

## FELSZÍN ALATTI VIZEK – A HIDROLÓGIAI CIKLUS LÁTHATATLAN RÉSZE

Szűcs Péter

az MTA doktora, intézeti tanszékvezető egyetemi tanár, kutatócsoport-vezető  
Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézet Hidrogeológiai-Mérnökgeológiai Tanszék,  
MTA–ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport  
hgszucs@uni-miskolc.hu

**Kulcsszavak:** hidrogeológia, felszín alatti vízkészletek, ivóvíz, ásványvíz, gyógyvíz, hévíz, kutatás

Hazánkban igen nagy jelentőségük van a hidrológiai ciklus láthatatlan részét képező felszín alatti vízkészleteknek. Az ivóvízellátás döntő része a felszín alatti vizeinkből származik. Messze földön ismertek vagyunk ásványvíz-, gyógyvíz- és hévízkészleteinkről, geotermikus adottságainkról. A hidrogeológusok szakmai felelőssége igen nagy a tekintetben, hogy felszín alatti vizeinket mennyiségi és minőségi szempontokat is figyelembe véve fenntartható módon hasznosítsuk, illetve hosszú távon megőrizzük. Az utóbbi időkben számos új globális vagy lokális természeti és társadalmi problémával is szembesülnünk kellett, amelyek káros hatásai sajnos jelentősek a felszín alatti vizekre is. A jelen és a jövő hidrogeológusainak új típusú szakmai kihívásokra intenzív kutatásokra alapozott innovatív megoldások segítségével kell hatékony választ adniuk. Világossá vált, hogy a hazai felszín alatti vizekkel kapcsolatos kihívások hatékony megoldására nemzetközi szintű új kutatási eredményekre van szükség. A ma is kiemelkedő színvonalú és nemzetközileg is látható hazai hidrogeológiai kutatások döntő része felsőoktatási intézményekben és akadémiai kutatóintézetekben folyik, különösebb koordináció nélkül. Kialakultak jó példát mutató együttműködések a kutatóhelyek között, de a nagynevű elődök munkáját folytató hazai kutatói kapacitás még hatékonyabban lenne kihasználható megfelelő szintű hálózati együttműködés és feladatorientált finanszírozás révén. E gondolatok megvalósulásában jelentős szerepet játszhat a Magyar Tudományos Akadémia által elfogadott és támogatott előterjesztés a Nemzeti Víz tudományi Kutatási Program létrehozásáról.

### HIDROGEOLOGIAI VISZONYOK MAGYARORSZÁGON

Magyarország a Duna vízgyűjtő területén belül a Kárpát-medencében, a Föld egyik legzártabb medencéjében helyezkedik el. E természetföldrajzi vonatkozásnak fontos kihatásai vannak a felszín alatti vízkészleteinkre. Hazánk hét ország-

gal szomszédos, amely tény speciális viszonyokat alakít ki a felszín alatti vizek esetében is. Európán belül Magyarországnak van fajlagosan a legtöbb határral osztott felszín alatti vízbázisa. Az ország vízgyűjtő-gazdálkodási tervében megadott 185 felszín alatti víztestből negyven hivatalosan is elismert, határral osztott víztest. Azaz, országon kívüli hatások is jelentősen befolyásolhatják felszín alatti vizeink mennyiségét és minőségét. A hazai kutatások nyomán fontos eredmények születtek a határral osztott felszín alatti vízadók vízkészleteinek hasznosítása területén (Szűcs et al., 2013), a tapasztalatokat számos UNESCO-kurzus keretében sikerült megosztani a nagyvilágban.

Hazánk vízföldtani adottságai egyrészt jók, ugyanakkor a hidrogeológus szakembereknek speciális földtani, hidrogeológiai, meteorológiai és geotermikus viszonyokra kell számítaniuk a Pannon-medencében. Az ország nagy területein ugyanabban a naptári évben előfordulhat a felszín alatti vizekre is hatással levő árvíz, belvíz és aszály. Magyarország változatos földtani és hidrogeológiai képet mutat. A vízellátás szempontjából komoly jelentőségű karszthegységeink hidrogeológiai viszonyai (Eröss et al., 2012) mellett tanulmányozhatóak a hasadékos vulkáni, magmás és metamorf kőzetek igen érdekes vízraktározási viszonyai is (Székely et al., 2015). A nemzetközi érdeklődés figyelmébe került Alföld és a Kisalföld számos megoldásra váró problémát kínál a hidrogeológusok számára.

Az Alföld egészét tekintve a rekonstruált felszín alatti vízárantér értelmezése alapján két folyadékfajta jelenlétével kell számolnunk. Felül egy gravitációs folyadékrendszer, míg alatta a tektonikai kompresszió által is generált túlnyomásos vagy egyes emelkedő területeken alulnyomásos folyadékárantér található (Mádl-Szőnyi et al., 2015). Az üledékképződésből, fluidumhőmérséklet-emelkedésből és tektonikai kompresszióból eredő erős túlnyomások forráshelyei uralkodóan a preneogén aljzat kimagasló rögei. Ebben a mély, fojtott hidraulikus áramlási rendszerben a folyadékok függőleges mozgáskomponense egyértelműen felfelé irányul. Az említett két nagy áramlási rendszer határfelülete igen komplex (Czauner – Mádl-Szőnyi, 2013): mélysége az Alföld különböző területein még meghatározásra vár. A csatlakozási zóna alakja és dinamikai jellege nagyon változó, és függ a hidrogeológiai környezettől. Az Alföld kőzetvázát egy komplex szerkezetű preneogén aljzatú medence 7000 m vastagságot is elérő, fluidummal kitöltött neogén törmelékes üledékösszelete alkotja. Magyarországon a felszín alatti kőzetek porusaiban és repedéseiben egy időben kb. 5000 km<sup>3</sup> víz, ún. statikus készlet helyezkedik el. A fenntartható vízhasznosítás szempontjából sokkal nagyobb jelentőségű a dinamikus készletek meghatározása. Országos szinten a felszín alatti, fenntartható módon kitermelhető vízkészlet 1,5–2 km<sup>3</sup>/év körül alakulhat, ezt az értéket további kutatások pontosíthatják.

