

VÁLASZ

Szőcs Teodóra (Ph.D.) opponensi véleményére

**„Felszín alatti vízáramlások mintázata fedetlen és kapcsolódó fedett karbonátos víztartó rendszerekben a Budai-termálkarszt tágabb környezetének példáján”
c. MTA doktori (D.Sc.) értekezéséről**

Ez úton köszönöm Szőcs Teodórának akadémiai doktori értekezésem alapos bírálatát, hasznos észrevételeit és előre mutató kérdéseit, valamint a dolgozat pozitív értékelését. Egyetértek bírálómmal abban, hogy a Budai-termálkarszthoz „hasznos példa ...a Hévízi-tó környezete is, ahol fontos e szemlélet alkalmazása a vízkészlet hasznosítások engedélyezésekor”. Opponensem húsz észrevételt, illetve kérdést fogalmazott meg a munkámmal kapcsolatban. Ezekre, a kérdés feltüntetése után, az alábbiakban válaszolok¹.

- 1) A jelölt mindenhol pontosan jelöli, hogy hol hivatkozik korábbi saját, vagy kutatótársaival, diákjaival közösen publikált eredményekre, illetve melyek az MTA előírásának eleget tevő új önálló tudományos eredményei. Az értekezésben viszont nagyon gyakran használ többes számot (pl. megállapítottuk, alkottunk, használtuk, kutatásaink), amely nem mindig teszi lehetővé annak eldöntését, hogy egy-egy korábbi eredmény milyen mértékben a saját, illetve közreműködői eredménye.**

Az Eötvös Loránd Tudományegyetem (ELTE) Általános és Alkalmazott Földtani Tanszékén az elmúlt húsz évben Tóth József professzor támogatásával egy kutatócsoportot sikerült létrehoznom. E csoporton belül kezdtem a Budai-termálkarszt témájával foglalkozni 1999-től. Sohasem egyedül kutattam a területet, hanem tanítványaimmal (TDK, BSc, MSc, PhD hallgatók) és kollégáimmal. Tehát egyetlen eredményre sem mondhatom, hogy az csak és kizárólag a saját eredményem, hiszen azok egy szellemi műhely keretében, egymás inspirálása és közös munka révén valósultak meg. A dolgozat háttérét jelentő kutatások témavezetőjeként minden munkafázisban érdemi munkával, aktívan vettem részt. MTA dolgozatom a beadott formában saját munka, magam írtam. Hasonló szintetizáló és egyúttal új eredményeket is tartalmazó anyag korábban nem került publikálására. Dolgozatomat ezért teljes egészében saját szellemi termékemnek tekintem, ahogy erre utalok is munkámban. A többes számot a munkatársaim által végzett elvülhetetlen hozzájárulásnak szóló tiszteletem jeléül használtam, hiszen nélkülük e dolgozat nem jöhetett volna létre.

- 2) Több, vastag karbonátos víztartókra kidolgozott koncepcionális modellt ismertet. Addig, amíg az alfejezet címében a „koncepcionális” megnevezést használja, ezen alfejezetben felváltva alkalmazza „koncepcionális” és a „konceptió” modell kifejezést, az értekezés későbbi fejezeteiben, valamint a tézisekben már, konceptió” modellként nevesítve. Javaslom a koncepcionális modell megnevezés alkalmazását.**

¹ Válaszomban munkám szó szerinti hivatkozásakor idézőjelet használok az oldalszám megjelöléssel, valamint a disszertációra utaló D jellel.

Köszönettel elfogadom bírálóm javaslatát, hogy csak az egyik formát használjam és inkább a koncepcionális szót részesítsem előnyben². Meg kell jegyezzem azonban, hogy a „konceptió”³ kifejezés is tartalmazza azt a jelentést, amit a koncepcionális (1-3).

- 3) **A Jelölt azt írja, (2) Azon modellek (pl. 2.2. ábra), melyek lokális, azaz víztartó vízgyűjtő skálán írják le a folyamatokat, léptékükből adódóan nem teszik lehetővé a vízáramlási rendszerek értelmezését."** Véleményem szerint a lokális és víztartó/vízgyűjtő skála — bizonyos esetektől eltekintve — nem tekinthető feltétlenül azonosnak. A (felszíni) vízgyűjtők gyakran több lokális felszín alatti vízáramlási rendszerrel jellemezhetőek. Fontos megjegyezni, hogy például a hazai vízgyűjtő-gazdálkodási tervezés területi alapját 4 db részvízgyűjtő (Duna, Tisza, Dráva, Balaton) és 42 db tervezési alegység (a részvízgyűjtőkön belüli kisebb vízgyűjtő) képezi.

Erről a kérdésről hosszan lehetne vitatkozni, ami egy érdekes tudományos diskurzushoz vezetne. Mindenképpen előre mutatónak tartom bírálóm észrevételét. Két ponton szólnék hozzá a megjegyzéshez: i) E kifejezések használatának szükséges feltétele azok korrekt definiálása. *Ezt a témát érinti Szűcs Péter opponensemnek adott részletes válasza (ld 2. kérdését).* Ott már csak a víztartó és medencelépték kifejezést használtam, és az utóbbit a dolgozatban szereplő definícióhoz képest tovább pontosítottam. ii) Dolgozatom szempontjából a hangsúly a medencelépték definiálásán és nem a lokális és víztartó/vízgyűjtő skálán van.

- 4) **A Jelölt továbbá azt írja „(3) A vázolt modellek nem alapulnak szisztematikus medencehidraulikai adatfeldolgozáson és az ahhoz kapcsolódó numerikus szimuláción, azaz nem bizonyítottak."** Véleményem szerint numerikus szimuláció nélkül is lehet egy koncepcionális modell jó, illetve numerikus modellezés sem feltétlenül garantálja egy koncepció jóságát. Lásd azon publikációkban foglaltakat is, amelyekre maga a Jelölt is hivatkozik értekezésében.

