvileg a jó állapot elérhető. A feltételes mód azért indokolt mert ezen tevékenységek végrehajtásához az idő mellett jelentős pénzre is szükség van. A realitásokkal és a VKI 2015-ös végső határidejének kétszer hat évvel megigényelhető meghosszabbíthatóságával számolva a 2027-es dátum tűnik az elvárások reális teljesíthetőségének végső határidejének.

Intézkedéseket is megfogalmaz a Vízgyűjtő gazdálkodási terv, amely a víztest mennyiségi és minőségi állapotát hivatott javítani az engedély nélküli vízkivételek visszaszorításán, az igénybevételi korláti meghatározásán, víztakarékosságra és víztakarékos mezőgazdasági termelés módokra vonatkozó technológiák alkalmazásának preferálásán keresztül.

Debreceni Vízműre vonatkozó megállapítások. A Vízgyűjtő-gazdálkodási terv szerint az:

- I. számú vízmű vízbázisa sérülékeny a védendő mennyiség 15 000 m³/nap,
- II. számú vízmű védendő mennyisége 25 000 m³/nap. A Biogal (Teva) gyógyszer gyár súlyos szennyezése ellenére erre vonatkozóan adatot nem közöl.
- IV. számú vízmű bázisa a VGT szerint nem sérülékeny, és a napi védendő mennyiség 15 000³/nap.

ÖSSZEGZÉS

A várható éghajlatváltozás egyre erőteljesebben érvényesülő hatására, a vízjárás változásait előrejelző becslések, az éghajlat ariditásának erősödése miatti nedvességhiány, valamint a vízutánpótlás csökkenése nyomán keletkező talajvízszint-süllyedés és egyéb kedvezőtlen természeti folyamatok következtében jelentkező vízminőség romlás és egyéb mennyiségi problémák megnehezítik EU Víz Keretirányelv szerint előírt jó állapot elérését és fenntartását. A természetes vízellátottság és a vízminőség romlása az ökoszisztémákra hátrányos, és különösen a vízi, vizes és amfibikus élőhelyek fennmaradását, biodiverzitását veszélyeztetik. A víz mennyiségét tekintve a hosszan tartó aszályos időszakok, valamint az árvizek, belvizek okozhatnak nehézséget. A vízminőséget illetően a kisebb vízmenyiség miatt a vizek öntisztuló képessége csökkenhet. Ilyen módon egyes szennyezések lebomlása lassabb lesz, ami a vízminőséget befolyásolja. A vízminőségre a hirtelen lezúduló esőzések is veszélyt jelenthetnek.

A nagymennyiségű csapadék megnöveli a szennyvíz- és csatornarendszerek terhelését, amelyek túlfolyáshoz, szennyeződések kialakulásához vezethetnek. Az éghajlat szárazabbá válásának, a párolgás növekedésének és a folyók lefolyásának csökkenése következtében változhat a tavak vízháztartása. A növekvő párolgás miatt számos, különösen ma is kisméretű tó felülete erősen csökkenhet, alföldi tavaink közül több kiszáradhat. A három legnagyobb természetes tó, a Balaton, a Velencei-tó és a Fertő-tó vízforgalma is lelassulhat, a víz kicserélődésének ideje megnövekedhet. Ezzel együtt nőhet átlagos sótartalmuk, szikes jellegük. Ez azzal jár, hogy feldúsulhatnak tápanyagban, ami kedvezőtlenül befolyásolhatja az oxigénviszonyokat, így javulhatnak a kórokozó baktériumok túlélésének esélyei. A növekvő

párolgás a felszín alatti vízkészlet drasztikus csökkenését is okozhatja. A prognosztizált éghajlatváltozás hatásaként növekvő ár- és belvizekre, gyakoribbá váló aszályos időszakokra lehet számítani (OVGT 2, 2008).

Az ivóvíz minőségének és mennyiségének védelme, illetve fenntartása érdekében a felszín alatti vízkészletek igénybevétele csökkenése mindenképpen szükséges. Az ipari és egyéb privát vízhasználat visszaszorítása elengedhetetlen, továbbá javítani indokolt a szennyvíztisztítás hatásfokát is, mert mind helyi, mind globális aspektusban a napjainkig folytatott pazarló vízhasználat következményei már a közeljövőben is mindannyiunkat közvetlenül érinthet.