## FELSZÍN ALATTI VIZEK A VÍZELLÁTÁSBAN

A világ vízellátásában a felszín alatti víz átvette a vezető szerepet a felszíni vízkészletektől. Európában ma már a vízellátás 75%-a, míg Magyarországon több mint 95%-a származik a felszín alatti vizekből. Bár az ivóvízellátó közművek napi kapacitása Magyarországon 4,5 millió m<sup>3</sup>, a termelt ivóvíz éves mennyisége csak kb. 700 millió m<sup>3</sup>. Az ivóvíz mellett az ásvány- és gyógyvizeinket, valamint a hévizeket is magában foglaló felszín alatti vízkészleteink még inkább felértékelődnek a közeljövőben, hiszen egyre sokasodnak a Föld lakosainak már jelenleg is mintegy felét érintő vízellátási problémák. Sajnos a változó természeti feltételek és adottságok mellett felszín alatti vízkészleteinket is veszélyeztetik azok az emberi hatások, amelyek egyrészt a környezeti elemek szennyeződésében, a vízkészletek túlermelésében vagy például szélsőséges időjárási jelenségek formájában fejtik ki hatásukat.

Magyarországon a felszín alatti vizek esetében a gyakorlati osztályozás (Juhász, 2002) alapján többfajta víztípust is elkülönítünk. A *parti szűrésű* – a folyók kavicsteraszához közvetlenül is kapcsolható – vízkészleteket is idesoroljuk a hazai nevezéktan szerint. E vízkészletek – amelyek a vízellátás közel 40%-át teszik ki – bizonyítékai a felszín alatti és felszíni vizek közötti kölcsönhatásnak. A termelés fontos feltétele a mederfenéken a termelés hatására kialakuló, mikrobiológiailag aktív szűrőréteg. E vízkészlet megőrzése stratégiai fontosságú, Budapest szinte teljes egészében parti szűrésű vizet használ majd kétmillió lakosa ellátására. A parti szűrésű vízkészletek mellett elsősorban síkvidéki területeinken a *rétegvizek* jelentik még ivóvizeink legjelentősebb forrását. A Dunántúli-középhegység és a Bükk környezetében a sérülékeny *karsztvíz* is számottevő a víztermelésben. Sajnos a felszínhez legközelebb eső *talajvizeink* többsége ma már olyan rossz minőségű, hogy nem alkalmas ivóvízellátásra. Az ország kisebb területén, például a Tokaji-hegységben lokális léptékben a *vulkáni kőzetek hasadékaiban és repedéseiben tárolt víz* is szerepet játszik a vízellátásban. Fontos megérteni, hogy a felszín alatti vizek gyakorlati osztályozása mesterséges elkülönítést jelent, ahol a felszín alatti vízkészlet egyes fajtáinak elkülönítése és egymással való kapcsolata mind lokális, mind regionális szinten a hidrogeológusok szakértelmét kívánja.

A biztonságos hazai vízellátás fenntartása érdekében tovább kell folytatni az országos vízbázisvédelmi programot az üzemelő és a távlati vízbázisok tekintetében. A mintegy 1700 hazai vízbázis több mint fele sérülékenynek tekinthető, így csak ezek megfelelő diagnosztikája, biztonságba helyezése és tartása garantálhatja létfontosságú nemzeti érdekünket az ivóvízellátás területén. Az ivóvízminőség-javító program keretében törekedni kell olyan lehetséges hidrogeológiai és vízgazdálkodási megoldásokra, amelyek nem csak az igen költséges víztisztítási technológiák alkalmazására támaszkodnak. Szakmai szempontból elkerülhetlenné vált a víziközmű-szolgáltatás teljes reformja, amelyben a hidrogeológusok-

nak is jelentős szerepet kell kapniuk. Közös érdekünk, hogy a víziközmű-szolgáltatással kapcsolatos szakmai elvárások jelentősen fokozódjanak a jövőben. Ez szolgálhatja a vízszolgáltatás minőségének és megbízhatóságának további jövőbeli javulását, illetve a vízi közmű előregedett infrastruktúrájának megújulását. Ma a jelentős, sokszor 20–30%-ot is meghaladó hálózati veszteségek nagymértékben – károsan – befolyásolják egy-egy adott helyen a természetes felszín alatti vízkészleteink mennyiségi és minőségi állapotát. Távlati vízbázisokat tekintve ugyanakkor jó helyzetben van az ország. A felszín alatti víz napi 2-2,5 millió köbméteres kitermelése mellett kb. 1 millió m<sup>3</sup>/nap összesített kapacitású, zömében parti szűrésű távlati vízbázissal számolhatunk.

### ÁSVÁNY- ÉS GYÓGYVÍZ-, VALAMINT HÉVÍZKÉSZLETEINK KIVÉTELES TERMÉSZETI ADOTTSÁGAI

Magyarország *ásvány-, gyógy- és termálvíz*kincse világviszonylatban is kiemelkedő, a nemzetgazdaság számára is jól hasznosítható természeti érték, amely számos település és térség számára további felemelkedést és munkahelyteremtést jelenthet. A környezetvédelmi szempontokat is figyelembe vevő ásvány- és gyógyvízellátás minőségi bővítését, a gyógyászati, rekreációs és wellnessigények kielégítését, valamint a geotermikus energia fokozott hasznosítását a nemzetközi szervezetekkel és tudományos trendekkel összehangoltan kell tervezni (Buday et al., 2015). Az uniós csatlakozás után sokat változott az ásványvíz minősítésének rendszere. Az ásványvizek hivatalos elismerésben részesülnek. A gyógyvíz olyan ásványvíz, amely oldott ásványianyag- vagy gáztartalma következtében gyógyhatású, és meghatározott betegségekre vonatkozó gyógyhatását szigorú előírásokhoz kötött orvosi vizsgálatokkal kimutatták. Az Országos Gyógyhelyi és Gyógyfürdőügyi Főigazgatóság nyilvántartása szerint Magyarországon 258 elismert ásványvíz és 220 elismert gyógyvíz található. Az Új Széchenyi Terv Gyógyító Magyarország – Egészségipari Programja is magában foglalta hazánk kivételesen gazdag termál-, ásvány- és gyógyvízkészletének, geotermikus adottságainak hatékony, sokrétű kiaknázását és hasznosítását. Az utóbbi húsz évben az ásványvízfogyasztás jelentősen nőtt nemcsak Magyarországon, de a világon mindenütt. Az elmúlt években hazánkban az egy főre jutó ásványvízfogyasztás 117 liter/fő/év körül alakult. A kiváló természeti adottságokat jól jellemzi, hogy szinte minden ásványvíztípus megtalálható Magyarországon.