Egyetértek bírálóm megjegyzésével azzal a kiegészítéssel, hogy a koncepcionális modell jóságát is szükséges ellenőrizni. Erre esetünkben a mért adatok medenceléptékű feldolgozása és a numerikus szimuláció egyaránt alkalmas, de ez a dolgozatban hivatkozott modellek esetében célzottan nem történt meg.

- 5) **Ugyan a Jelölt megemlíti, hogy vitatható az anionok áramlási pálya mentén történő genetikai kapcsolatot sugalló szemléltetése, de „pillanatfelvételi” elfogadja a 2.2.6 fejezetben a 2.4 ábra tartalmát („Epigén és hipogén karszt a medencebeli vízáramlások tükrében, Tóth (1999) és Klimchouk (2007) nyomán").** Fontos egyértelműen felhívni a figyelmet arra, hogy az ábra téves az anionokra vonatkozóan. Egy felszín alatti vízáramlási pálya mentén nem válik a pálya elején dominánsan hidrogén-karbonátos vízből szulfátos, végül kloridos, hacsak nincs közben olyan földtani közeg, ami ezt a forrást lehetővé teszi, illetve nincs mélységi, vagy más

² Jelentését tekintve a „koncepcionális” [felfogásbeli](#), illetve [felfogásbeli, elképzelési](#) értelmezéssel bíró latin eredetű szó. A „konceptió” a [konceptió](#) főnév, mely a föntiekhez hasonló jelentéssel is bír, melléknév képzős változata.

³ 1. Elgondolás, terv. 2. Valamely szemlélettel kapcsolatos. felfogások, nézetek összessége, rendszere. 3. Alapeszmének, fő gondolatnak valamely keretbe való beállítás. 4. Valamely mű(alkotás) szerkezete. 5. A mondanivaló, közöltnivaló megfogalmazása, ill. ennek módja. 6. Fogamzás. ([A magyar nyelv értelmező szótára](#)).

vízösszetételű közegből feláramlás/átáramlás. Ugyanitt jegyzem meg, hogy a Jelölt 3. fejezetben publikált 3.5 ábrája ezt a tényt helyesen veszi figyelembe.

A 2.2.6. alfejezetben a medenceléptékű felszínalatti vízáramlások hatását értékelem a karbonátos kőzetvázra és a geotermikus viszonyokra, s itt mutatom be az említett 2.4. ábrát (p 18. D) és azt irodalmi adatokra támaszkodva értékelem. Szándékosan nem tárgyaltam a kémiai komponensek medencebeli fejlődését és az ábra helytállóságát, ugyanis csak az epigén és hipogén folyamatok elkülönítésére összpontosítottam. Teljességgel egyetértek bírálóm megjegyzésével, ezt a kérdést korábban már többször tisztáztuk. Egyebek mellett ezért is utaltam egy mondat erejéig arra, hogy: „A kémiai megfontolásokat és az áramlási képet hidrogeológiai vizsgálatokkal nem bizonyították” (p 18. D).

- 6) A 3.3 fejezetben a vízáramlási rendszerek által előidézett jelenségeket és folyamatokat tárgyalva, a forrásokat, illetve azok paramétereit, a gyakorlatban is alkalmazottaknak megfelelően a vízáramlások által előidézett megcsapolási jelenségeként vizsgálja. Nem világos, hogy a Jelölt a 23. oldalon miért írja. Azt várhatjuk, hogy azok a források, melyek lokális rendszert csapolnak meg, valószínűleg jóval nagyobb változékonyságot mutatnak, mint a magasabb rendű rendszerekhez kapcsolódó források. Ezzel szemben a megfigyelések szerint a termálforrások hidrológiai viselkedése nagyfokú stabilitást mutat a regionális áramlásokhoz köthető köztér-fogatban tározott jelentős vízmennyiség miatt (Alföldi és mtsi. 1968; Klimchouk 2007, Tóth 2009a, Mádl-Szőnyi és Tóth Á. 2015).” Miért szükséges a két állítást az „ezzel szemben” kifejezéssel összekötni?**

Opponensem ezen felvetése bár látszólag apróságnak tűnik, mégis lényeges pontra tapint rá. Szűcs Péter professzor úr 3. kérdésére adott válaszában vizsgálatainkra alapozva bizonyítom a BTK termál és langyos források időbeli stabilitását azzal szemben, amit a karsztforrások hidrográfjain várunk (ld. 1.b. ábra Szűcs Péter bírálati válaszában). A mély vastag és regionális karsztrendszerekben is lehetnek azonban olyan karsztforrások, melyek hozamuk és paramétereik tekintetében változékonnyak (Mádl-Szőnyi és Tóth Á. 2015). Ezeket lokális rendszerként⁴ építettem be a medenceléptékű koncepcionális modellbe (3.5. ábra, p 35. D). A vízáramlási rendszerek hierarchikus jellegéből következik, hogy medenceléptékben a különböző skálájú rendszerek szintjén bekövetkezhetnek eltérő reakciók⁵.