IRODALOM

- Custodio, E. (2002): Aquifer overexploitation: what does it mean? *Hydrogeology Journal*. 10: 254–277.
- Csapó G. (1999): Felszínmozgások komplex vizsgálata Debrecen környékén felsőrendű szintezések alapján. T031875 sz. OTKA pályázat kutatási terve. Budapest.
- Domenico, P.A.–Schwartz, F.W. (1998): *Physical and Chemical Hydrogeology*. Wiley. New York. 506.
- Halász B. (1975): Rétegzett hidrogeológiai rendszerek sajátosságai. *Hidrologiai Közöny*. 55. 11: 505–507.
- Halász B. (1996): Felszín alatti vizekkel való gazdálkodás rétegzett rendszerekben. Doktori értekezés. *Vízügyi Közlemények*. 4: 440–443.
- Joó I. (1996): A földfelszín magassági irányú mozgásai Magyarországon. *Geodézia és Kartográfia*. 4: 6–12.
- Kalf, F.R.P.–Woolley, D.R. (2005): Applicability and methodology of determining sustainable yield in groundwater systems. *Hydrogeology Journal*. 13. 1: 295–315.
- Lászlóffy W. (1982): *A Tisza. Vízi munkálatok és vízgazdálkodás a tiszai vízrendszerben*. Akadémiai Kiadó. Budapest. 413.
- Liebe P. (2002): Felszín alatti vizeink. *Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium. Tájékoztató*. VITUKI. 43.
- Margat, J. (2007): "Great aquifer systems of the world." [In: Laurence, C.–de Marsily, G. (eds.) *Aquifer Systems Management: Darcy's Legacy in a World of Impending Water*.] Oxford. England. Taylor & Frances. 105–116.
- Marton L. (2000): Debrecen I. és II. vízművek vízbázisainak hidrogeológiai vizsgálata. Vizsgálati jelentés a VITUKI Rt. részére. Kézirat.
- Marton L. (2009a): *Alkalmazott hidrogeológia*. ELTE Eötvös Kiadó. Budapest. 626.
- Marton L. (2009b): Energiaszint változások az ÉK-Alföld fő vízadó rétegében. *Debreceni Műszaki Közlemények*. 8. 1–2: 15–28.
- Marton L. (2010): Az ivóvíz készletek védelmének Hidrológiai vonatkozásai. *Debreceni Műszaki Közlemények*. 2: 31–48.
- Marton L.–Szanyi J. (1997): Kelet-magyarországi pleisztocén üledékek geostatistikai vizsgálata. A rétegek közötti területi átszivárgás meghatározása. *Hidrologiai Közöny*. 77. 5: 241–248.
- Marton L.–Szanyi J. (2000): A talajvíztükör helyzete és a rétegvíz-termelés kapcsolata Debrecen térségében. *Hidrologiai Közöny*. 80. 1: 3–13.
- OVGT 2 (2008): Éghajlatváltozásra való felkészülés, alkalmazkodás általános kérdései Magyarországon. (2-2 háttéranyag. Országos Vízügyi-gazdálkodási Terv 2. / TED [2008/S 169-226955]).
- Rakonczi J. (1977): A vízkitermelés hatása az artézi vizek nyomásváltozására a Délkelet-Alföldön. [In: *Alföldi tanulmányok*. I. kötet.] Békéscsaba. 59–75.
- Sophocleus, M. (2005): Groundwater recharge and sustainability in the High Plains in Kansas. USA. *Hydrogeology Journal*. 13: 351–365.
- Sérülékeny vízbázisok és védelmük (2007): *Vízügyi tájékoztató*. Budapest.
- Szanyi, J. (2004): The influence of lower – boundary condition on the groundwater flow system. *Acta Geologica Hungarica*. 47. 1: 93–104.
- Székely F. (2005): Dr. Halász Béla tudományos-szakmai munkássága. *Hidrologiai Közöny*. 85. 2: 63–64.
- Székely F.–Liebe P.–Ágotai Gy. (1976): *VITUKI 1976. évi országos rétegvízészlelései*. Kézirat.
- Tóth, J. (1999): Groundwater as a geologic agent: An overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeology Journal*. 7: 1–15.
- Újlaki P. (2008): Debreceni rétegvizek minősége az ásványvíz minősítés tükrében. Felszín Alatti Vizekért Alapítvány XV. Konferencia a felszín alatti vizekről. Balatonfüred. 2008. március 26–27.
- Vermes L. (szerk.) (1997): *Vízgazdálkodás. Mezőgazdasági Szakutudás Kiadó*. Budapest.