Az ásvány- és gyógyvizek igazi értékét elsősorban a vízben oldott kémiai elemek, ásványi anyagok és gázok minősége és mennyisége határozza meg. A fejlesztések eredményeként ma már kb. negyven nagy, nemzetközileg is elismert gyógy- és termálvízre épülő központ van Magyarországon. Gyógyvízkészleteink a gyógyhatások sokféleségét tekintve világszinten is egyedülálló értéket képviselnek. A balneológia (gyógyfürdőtan) tudománya a gyógyforrások és gyógyvi-

zek gyógyfürdői alkalmazásával foglalkozik. A Miskolci Egyetemen 2016-ban indulhat az újonnan bevezetett Balneoterápia szakirányú továbbképzési szak az Egészségügyi Kar és a Műszaki Földtudományi Kar közös szervezésében.

A jövőben a hidrogeológiának jelentős szerepet kell játszania a geotermikus energia felhasználásának növelésében is. A 30 °C-nál melegebb *hévizek*nek igen jelentős szerepük van a hő, illetve az energia felszínre hozatalában és hasznosításában. Bonyolítja a helyzetet, hogy a termálvizek a Kárpát-medencében sok helyen hidraulikailag összefüggenek az ivóvíztermelésre használt rétegekkel. Speciális vízgazdálkodási stratégia kialakítására van szükség annak érdekében, hogy fenntartható módon elégíthessük ki egy adott területen a felszín alatti vízre alapozó ivóvíz-, gyógyászati célú és az energetikai célú igényeket. Hazánk, valamint a Kárpát-medence kimagaslóan jó geotermikus potenciálját, hidrogeotermikus rendszereit, hévízfelhasználási lehetőségeit az utóbbi időben több kiváló tanulmány is bemutatta (Székely, 2010). Magyarország területén a felszín alatt a bolygó belseje felől az átlagos földi hőáram értéke kb. 90 mW/m<sup>2</sup>, míg a geotermikus gradiens 30–50 °C/km közötti. A változatos vízföldtani kép biztosíthatja a különböző jellegű és típusú geotermikus energia hasznosítása alapjainak kiszélesítését Magyarországon (Bobok – Tóth, 2010).

Alacsony entalpiájú, 30 °C vízhőmérséklet alatti rendszerek, azaz elsősorban nyitott (víztermeléses és visszanyeletéses) és zárt rendszerű (szondás és talajkollektoros) hőszivattyús rendszerek telepítésére a karsztos térségek kivételével szinte mindenütt kedvezőek a hazai földtani adottságok. A hidrogeológiai szempontból is érdekes nyitott rendszerek telepítésére hazánk folyóinak hordalék-kúp-területei kiemelten alkalmasak, ahol a kiváló hidraulikai jellemzőkkel bíró, sekély mélységű vízadóból komoly hőkészletet nyerhetők ki. Szondás és talajkollektoros rendszerek telepítésére – a karsztos térségek kivételével – a felszín közeli, felső 80–100 m (max. 250 m) vastagságú, negyedidőszaki, pannóniai és a miocén összletek tárolt és utánpótlódó hőkészletének kiaknázására nyílik lehetőség számos hazai területen. A hőszondák alkalmazásának legkedvezőbb területei lehetnek a már említett hazai kavicssteraszok, ahol a homokos kavicsrétegekben az átlagos 60-70 W/m fajlagos hőteljesítmény helyett akár 80-90 W/m fűtő- és hűtőteljesítmény elérésére is képesek a hőszondák 100 m/év körüli felszín alatti vízáramlási sebességek esetén. A kisebb teljesítményű hőszondás rendszerek létesítéséhez a bányahatóság hozzájárulása vagy egyszerűsített építési engedélyezési eljárás, a nyitott rendszerek létesítéséhez viszont hosszabb, költségesebb és bonyolultabb vízügyi engedélyezési eljárás társul.

A közepes entalpiájú rendszerek 30–100 °C hőmérsékletű vizeit elsősorban kasszád rendszerű kommunális rendszerekben fűtésre és lakossági, illetve ipari használati melegvíz-szolgáltatásra, valamint wellness- és gyógyfürdőkben, mezőgazdasági létesítményekben hasznosítják. A hévíztároló rendszerek hazai regionális eloszlása alapján megállapítható, hogy Magyarország geotermikus adottságai a kö-

zepes entalpiájú rendszerek tekintetében kimagaslóak. A legkedvezőbb adottságú térségben, a Dél-Alföldön gyakorlatilag minden település esetén földtanilag lehetséges a közepes entalpiájú rendszerekkel történő hőhasznosítás. Világosan látszik azonban, hogy hévízkészleteink termelése sok helyen meghaladja a fenntartható mértéket (Szanyi – Kovács, 2010). E helyeken folyamatos vízszintsüllyedéseket regisztrálhatunk. Ezért nagyon fontos az energetikai célú hévízkivételek esetében a ma már jogszabályilag is előírt visszasajtolás, amelynek technológiáját a költségek csökkentése érdekében fejleszteni kell. Vízgazdálkodási szempontból elfogadhatatlan, hogy az évi kb. 50 millió m<sup>3</sup>-nyi energetikai célú hévíztermelés mellett jelenleg csak kb. 4 millió m<sup>3</sup>-t sajtolnak vissza a felszín alá. A lehűlt, sokszor igen magas sótartalmú vizek eddig felszíni befogadóba kerülve okoztak jelentős környezetterhelést, illetve a felszíni vízfolyásokon keresztül elhagyták az országot. A jövőben emellett hangsúlyt kell helyezni a meglévő vízkivételek hőenergiájának optimalizálására, a többlépcsős hasznosítás terveinek kidolgozására és megvalósítására, a hasznosítás határfokának növelésére. A fenntartható geotermikus energia hazai hasznosítására igen jó példa az utóbbi évekből az a nagy léptékű miskolci beruházás, amelynek eredményeképpen létrejött Közép-Európa legnagyobb geotermikus hőerőműve, mintegy 50 MW fűtési kapacitással. Kistokaj és Mályi térségében 2 termelő és 3 visszasajtoló kút segítségével valósult meg a kivitelezés, ahol a teljes termelt hévízmennyiség a kaszkád rendszerű hőhasznosítás után visszasajtolásra kerül a mélykarsztos rendszerbe az energiaviszonyok fenntartása miatt.