- 7) A Jelölt nem csak meteorikus eredetű, „de NaCl-os fluidum”-ról is beszámol a fedett karbonátokban. Végzett-e stabilizotóp vizsgálatot, vagy felhasznált-e ilyen adatokat annak alátámasztására, hogy ezen NaCl-os vizek nem meteorikus eredetűek?**

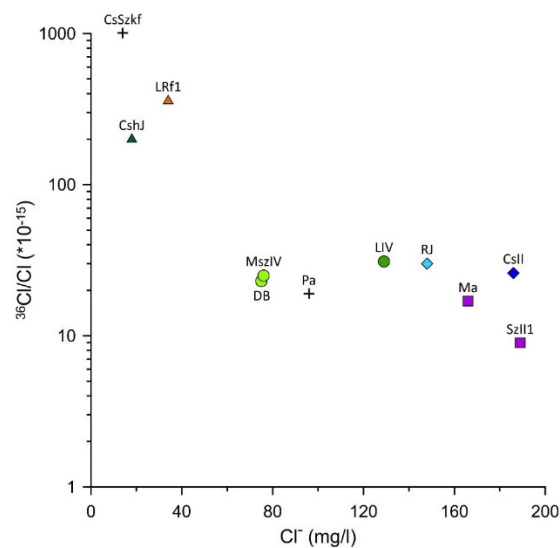
Kutatásaink során korlátozott mértékben végeztünk stabilizotóp vizsgálatokat és azok a kén/szulfát eredetének tisztázására irányultak⁶. Saját mérések hiányában dolgoztam

⁴ „A sekély és lokális kiterjedésű karsztok modellbe illesztése arra is utal, hogy az ott alkalmazott és a medencehidraulikai megközelítés eltérnek ugyan, de valóságos hidrogeológiai környezetek feldolgozása során összekapcsolódhatnak. A sekély karsztok lokális léptékű vizsgálatával jelen munkámban nem foglalkozom.” (34.p D).

⁵ A kiegyenlítettség az intermedier és a regionális áramlások szintjén a nagy tározott vízkészlet és a hosszú tartózkodási idő következménye. Ugyanakkor a helyi áramlási rendszereknél már lehetséges, hogy a sekély karsztokra jellemző reakció érvényesül a forrásokban, ami egyúttal azt is jelenti, hogy lokális léptékben ezekre már az ún. „klasszikus” karsztrendszerekre használt megközelítések alkalmazhatók (ld. Szűcs Péter opponens 2. kérdésre adott választ és a 2. táblázatot).

⁶ Ásványokon és vízmintákon mért $\delta^{34}\text{S}$ értékek voltak (Mádl-Szőnyi és mtsi. 2018).

diszkussziós fejezetében gyűjtöttem össze a szakirodalomból rendelkezésre álló és a Budai-termálkarsztra vonatkozó izotóphidrológiai adatokat. Ezeket összevetettem saját eredményeimmel⁷. A kérdéses témában a következőket állapítottam meg: „Balderer és mtsi. (2014) ^{36}Cl adatokat értelmezett, melyek alkalmasak lehetnek a rendszer hosszú tartózkodási idejű felszínalatti medencekomponensének kimutatására (1. ábra. 7.4.c ábra D).” „Megállapítható, hogy a $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}^-$ arány csökken a Cl^- tartalom növekedésével és a hőmérséklettel. A pesti mély kutak elkülönülése (SG5) megfigyelhető, az alááramló regionális termálvíz komponens jellemezhető a legkisebb $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}^-$ értékkel.” „Balderer és mtsi. (2014) felvetik, hogy a pesti kutakra jellemző alacsony $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}^-$ arány az egyensúlyi állapot elérését és nagyon hosszú (millió éves) tartózkodási időt jelezhet. Ezt a ^{14}C vízkorok tükrében nem tartják reálisnak, ezért felvetik egy „idős” felszínalatti vízkomponens hozzákeveredésének lehetőségét. Hasonló folyamatra utalnak Fórizs és mtsi. (2007), akik a pleisztocén végén beszivárgott termálvíz komponens magas Na^+ tartalmát azzal magyarázzák, hogy a meleg komponens „nagy mélységbe jutva, kis mennyiségű fosszilis sós vízzel érintkezik, miközben 80–100 °C-ra felmelegszik”⁸ (Tóth 2007 in Fórizs és mtsi. 2007). A „medencekomponens” megfeleltethető a feltételezett „fosszilis víznek”, amely azonban nem nagy mélységből, hanem a fedő üledékekből kerül a „hidrotermális” komponenshez, amit a medencehidraulikai feldolgozás bizonyított (p. 83–84. D). A jövőben a medencekomponens e célból történő célzott izotóphidrológiai elemzése kívánatos.



1. ábra Kutak és források $^{36}\text{Cl}/\text{Cl}^-$ vs. Cl^- tartalma Balderer és mtsi. (2014) adatai alapján a CCDA-csoportok (Kovács és Erőss 2017) feltüntetésével (7.4.c ábra D)

8) A Jelölt rendszeresen, sótartalom" kifejezést használ az értekezésében, ami helytelen, hisz a felszín alatti vízben/fluidumban oldott fázist vizsgál, amelyre a helyes megnevezés az összes oldottanyag-tartalom. Javasom utóbbi megnevezés alkalmazását a későbbiek során.

⁷ ld. 7.2. Izotóphidrológiai adatok a medencehidraulikai eredmények tükrében (p 82. D).

⁸ A $\delta^{18}\text{O}$ és a $(\text{Na}^+ + \text{K}^+)/(\text{Na}^+ + \text{K}^+ + \text{Mg}^{2+} + \text{Ca}^{2+})$ meq% értékek összehasonlításával két keveredési vonalat azonosítottak, melyből le tudták vonni ezt a következtetést (Fórizs és mtsi. 2007).

Köszönöm bírálóm észrevételét, melyet teljességgel elfogadok⁹. A sőtartalom kifejezés használata valóban nem szakszerű.