A nagy entalpiájú, 100 °C vízhőmérséklet feletti rendszerek létesítésének alapvető célja az elektromos energia termelése, illetve az egységnyi elektromos energia előállításánál keletkező 6–8 egységnyi hőenergia együttes hasznosítása. Bár az országban több helyen is találhatunk olyan területeket (például Fábiansebestyén, Makói-árok, Békési-süllyedék, Derecskei-árok), ahol akár 180–200 °C hőmérsékletű felszín alatti vizek állnának rendelkezésre áramfejlesztésre, sajnos ilyen beruházások eddig nem valósultak meg a Kárpát-medencében. Egy sikeres geotermikus koncessziós pályázat eredményeként Battonya térségében folynak előzetes hazai kutatások egy EGS (HDR) típusú erőmű kifejlesztésére, amelynek prototípusa a németországi Soultzban üzemel. Bár az üzembiztos működés során számos műszaki problémával kell megküzdeni, ugyanakkor a nagy mélységű EGS-rendszerek elvileg több helyen is telepíthetőek lennének a medencealjzatban Magyarországon.

### JÖVŐBELI KIHÍVÁSOK A HIDROGEOLÓGUSOK SZÁMÁRA A KÁRPÁT-MEDENCÉBEN

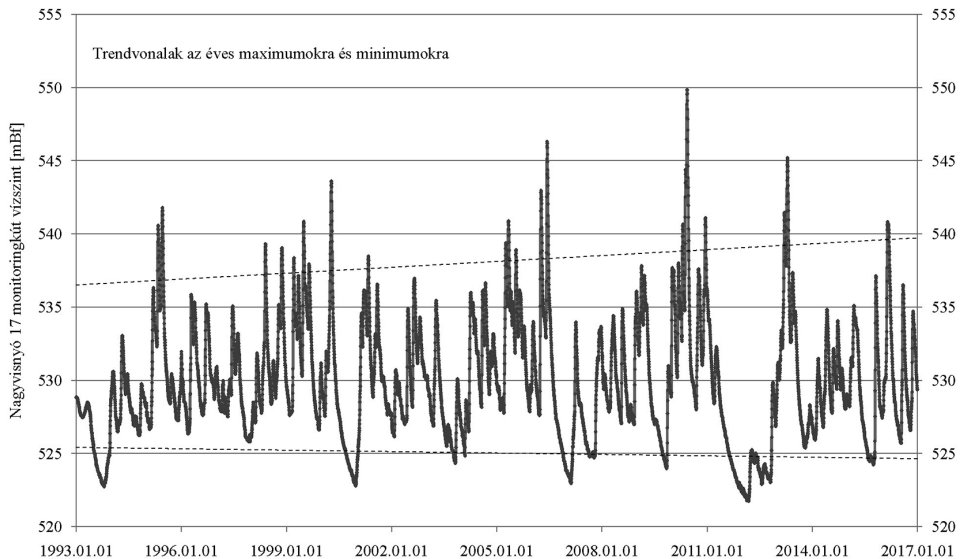
A hidrogeológusokra számos új szakmai kihívás és megoldandó feladat vár nemcsak a Kárpát-medencében, hanem a világon mindenütt (Galloway, 2010). Vízkészleteink fentebb ismertetett, határon átnyúló jellege miatt a hazai hidrogeológusoknak még inkább együtt kell működniük a környező országok szak-

embereivel (Szócs et al., 2013). A jövőbeli feladatok egy része a Víz Keretirányelv alapján készült hazai vízgyűjtő-gazdálkodási terv (VGT2) célkitűzéseinek a megvalósításához fog kötődni. Felszín alatti vizeink esetében is a következő időszakokban el kell érni a jó mennyiségi és minőségi állapotot mind a 185 felszín alatti víztestünk esetére. Jelenleg felszín alatti víztesteink kb. 70%-a jó állapotú. Természetesen ahhoz is eredményes szakmai munkát kell kifejteni, hogy a már jó állapotban lévő víztesteink esetében ezt a kedvező helyzetet megőrizzük. Az ökológiai szemléletmód erősödése új típusú szakmai gondolkodást és tervezési megközelítést kíván hidrogeológusainktól. A nemzetközi együttműködés további színtere lehet a megfelelő szerepvállalás a felszín alatti vizek tekintetében is az EU Duna Régió Stratégiában.

Az éghajlatváltozás napjainkban egyre szélsőségesebb időjárási viszonyokat okoz, ami erőteljesen hat a természetes vízkörforgalomra (Szűcs et al., 2015a). Az 1. ábra jól demonstrálja, hogy a szélsőséges időjárási viszonyok hatására a Bükkben a maximális vízszintek egyre magasabb, míg a minimális vízszintek egyre alacsonyabb értéket érnek el. Ez a jelenség egyre nagyobb kihívás elé állítja vízgazdálkodási szempontból a helyi vízműveket. Ezek a hatások természetesen befolyásolják a felszín alatti vizek természetes utánpótlódási, mennyiségi és minőségi viszonyait is. A biztonságos ivóvízellátás miatt kiemelkedő jelentőségű, hogy a szakemberek tisztában legyenek azzal, hogy milyen változások érhetik az ivóvízbázisokat akár már a közeljövőben is. A hazai és határainkon túli vízgyűjtőkben várható éghajlatváltozás következtében csökken a felszíni lefolyás, a felszín alatti vizek utánpótlódását biztosító beszivárgás, összességében várható a hasznosítható vízkészleteink fogyatkozása. Indikátor- és monitoringrendszer fejlesztése, illetve kialakítása szükséges, amellyel nyomon követhetők az éghajlatváltozás vízjárési és vízgazdálkodási következményei. A különböző lehetséges forgatókönyvek figyelembevételével modellezni és számszerűsíteni lehet a várható hatásokat. Az aszály–belvíz–öntözővíz–vizes élőhely problémakör Magyarországon tartósan nem oldható meg a felszín alatti vízrendszerek figyelembevétele nélkül. A mezőgazdaság számára kiemelkedő fontosságú, hogy a telítetlen közeg vízforgalmi és vízraktározási viszonyait még pontosabban meg tudjuk határozni.