- 9) A kutakból rendelkezésre álló adatok értékelése alapján történő medencehidraulikai megközelítés keretében a kőzetváz hidrosztratigráfiai jellemzése, mint egy szükséges vizsgálati elem kerül megnevezésre. A hidrosztratigráfiát Maxey (1964) publikációja alapján, amint a Jelölt is alkalmazta, jellemzően a kőzetváz litológiai jellemzői alapján definiálták. Meg kell jegyezni, hogy ezen megközelítés a litosztratigráfia , fénykorában" született és nem épült bele a medencebeli vízáramlási rendszerekben történő megközelítés. Ugyanakkor már Maxey is úgy jellemez egy hidrosztratigráfiai egységet, mint "bodies of rock with considerable lateral extent that compose a geologic framework for a reasonably distinct hydrologic system..... Movement, storage, and occurrence of water, as well as the mode of locating, drilling, and completing wells (well logs and water level and pumpage records from the wells are virtually our only source of information except in the surficial deposits) are also elements in the definition of the units."**

Köszönöm bírálóm értékes kiegészítését és Maxey (1964) definíciójának idézését. Valóban az eredeti fogalomba nem épülhetett be a medencebeli vízáramlási rendszerek megközelítése. Ez a hiányzó lépés néhány évvel Maxey publikációját követően megtörtént, amikor megjelent, "A conceptual model of the groundwater regime and the hydrogeologic environment" című publikáció (Tóth 1970). Ennek jelentőségét kiemelem dolgozatomban bevezetőjében (p 6. D): „Ugyanakkor az elméleti megoldás valós hidrogeológiai helyzetekre történő alkalmazására Tóth maga is utalt korai munkáiban a felszínalatti vízreztim¹⁰ és a hidrogeológiai környezet¹¹ ok-okozati összefüggésrendszere bevezetésével¹² (Tóth 1970). E koncepcionális keretrendszer értelmében a hidrosztratigráfia a hidrogeológiai környezet eleme és földtani jellemző. A hidrogeológiai környezet ok-okozati kapcsolatban áll a kialakuló felszínalatti vízreztimmal. Ezen értelmezés szerint a kőzetvázban tárolt és mozgó víz a felszínalatti vízreztim része, fejlődését a hidrogeológiai környezet elemei, köztük a hidrosztratigráfia befolyásolják.

- 10) A felszín alatti vízáramlási rendszerek és a medencehidraulikai megközelítés alapján a jelölt által alkalmazott és a 4.2 ábrán bemutatott hidrosztratigráfiai egységek nagyon nagy egységeket ölelnek át. A pleisztocén és a késő miocén képződmények úgy fáciestani, mint porozitás és vízvezető képesség alapján is különböznek, célszerű lenne a jövőben különálló hidrosztratigráfiai egységként kezelve is végigvinni az értelmezést.**

Bírálómnak igaza van az egységek átfogó jellegét illetően, ezért neveztem azokat hidrosztratigráfiai csoportnak. Ezek kisebb egységek jellemzésével, majd összevonásával születtek¹³. A pleisztocén és a késő miocén képződmények valóban eltérnek a porozitás és a vízvezetőképességük alapján. Sőt, litosztratigráfiai szempontból ezen csoportokon belül

⁹ 27 alkalommal használtam a sőtartalmat, 13 alkalommal az összes oldottanyag tartalmat dolgozatomban.

¹⁰ Egy adott földtani régióhoz tartozó felszínalatti vizek térben összefüggő tartománya a vizekhez kapcsolódó jelenséggel együtt. Jellemzői: porozitás, hidraulikus gradiens, fluxus, kémiai jellemzők, hőmérséklet, rezsimparaméterek időbeli megváltozása (Tóth 1970).

¹¹ Domborzat, klíma, földtani felépítés.

¹² Ennek értelmében az elméleti (egyszerű medence és kis vízgyűjtő medence) áramkép (felszínalatti vízreztim) végtelen számú módosulása következhet be a természetben, a hidrogeológiai környezet (domborzat, klíma és földtani felépítés) változékonysága következtében.

¹³ Ezt a folyamatot részletesen leírtam Szűcs Péter bírálómnak a témában tett némileg hasonló észrevételére.

további elkülönítéseket tettünk dolgozatomban előzményét jelentő kutatásaink során (Mádlné Szőnyi és mtsi. 2013). Közel száz egyedi hidrosztratigráfiai egységet definiáltunk és jellemeztünk hidraulikai paraméterek szempontjából. Ez azt jelenti, hogy feldolgozásunk alapján a medence léptéktől egy kisebb terület részletes értékeléséig ezek az egységek használhatók, a lépték és a feltártság függvényében csoportosíthatók. Az öt hidrosztratigráfiai csoport kialakítása is így történt, ami megfelelt a medencehidraulikai feldolgozás léptékének és igényeinek. A dolgozatomban bemutatott kétdimenziós numerikus szimuláció során már jóval részletesebb tagolást alkalmaztunk (p. 70. 6.2. a,b táblázat) (1.a,b. táblázat). Ugyanakkor az egyedi hidrosztratigráfiai egységekre végig vitt értelmezést medence léptékben nem tartom megfelelőnek¹⁴ és kivitelezhetőnek¹⁵. A dolgozatban alkalmazott hidrosztratigráfiai csoportok összhangban voltak a medenciléptékkel, azt alátámasztották, az anomáliákat magyarázták. Ellenkező esetben más felbontást kellett volna alkalmazni.

	Hidrosztratigráfiai Egység (HE)	K_{xx} [m/s]	K_{xx}/K_{zz} [-]	ρ_m [kg/m ³]	n [%]	λ_m [W/(mK)]	c_m [J/(kgK)]
	M ₃ nem diff. sziliciklasztos	10^{-6}	-	2200	15	1,8	840
	M ₁₋₂ , M sziliciklasztos	$5 \cdot 10^{-7}$	-	2200	10	1,8	840
	M karbonátos, sziliciklasztos (Tinnyei, Bádeni)	10^{-6}	-	2600	10	2	900
	Ol sziliciklasztos (Mányi)	10^{-7}	-	2500	10	1,8	900
	Ol sziliciklasztos, agyagos (Törökbálinti, Szécsényi Slír)	$5 \cdot 10^{-8}$	-	2500	10	1,8	900
	Ol agyagos (Kiscelli, Tardi)	10^{-8}	-	2000	5	1,5	2100
	E-Ol kevert (sziliciklasztos, karbonátos)	10^{-6}	-	2100	15	2	840
	T ₂₋₃ karbonátos (Dachsteini, Földolimit, Vadaskerti)	10^{-5}	5	2700	15	2,5	850
	T ₃ tűzköves karbonátos (Mátyáshegyi)	10^{-5}	10	2700	15	2,5	850
	T ₂₋₃ Budaörsi Dolomit	10^{-5}	5	2750	10	2,2	800
	T ₃ -Pz (Dinnyési Dolomit)	10^{-7}	5	2750	10	2,2	800

1. a. táblázat A modellezés során használt hidrosztratigráfiai egységek és jellemző fizikai paramétereik (Szijártó és mtsi. 2019b) (Készült a T-JAM projekt Rman és Tóth (2011); Eppelbaum és mtsi. (2014); Götz és mtsi. 2014; Mádl-Szőnyi és Tóth Á. (2015); Havril és mtsi. (2016); Mádlné Szőnyi és mtsi. (2018); Tóth Á. (2018) adatai felhasználásával) (6.2.a táblázat p. 70. D)

K [m/s]	n [%]	d_f [m]	ρ_m [kg/m ³]	λ_m [W/(mK)]	c_m [J/(kgK)]
$5 \cdot 10^{-6}$	10	5	2600	2	840

1.b táblázat A vezető vetők hidraulikai és hőtanai paramétereik. A vető horizontális kiterjedését d_f jelöli (Szijártó és mtsi. 2019) (6.2.a táblázat p. 70. D)

11) A $z = (-750 \text{ mBf})$ szeletközépre szerkesztett Cl- tartalom térkép (4.16. ábra) alapján az látszik kirajzolódni (megjegyzem nehéz a Cl térképek áttekintése a túl sűrű információmegjelenítés miatt), hogy a legnagyobb koncentrációk a HCS4 hidrosztratigráfiai egységben tapasztalhatóak. Ezen egység nem került ábrázolásra a 4.15. hidrosztratigráfiai ábrán a nagy klorid-koncentrációk zónájában A legnagyobb TDS értékek is ezen zónában figyelhetőek meg (4.13. ábra).

¹⁴ Medenciléptékben nem szükséges.

¹⁵ Az egyedi egységek elterjedése nem ismert ilyen részletességgel.

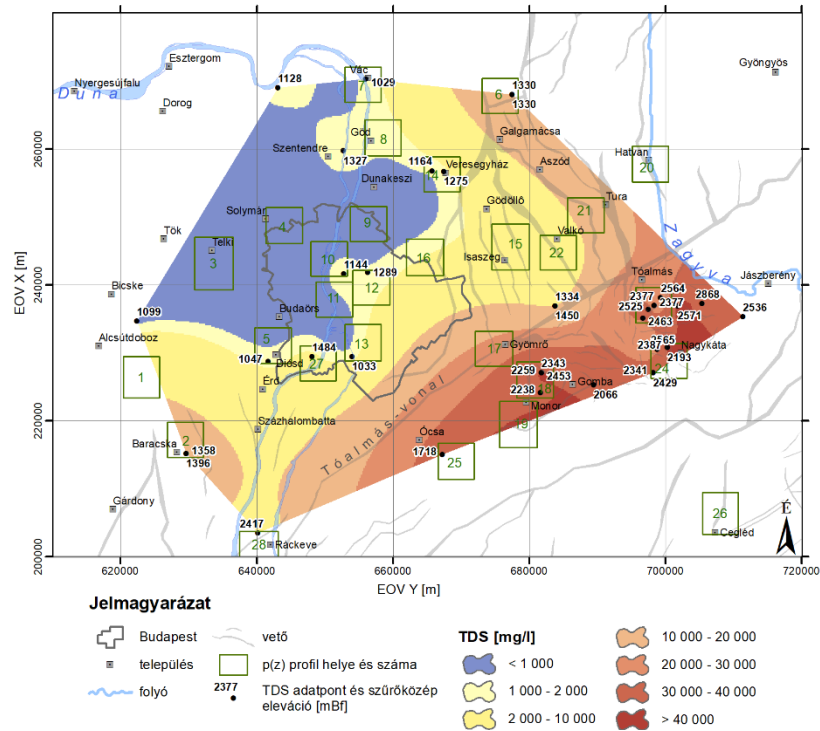
Az említett szintben a legnagyobb koncentrációk (max. ~25000 mg/l) a HCS4 VV-VF hidrosztratigráfiai egységből származnak a Tóalmás-vonal környezetében (Sülysáp, Tóalmás), eltekintve a pusztamonostori adatoktól. Gondolom, elírás történt és bírálóm a 4.5. ábrára gondolt, mely az erre a szeletre készült hidrosztratigráfiai térkép. S valóban igaza van, hogy míg a Sülysáp és Tóalmás pontszerű adataiban megjelenik a HCS4 hidrosztratigráfiai egység, addig a dolgozatomban 4.5. ábráján, az erre a szeletre vonatkozó hidrosztratigráfiai térképen nem. Ennek oka a következő: a hidrosztratigráfiai térképet a fúrások alapján az öt hidrosztratigráfiai csoportra szerkesztett mélyföldtani térképekből szerkesztettük úgy, hogy azokat a szeletközépponti szinten elmetszettük. Ebből adódóan¹⁶ a hidrosztratigráfiai térképek csak a konkrét szintben található csoportokat mutatják, ezért sem vehetők össze egyedi fúrási adatokkal¹⁷. Ugyanakkor a hidrosztratigráfiai térképek medence léptékben jól mutatják a trendeket és azt, hogy ebben a szintben már jóval több foltban megjelennek a HCS4 képződmények a fölötté található (-375 mBf) szeletközépponthez képest. A magas klorid tartalmú zóna valóban egybeesik a legnagyobb TDS-sel jellemzett területekkel.