A hidrogeológiai modellezésnek a jövőben még erőteljesebb szerepet kell kapnia a szakmai döntések előkészítésében. A felszín alatti vízkészleteket érintő várható hatások hidrogeológiai modellezéssel ma már igen magas szakmai színvonalon, pontosan és megbízhatóan szimulálhatók. További fejlesztések várhatóak a speciális, felszín alatti vizekbe is jutó szennyező anyagok transzportfolyamatainak pontosabb leírása és szimulációja érdekében. A 2013-ban Abasáron a felszín alatt detektált triklór-etilén- és szén-tetraklorid-szennyeződés mozgásának szimulációját megbízhatóan sikerült elvégezni (Zákányi – Szűcs, 2014). A hidrogeológiai modellezésnek továbbra is igen jelentős szerepe lesz a felszín alatti környezetszennyeződések felszámolását célzó kármentesítési eljárások tervezésében és

méretezésében. A hidrogeotermikus rendszerek hatékony vizsgálatánál pedig a hőtranszport modellezése jelent nélkülözhetetlen segítséget. A hidrogeológusoknak ma már nem elég csak a felszín alatti vizekkel foglalkozniuk. A vízkörforgalom révén minden mindennel összefügg. E dinamikus rendszerben a vízkészletekkel való foglalatosság interdiszciplináris és holisztikus megközelítést követel.



**1. ábra.** A karsztvízszintek alakulása a Bükk hegység központi részén az elmúlt több mint húszéves időszakban

Számos új, nagy léptékű beruházás várható a jövőben, ahol a hidrogeológusokra speciális és fontos feladatok várnak. Hamarosan állást kell foglalni a paksi, nagy aktivitású radioaktív hulladék végleges elhelyezése ügyében. Elindult korábban a BAF- (Bodai Aleurolit Formáció) projekt, amelynek folytatása igen komoly szakmai munkát követel majd. A kis és közepes aktivitású radioaktív hulladékok számára Bábaapátiban épült hulladéktároló sok tekintetben nem nyújthat megfelelő biztonságot a nagy aktivitású hulladékok esetében. Nagy mélységben elhelyezkedő, megfelelő műszaki és földtani védelmű helyszínt kell kijelölni és engedélyeztetni a megnyugtató megoldás érdekében. Ebben a komoly kihívást jelentő szakmai feladatban a hidrogeológusoknak is kulcsszerepet kell játszaniuk. A növekvő energia- és ásványianyag-igények miatt újból megerősödni látszanak a különböző bányászati tevékenységek a Kárpát-medencében a globális trendeknek megfelelően. A szénhidrogén-kihozatalt növelő speciális eljárások üzemi alkalmazása mellett a szénhidrogén-hidrogeológia szélesebb körű bevezetése a Kárpát-medencében új sikereket hozhat a hazai és térségi olajipar



számára (Czauner – Mádl-Szőnyi, 2011). Innovatív bányászati technológiák (például szuperkritikus szén-dioxid alkalmazása ércek kinyerésére) elterjedése is új és speciális feladatok ellátását várja a jövő hidrogeológusaitól.

A felszín alatti áramlási rendszerek törvényszerűségeinek megértésében, a mélységi anyag- és hőtranszportfolyamatok leírásában mind nagyobb szerepet kap az utóbbi időben a hidrogeokémia (Varsányi et al., 2015), illetve a környezeti izotópok részletes vizsgálata. Emellett nagyon fontos a legújabb matematikai, valószínűség-elméleti és geostatistikai módszerek megismertetése is a szakemberekkel (Hatvani et al., 2014). A determinisztikus eljárások mellett a ritkán alkalmazott sztochasztikus módszereknek igen nagy a jelentősége a hidrogeológiában, hiszen a legtöbb esetben nem teljesen feltárt inhomogén és anizotrop közegekből származó mérési adatokkal dolgozunk.

Az új víziközmű-törvény egyebek mellett remélhetőleg magasabb színvonalú szakmai munkát fog előírni az üzemeltetők számára, ami a hidrogeológusok pozíciójának további erősödését eredményezheti a közműszolgáltatás ágazatán belül. A jelenlegi igen magas országos hálózati veszteség, illetve a túlságosan sok, szennyvíztisztító nélküli kistelepülés miatt ún. szennyvíz-hidrogeológiai kérdésekkel is egyre többet kell foglalkozniuk a szakembereknek.

#### A FELSZÍN ALATTI VIZEKSEL KAPCSOLATOS KUTATÁSOK HELYZETE HAZÁNKBAN

A VITUKI megszűnése után a hidrogeológiai kutatások döntően felsőoktatási intézményekben zajlanak hazánkban. Egyetemi szinten a felszín alatti vizekkel kapcsolatos legnagyobb hazai oktatási és kutatási központ a Miskolci Egyetem Környezetgazdálkodási Intézete, ahol az oktatói és kutatói létszám 15-20 fő körül ingadozik. Mesterképzési (MSc) szinten a hidrogeológia önálló szakként oktatása egyedül Miskolcon történik hazánkban. Emellett a hidrogeológiát a Műszaki Földtudományi Kar több más szakján is oktatják. A Miskolci Egyetemen a hidrogeológiai kutatások igen széles spektrumot fognak át. Az utóbbi időszakban kiemelkedő eredmények születtek a hidrodinamikai és transzportmodellezés, a karszthidrogeológia, a geotermikus energia hasznosítása, az utánpótlódási viszonyok meghatározása, a környezeti izotópok hidrogeológiai alkalmazása, a monitoring rendszerek fejlesztése területein. A széles körű ipari megbízások mellett az utóbbi 5 évben igen komoly forrást jelentettek a TÁMOP pályázatok. A KÚTFŐ TÁMOP pályázatot 2015. április végén fejezték be a Miskolci Egyetemen kiemelkedő kutatási eredményekkel (Szűcs et al., 2015b). E pályázat eredményeként jelenleg két hidrogeológiai vonatkozású nyertes Horizon 2020-as pályázatban is részt vesz a Környezetgazdálkodási Intézet, jelezve a nemzetközi beágyazottságot a kutatás területén is. E kutatási potenciált jelentősen erősíti az akadémiai finanszírozású MTA–ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport is.