12) A három mélység szintre szerkesztett TDS eloszlás értelmezését segítően, ha a $z < (-1000)$ mBf szintnél látszana, hogy az egyes kutak adatai milyen mélységre vonatkoznak. A Tóalmás-vonal térségében elhelyezkedő szénhidrogén kutakból származó adatok feltehetően lényegesen nagyobb mélységből származnak, mint a többi kút adata. A Tóalmás-vonalként ismert eltolódási zóna két mestervető által határolt keskeny széthúzásos medencét hozott létre (Palotai és Csontos 2010). A prekainozoos medencealjzat a Közép-magyarországi nyírozónában Üllő és Ócsa között -3000 mBf alá süllyed. Emellett, a fúrások során használt (KCl) adalékanyag úgy a klorid, mint a TDS tartalom eloszlására is kihatással lehet.

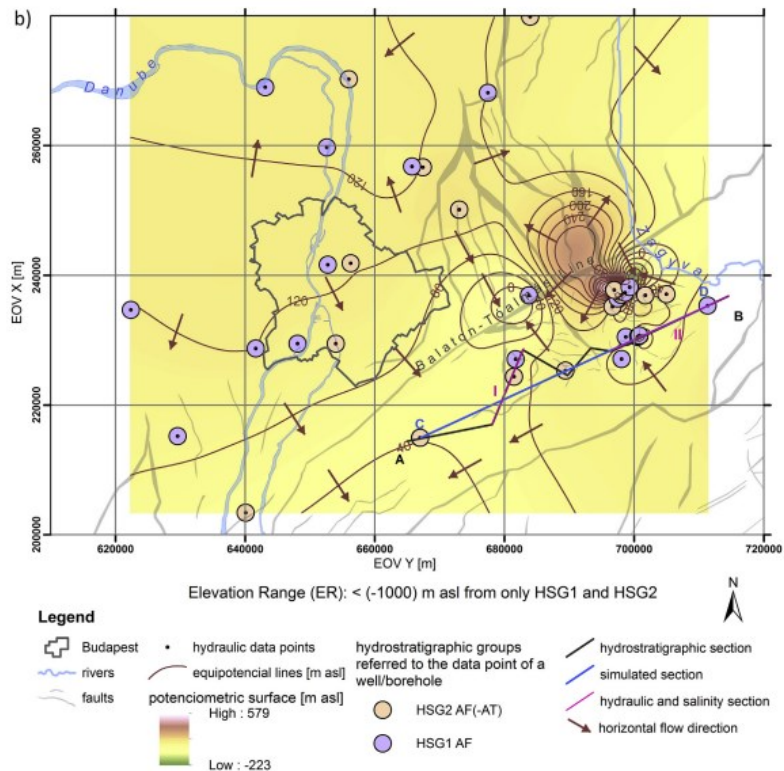
A $z < (-1000)$ mBf szint térképére opponensem kérésére feltettük a kutak szűrőközép elevációját (2. ábra). Látható, hogy a térképen belül (4.14. ábra D) igen nagy vertikális különbségek láthatók a szűrőzési szintet illetően. Ugyanakkor a mérési pont elevációja és az összes oldottanyag tartalom között nem egyértelmű az összefüggés. Ez kitűnik a 3.a ábrán jelölt szelvényirány mentén szerkesztett hidraulikai, hidrosztratigráfiai és TDS szelvényből (3.b. ábra) (Mádl-Szőnyi és mtsi. 2019). A legmagasabb TDS ugyanis a HSG4 VV-VF alján tapasztalható (50 300 mg/l). A szelvény I. szakaszán a HSG4 VV-VF talp és tetőszintje sekélyebben található (utóbbi: -1000 mBf), a TDS megközelíti a 30 000 mg/l értéket. A $z = (-2800)$ mBf szinten a HSG1 VV-ben ugyanakkor 5270 mg/l, azaz alacsonyabb TDS értéket találunk. Az összes oldottanyag tartalom tehát nem az elevációval (mélységgel) áll összefüggésben, hanem a hidrosztratigráfiával.

¹⁶ Ahogy a dolgozatomban is írom.

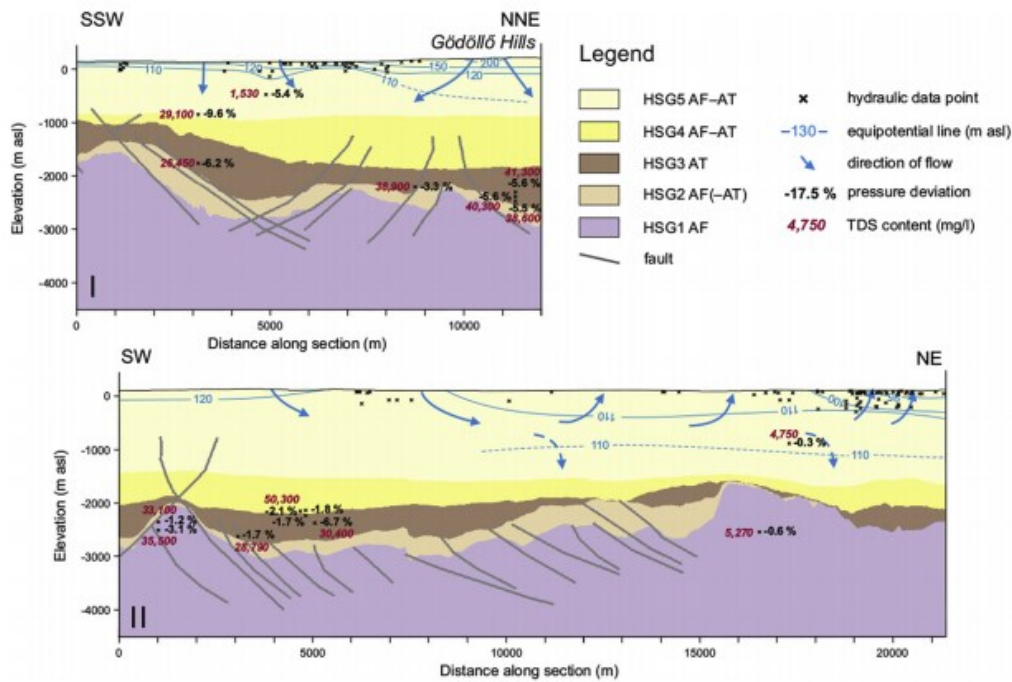
¹⁷ Ez a helyzet esetünkben is, hiszen a fúrások talpa az ábrázolt eleváció szint $z = (-750)$ mBf alatti (< -900 mBf).



2. ábra Összes oldottanyag tartalom térkép a $z < (-1000)$ mBf alatt a HCS1-2-re szűrőzött kutak adatai alapján (4.14. ábra D) kiegészítve a szűrőközep elevációkkal



3.a ábra Tomografikus potenciáltérkép a $z < (-1000)$ mBf alatt HSG1 VV és HSG2VV-VF-ra szűrőzött kutak alapján szerkesztve a 4.b ábrán feltüntetett szelvény (I. és II. szakaszok) feltüntetésével (Fig. 7. Mádl-Szőnyi és mtsi. 2019)



3.b. ábra Hidraulikai, hidrosztratigrafiái és összes oldottanyag tartalom szelvény I. és II. szakaszok (Fig. 10. Mádl-Szőnyi és mtsi. 2019)

Bírálom megemlíti, hogy a fúrások során használt (KCl) adalékanyag a klorid és a TDS tartalom eloszlására is kihatással lehet. Ahogy a dolgozatomban utaltam rá, az adatok felhasználása előtt adatszűrés történt. Azokat az adatokat, melyeknél az ionegyensúly hibája meghaladta a határértéket¹⁸, kiszűrtük. Ugyanakkor egyeztettem a MOL területet jól ismerő szakembereivel, akiktől a következő információt kaptam: „Repedezett tárolókban – mészkő, dolomit – fúrás közben akár 100 köbméteres nagyságrendű iszapveszteségek is felléphetnek. A rétegvizsgálat során ezekben a tárolókban az elnyelt folyadék kis töredékének kitermelése után megjelenik a tárolóra jellemző folyadék. A kútmunkálati folyadékok KCl hozzáadásával elért, jellemző K^+ -tartalma 25 g/l. A KCl hozzáadásán túl a nehezített sósvizek sűrűségemeléséhez NaCl-t vagy egyéb, nagyobb sűrűségű sót használunk, de ilyenek alkalmazására nincs szükség Tóalmás környékén. Hasonlóan a kútmunkálati sósvizekhez, a fúrási iszap K^+ -tartalma is nagyságrendekkel magasabb, mint a rétegvízé, jellemzően 20 g/l.” (Bonz László és Sőreg Viktor írásos közlése 2021).

13) A hőmérséklet mélységtérképek más eloszlást mutatnak, mint a TDS és Cl- térképek. Mivel magyarázza ezt a különbséget?

Kétségtelen, hogy az advekción a TDS, Cl⁻ és a hőmérséklet eloszlásban egyaránt szerepet játszik. A két folyamatot összevetve a hőtranszport folyamatban a közetmátrix és a szaturált pórusfolyadék is részt vesz, az áramlás folyamatának leírására a fluxus szolgál. Advekción (kényszer konvekció) mellett az áramló fluidum és a közetváz között konduktív hőcsere folyik. Így a közet felmelegszik vagy hűl az áramló fluidum hőmérsékletének megfelelően.

¹⁸ Amennyiben a töltésegyensúly hibája alacsonyabb 5%-nál, a kémiai elemzés eredményét elfogadhatjuk. Az ennél nagyobb hibát vagy az elemzés hibája, vagy az elemzés során nem mért komponens(ek) jelenléte okozza.

A tömegtranszport során, ha eltekintünk az oldódástól és a kiválástól, akkor a tömegtranszport folyamat a közet pórusterében jön létre, s a folyamat az áramlási sebességgel definiálható. Tehát a hőszállítás és a „tömegszállítás” mechanizmusa sem ugyanaz.

A két transzportfolyamat dinamikája is eltérő, ami szintén eltéréseket okozhat a hőmérsékleti és a TDS/Cl⁻ térképek között. A két folyamat közötti eltérés egy egyszerű, csak kondukcióval és diffúzióval leírható közetvázra is bemutatható. A porózus közeg hődiffúziós tényezője (κ), illetve a víz molekuláris diffúziós együtthatója (D_0) között három nagyságrend eltérés is lehet¹⁹.

14) A Jelölt azt írja, Az alulnyomások anomáliák és a túlnyomás megőrződés szerkezetekhez kapcsolódó megjelenése arra enged következtetni, hogy regionális, földtani okokra visszavezethető jelenségről van szó (5.6. ábra)". Véleményem szerint érdemes lenne a Jelölt által is említett, látszólagos" alulnyomás lehetőségének mélyebb megvizsgálása, különösen a hőmérsékletbeli különbségek figyelembevételére a hidraulikus emelkedési magasság átszámításakor.