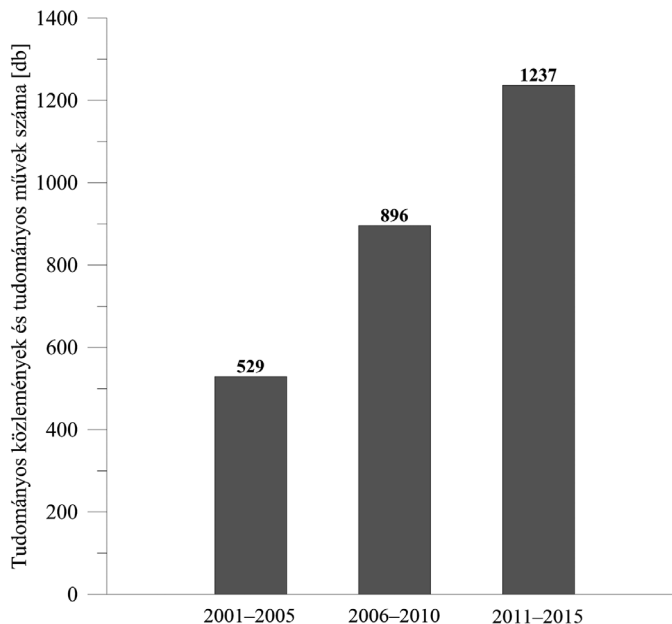
Az ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszéke jelenti a másik nagy hazai egyetemi oktatási és kutatási központot. A Hidrogeológiai és Geotermia Műhely fő kutatási területei a medencehidraulika, karszthidrogeológia, sérülékenység, geotermia hidrogeológiai vonatkozásai, olajhidrogeológia, felszíni és felszín alatti vizek kapcsolatának vizsgálata. A hidrogeológiai kutatásokban itt is jelentős szerepet játszik a modern geomatematikai módszerek széles körű alkalmazása. A dinamikus faktoranalízis hidrogeológiai alkalmazása számos kiemelkedő kutatási eredményt hozott. A kutatások finanszírozásában az utóbbi időben az OTKA mellett az ipari megbízások jelentik a fő anyagi forrást. Az International Association of Hydrogeologists (IAH) nemzetközi szervezetben belül kiemelt témakör a regionális felszín alatti vízáramlási koncepció minél szélesebb körű elterjesztése az oktatás, kutatás és a gyakorlati alkalmazás területén.

A két legnagyobb egyetemi hidrogeológiai centrum mellett további fontos kutatások folynak a felsőoktatásban a BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszékén, a Szegedi Tudományegyetem Ásványtani, Geokémiai és Közöttani Tanszékén, a Nyugat-magyarországi Egyetem Geomatematikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézetében, valamint a Debreceni Egyetem Ásvány- és Földtani Tanszékén. A BME-n elsősorban kúthidraulikai, városi hidrogeológiai (Hajnal, 2007) és vízháztartási vizsgálatok (Szilágyi, 2014) jelentik a fő kutatási irányokat. Szegeden és Debrecenben a geotermikus energia hasznosításával és a fenntartható hévíztermeléssel kapcsolatos kutatási területeken van a fő hangsúly. Szegeden továbbá évtizedek óta foglalkoznak a felszín alatti vizek eredetének, geokémiai összetételének vizsgálatával, a felszín alatti áramlási rendszerek elméletének geokémiai alátámasztásával. Sopronban a kutatások zömében vízháztartási vizsgálatokra, az utánpótlódási viszonyok meghatározására, továbbá a szélsőséges időjárási viszonyok felszín alatti vizekre gyakorolt hatásának meghatározására koncentrálnak (Gribovszki et al., 2013).

A hazai hidrogeológiai kutatások tekintetében meg kell említeni az akadémiai kutatóhálózatban folyó munkát is. Az MTA CSFK Földtani és Geokémiai Intézetben, valamint az MTA ATOMKI Környezet- és Földtudományi Osztályon számos igen magas színvonalú kutatási program zajlik a hidrogeokémia és a környezeti izotópok hidrogeológiai célú alkalmazása területén. Ez a két akadémiai intézet sok esetben közös kutatásokban vesz részt a fentebb említett egyetemi kutatóhelyekkel. Végül, de nem utolsósorban meg kell említeni a Magyar Földtani és Geofizikai Intézetet is, amelynek Vízföldtani Főosztálya szintén az egyik legjelentősebb kutatási központ a hazai felszín alatti vizek vizsgálatában, kiemelt hazai és nemzetközi kutatási témákkal. A jelenleg is folyó főbb kutatások: országos, illetve országhatáron átnyúló hidrodinamikai és transzportmodell-fejlesztések regionális és lokális szinten a fenntartható hazai és határon átnyúló ivó- és hévízgazdálkodás megalapozásához, a klímaváltozás hatásainak vizsgálata és a válaszadási stratégiák kidolgozása (NATÉR projekt), az ország geotermikus ener-

giájának felhasználására vonatkozó kérdések megválaszolása, víz-geokémiai, izotóp-hidrogeológiai és karszt-hidrogeológiai kutatások és fejlesztések.

A magyar hidrogeológiai kutatások nemzetközi láthatósága erőteljesen nőtt az elmúlt 10-15 évben a megnövekedett publikációs aktivitásnak köszönhetően, amelyben egyre nagyobb szerepet kapnak a minőségi nemzetközi publikációk. A Magyar Tudományos Művek Tárában (MTMT-ben) található információk alapján készült el a 2. ábra. A országos áttekintést adó vizsgálatba a publikációs szempontból legjelentősebb szerepet játszó 6 felsőoktatási intézmény került be (ME Környezetgazdálkodási Intézet – 12 fő vizsgált kutató, ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék – 6 fő, BME Vízépítési és Vízgazdálkodási Tanszék – 3 fő, az SZTE Ásványtani, Geokémiai és Kőzettani Tanszék – 4 fő, DE Ásvány- és Földtani Tanszék – 3 fő és az NyME Geomatematikai, Erdőfeltárási és Vízgazdálkodási Intézet – 3 fő). A vizsgálatban a fentebb említett akadémiai kutatóhelyek és kutatócsoport, valamint az MFGI publikációs teljesítményét nem értékelték. A 2. ábrán szereplő információ egyértelműen jelzi, hogy jelentős és nemzetközi hatású publikációs tevékenység folyik a hazai hidrogeológiával foglalkozó egyetemi kutatóhelyeken. A vizsgált adatokból egyértelműen kiderül, hogy a publikációs tevékenység és ezáltal a sok esetben nemzetközi együttműködésben megvalósuló hazai hidrogeológiai kutatások nemzetközi láthatósága és ismertsége egyre növekszik.



**2. ábra.** Az elmúlt 15 éves időszak MTMT-ben rögzített tudományos közleményeinek száma a vizsgált hazai egyetemi intézményekben 5 éves bontásban

## ÖSSZEFOGLALÁS

Az ivóvízellátásban jelentős szerepet betöltő, felszín alatti vízkészleteink a jövőben is védendő, kiemelkedő természeti értéket képviselnek. Ásvány-, gyógyvíz- és hévízkészleteink is számottevőek, amelyek szélesebb körű hasznosítása nemzetgazdasági érdek. Tisztában kell lenni azonban azzal, hogy felszín alatti vizeink nem kimeríthetetlenek. A jövőben még fontosabbá válik, hogy a hidrogeológusok az eddigieknél megbízhatóbban adják meg lokális vagy regionális léptékben a felszín alatti hasznosítható vízkészleteket. Az energetikai célú hévizek növekvő mértékű visszasajtolásával részben fenntarthatók az ásvány- és gyógyvizeket is magukban foglaló mélyebb rétegvizes rendszerek hidraulikai és vízminőségi viszonyai. Bár a prognosztizált éghajlatváltozási forgatókönyvek alapján a felszín alatti hasznosítható vízkészletek némi csökkenése várható, a biztonságos és fenntartható ivóvízellátás generációkon keresztül biztosítható hazánkban regionális vízellátó rendszerek üzemeltetésével, valamint hatékony nemzeti vízgazdálkodási stratégia alkalmazásával.

Bár a földi vízkörforgalom révén a felszíni és felszín alatti vízkészletek nagyon szoros kapcsolatban állnak egymással, igen különböző jellegű szakmai felkészültségre van szükség a felszíni és a felszín alatti problémák vizsgálatára és megválaszolására. Ma már politikai, szakmai és tudományos körökben is mindenki elismeri, hogy Magyarország felszín alatti vízkészletei stratégiai jelentőségűek. Így biztosítható, hogy a hidrogeológusok aktívan és érdemben tudjanak részt venni hazánk vízgazdálkodási problémáinak (Somlyódy, 2011) megoldásában, illetve a felszín alatti vízkészleteket érintő stratégiai kérdések részletes kidolgozásában. Bizakodásra ad okot, hogy a Nemzeti Vízstratégiában, a Kvassay Jenő Tervben a hazai felszín alatti vízkészletek jelentőségüknek és súlyuknak megfelelően szerepelnek. A hidrogeológus szakma interdiszciplináris jellege miatt fontos, hogy a felszín alatti vizekkel kapcsolatos képzési programjaink figyelembe vegyék a nemzetközi trendeket és a Kárpát-medence speciális sajátosságait.

Hazánkban a felszín alatti vizekkel kapcsolatos kutatások kiterjedtek, széles körűek és nemzetközi színvonalat képviselnek. A felszín alatti vizekkel kapcsolatos jövőbeli kihívások egyértelműen igénylik az új kutatási eredményeket és az innovatív megoldásokat a gyakorlati megoldások kivitelezésében. A kutatásokat folytató, többségében egyetemi intézmények között már eddig is létrejöttek jelentős, elsősorban önszerveződésen alapuló együttműködések. Érdemi továbbfejlesztési lehetőséget és hatékonyságnövelést is jelenthetne a kutatásokban, ha a hazai operatív vízgazdálkodás feladatainak összehangolt megoldásában nagyobb és érdemi szerepet kaphatnának a hazai hidrogeológiai kutatásokat folytató kutatóhelyek. E cél megvalósulásában jelentős szerepet játszhat a Magyar Tudományos Akadémia által elfogadott és támogatott előterjesztés a Nemzeti Víz Tudományi Kutatási Program létrehozásáról.

## IRODALOM

- Bobok Elemér – Tóth Anikó (2010): A geotermikus energia helyzete és perspektívái. *Magyar Tudomány*. 171, 8, 926–936. <http://www.matud.iif.hu/2010/08/04.htm>
- Buday Tamás – Szűcs Péter – Kozák Miklós et al. (2015): Sustainability Aspects of Thermal Water Production in the Region of Hajdúszoboszló-Debrecen, Hungary. *Environmental Earth Sciences*. 74, 7513–7521. DOI: 10.1007/s12665-014-3983-1
- Czauner Brigitta – Mádl-Szőnyi Judit (2011): The Function of Faults in Hydraulic Hydrocarbon Entrapment: Theoretical Considerations and a Field Study from the Trans-Tisza Region, Hungary. *AAPG Bulletin*. 95, 795–811. DOI: 10.1306/11051010031
- Czauner Brigitta – Mádl-Szőnyi Judit (2013): Regional Hydraulic Behaviour of Structural Zones and Sedimentological Heterogeneities in an Overpressured Sedimentary Basin. *Marine and Petroleum Geology*. 48, 260–274. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2013.08.016
- Eröss Anita – Mádl-Szőnyi Judit – Surbeck, Heinz et al. (2012): Radionuclides as Natural Tracers for the Characterization of Fluids in Regional Discharge Areas, Buda Thermal Karst, Hungary. *Journal of Hydrogeology*. 426–427, 124–137. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2012.01.031 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169412000741>
- Galloway, Devin L. (2010): The Complex Future of Hydrogeology. *Hydrogeology Journal*. 18, 807–810. DOI: 10.1007/s10040-010-0585-1 [https://www.researchgate.net/publication/225443668\\_The\\_complex\\_future\\_of\\_Hydrogeology](https://www.researchgate.net/publication/225443668_The_complex_future_of_Hydrogeology)
- Gribovszki Zoltán – Kalicz Péter – Szilágyi József (2013): Does the Accuracy of Fine-scale Water Level Measurements by Vented Pressure Transducers Permit for Diurnal Evapotranspiration Estimation. *Journal of Hydrology*. 488, 166–169. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2013.03.001 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169413001856?via%3Dihub>
- Hajnal Géza (2007): *Városi hidrogeológia*. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Hatvani István Gábor – Magyar Norbert – Zessner, Matthias et al. (2014): The Water Framework Directive: Can More Information Be Extracted from Groundwater Data? A Case Study of Seewinkel, Burgenland, Eastern Austria. *Hydrogeology Journal*. 22, 4, 779–794. DOI: 10.1007/s10040-013-1093-x
- Juhász József (2002): *Hidrogeológia*. Budapest: Akadémiai Kiadó
- Mádl-Szőnyi Judit – Pulay Eszter – Tóth Ádám – Bodor Petra (2015): Regional Underpressure: A Factor of Uncertainty in the Geothermal Exploration of Deep Carbonates, Gödöllő Region, Hungary. *Environmental Earth Sciences*. 74, 12, 7523–7538. DOI: 10.1007/s12665-015-4608-z [https://www.researchgate.net/publication/279206572\\_Regional\\_underpressure\\_a\\_factor\\_of\\_uncertainty\\_in\\_the\\_geothermal\\_exploration\\_of\\_deep\\_carbonates\\_Godollo\\_Region\\_Hungary](https://www.researchgate.net/publication/279206572_Regional_underpressure_a_factor_of_uncertainty_in_the_geothermal_exploration_of_deep_carbonates_Godollo_Region_Hungary)
- Somlyódy László (szerk.) (2011): *Köztisztületi Stratégiai Programok. Magyarország vízgazdálkodása: helyzetkép és stratégiai feladatok*. Budapest: MTA [http://old.mta.hu/data/Strategiai\\_konyvek/viz/viz\\_net.pdf](http://old.mta.hu/data/Strategiai_konyvek/viz/viz_net.pdf)
- Szanyi János – Kovács Balázs (2010): Utilization of Geothermal Systems in South-East Hungary. *Geothermics*. 39, 357–364. DOI: 10.1016/j.geothermics.2010.09.004 [https://www.researchgate.net/publication/222010593\\_Utilization\\_of\\_geothermal\\_systems\\_in\\_South-East\\_Hungary](https://www.researchgate.net/publication/222010593_Utilization_of_geothermal_systems_in_South-East_Hungary)
- Székely Ferenc (2010): Hévízeink és hasznosításuk. *Magyar Tudomány*. 171, 12, 1473–1485. <http://www.matud.iif.hu/2010/12/08.htm>
- Székely Ferenc – Szűcs Péter – Zákányi Balázs et al. (2015): Comparative Analysis of Pumping Tests Conducted in Layered Rhyolitic Volcanic Formations. *Journal of Hydrology*. 520, 180–185. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.11.038 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169414009585?via%3Dihub>

- Szilágyi József (2014): Temperature Corrections in the Priestley-Taylor Equation of Evaporation. *Journal of Hydrology*. 519, 455–464. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.07.040 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169414005575?via%3Dihub>
- Szöcs Teodora – Rman, Nina – Süveges Miklós et al. (2013): The Application of Isotope and Chemical Analyses in Managing Transboundary Groundwater Resources. *Applied Geochemistry*. 32, 95–107. DOI: 10.1016/j.apgeochem.2012.10.006 [http://www.academia.edu/30965690/The\\_application\\_of\\_isotope\\_and\\_chemical\\_analyses\\_in\\_managing\\_transboundary\\_groundwater\\_resources](http://www.academia.edu/30965690/The_application_of_isotope_and_chemical_analyses_in_managing_transboundary_groundwater_resources)
- Szűcs Péter – Virág Margit – Zákányi Balázs et al. (2013): Investigation and Water Management Aspects of a Hungarian-Ukrainian Transboundary Aquifer. *Water Resources*. 40, 4, 462–468. DOI: 10.1134/S0097807813040131
- Szűcs Péter – Kompár László – Palcsu László – Deák József (2015a): Estimation of Groundwater Replenishment Change at a Hungarian Recharge Area. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 10, 4, 227–246. [http://193.6.1.94:9080/JaDoX\\_Portlets/displayContent?docId=22607&secId=17086&cast=pdf](http://193.6.1.94:9080/JaDoX_Portlets/displayContent?docId=22607&secId=17086&cast=pdf)
- Szűcs Péter – Fejes Zoltán – Zákányi Balázs et al. (2015b): Results of the WELLaHEAD Project Connected to Water and Mining. Geothermal Potential of the Tokaj-Mountains. Pilot Test of Passive Acid Mine Drainage Water Management. *FOG – Freiberg Online Geology*. 40, 170–177. [http://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/institut-fuer-geologie-718/pdf/fog\\_volume\\_40.pdf](http://tu-freiberg.de/sites/default/files/media/institut-fuer-geologie-718/pdf/fog_volume_40.pdf)
- Varsányi Irén – Ó. Kovács Lajos – Bálint András (2015): Hydraulic Conclusions from Chemical Considerations: Groundwater in Sedimentary Environments in the Central Part of the Pannonian Basin, Hungary. *Hydrogeology Journal*. 23, 423–435. DOI: 10.1007/s10040-014-1222-1 [https://www.researchgate.net/publication/276099363\\_Hydraulic\\_conclusions\\_from\\_chemical\\_considerations\\_groundwater\\_in\\_sedimentary\\_environments\\_in\\_the\\_central\\_part\\_of\\_the\\_Pannonian\\_Basin\\_Hungary](https://www.researchgate.net/publication/276099363_Hydraulic_conclusions_from_chemical_considerations_groundwater_in_sedimentary_environments_in_the_central_part_of_the_Pannonian_Basin_Hungary)
- Zákányi Balázs – Szűcs Péter (2014): Víznél sűrűbb, nem vizes fázisú szennyezőanyagok transzportfolyamatainak szimulációja felszín alatti közegben. *Földtani Közöny*. 144, 1, 63–70. [http://midra.uni-miskolc.hu/JaDoX\\_Portlets/displayContent?docId=19637&secId=13538](http://midra.uni-miskolc.hu/JaDoX_Portlets/displayContent?docId=19637&secId=13538)