A számítás elvégeztük Czauner (2012) dolgozatában leírt módszer alapján. Mielőtt a korrekció eredményét ismertetem, szeretném felhívni a figyelmet a medencehidraulikai és az egyedi kutakban végzett értékelések különbségeire²⁰, melyre dolgozatomban is többször utaltam. A sűrűség korrekció végrehajtása ugyanis egyedi kutakra értelmezhető, de a korrigált értékekkel kapott hidraulikus emelkedési magasságok összevetése nem helytálló a medencehidraulikai adatértékelés célja tükrében. Ez ugyanis nem használható arra, hogy a sűrűség vagy a hőmérséklet különbségből adódó hajtóerő hatását értékelje. Ugyanakkor az itt alkalmazott módszerek arra alkalmasak, hogy a hidrosztatikus nyomástól (ami a topográfiai hajtóerőhöz köthető) való eltéréseket, anomáliákat/abnormális nyomásokat kimutassa. Az, hogy ezen anomáliákat mi okozza, további kutatás tárgyát képezi, de ezen ún. anomális vagy abnormális hatások kvantitatív elemzése a numerikus szimuláció eszközeivel lehetséges a folyamatok időfüggését is számításba véve²¹.

Ezzel a kiegészítő megjegyzéssel mutatom be a sűrűség korrekció eredményeit a Czauner (2012) PhD dolgozatában szereplő és itt mellékletben közölt összefüggések (Melléklet – 1. és 2. egyenlet) használatával. A dolgozatomban 1000 kg/m³ sűrűség értékekből indultam ki Czauner (2012) Pannon-medencére vonatkozó sűrűség számításai alapján. Az összes adatból számolt átlag hőmérsékletből és a TDS-ből kiindulva²² az átlagsűrűség 984 kg/m³-nek adódott, ami 18–47 m hidraulikus emelkedési magasság többletet okozhat a potenciometrikus térképen jelenleg ábrázolt adatokhoz képest a térkép egészére²³ (4.10. ábra D). A hiba valamennyi adatot egyirányban módosítja, megnöveli, ami maximum 47 m–18 m=29 m többlet különbséget

¹⁹ A dimenziótlan Lewis-szám számszerűsíti ($Le=\kappa/D_0$).

²⁰ A medencehidraulikai értékelés során a cél a domborzatból adódó hajtóerő tér térképezése lehet, mert az állandó sűrűség mellett történik (Hubbert 1940).

²¹ Szijártó és mtsi. (2019) és (2021)-es munkáiban figyelembe vettük a vízsűrűség hőmérsékletfüggőségét. Az előbbi cikkben a vizsgált elméleti medencére megállapítottuk a termikus felhajtóerő okozta hidraulikus emelkedési magasság csökkenést a kényszer konvekcióhoz képest, ami (-1 m)-(-25 m) közötti hidraulikus emelkedési magasság csökkenést okozott a modellben a feláramló plumok okozta tömeghiány miatt.

²² Az átszámítás során a mért nyomásokból számolt hidraulikus emelkedési magasság értékekhez képest a valós sűrűségekkel 9–34 m hidraulikus emelkedési magasság többlet adódott. A hőmérséklet és a nyomás együttes korrekcióba vétele 0–5 m hidraulikus emelkedési magasság többletet okozott. Az eredmények területi kiterjeszthesége érdekében a T és TDS adatok vertikális eleváció szerinti eloszlásából indultam ki, és négy felszínalatti 500 m-es eleváció intervallumra kiszámoltam az intervallumokban rendelkezésre álló adatokból a minimum, átlag és maximum T és TDS értékeket. Azután az összes intervallumot figyelembe véve meghatároztam a minimum, maximum és átlagsűrűség értékeket.

²³ A számítás a minimum és maximum értékekre is elvégeztük, de az átlagból kapott tartomány elfogadható eredményt szolgáltat.

okozhat a térképen jelenleg ábrázolt h értékekben²⁴. A számolt közel 30 m-es vízoszlop különbség többlet, ami bekövetkezhet a túlnyomást még hangsúlyosabbá teszi, de az alulnyomást sem kompenzálja közel hidrosztatikussá. Amiből az is következik, hogy a potenciálkülönbség a túlnyomásosnak és alulnyomásosnak ítélt területek között így is fennmarad.

15) Az 5.6 fejezetben a medencehidraulikai feldolgozás gyakorlati alkalmazhatóságát a geotermikus potenciál-értékelés szempontjából vizsgálja. A „Megközelítés” alfejezetben hivatkozik a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvényre, de tévesen értelmezi azt, amikor azt írja, hogy az a „2500 m-es felső mélységhatárral definiálja a zárt geotermikus rendszereket és elkülöníti a fölötté lévő nyitott tározókat”, Helyesen, ahogy maga a törvény is definiálja: „törvény célja az ásványi nyersanyagok bányászatának a geotermikus energia kutatásának kitermelésének, a szénhidrogén szállító vezetékek létesítésének és üzemeltetésének továbbá az ezekhez kapcsolódó tevékenységeknek a szabályozása az élet, az egészség, a biztonság a környezet és a tulajdon védelmével, valamint az ásvány- és geotermikus energiavagyon gazdálkodásával összhangban” A törvény az I. részben definiálja, hogy mi tartozik a hatálya alá (1. § (1) h) a geotermikus energia kutatása, kinyerése és hasznosítása;), a II. rész 9. §-ban, hogy melyek a koncesszióra kijelölhető, illetve nem kijelölhető területek míg az V. részben a fogalom meghatározások keretében egyértelműsíti, hogy mit nevez zárt, azaz a törvény hatálya alá eső területnek. E szerint: 24. „Zárt terület”: meghatározott ásványi nyersanyag kutatása, feltárása, kitermelése céljából lehatárolt, koncessziós pályázatra kijelölhető terület. Zárt területnek kell tekinteni a már megállapított bányászati joggal fedett területeket az adott ásványi nyersanyag vonatkozásában a jogosultság fennállása alatt. A geotermikus energia vonatkozásában zárt területnek minősül az ország egész területén a természetes felszíntől mért 2500 m alatti földkéreg rész.” Tehát, nem a zárt és nyitott tározókat különíti el a törvény, hanem a bányászati koncessziós jogok szempontjából definiálja a mélységhatárt.

Teljes mértékben egyetértek bírálóm kifogásával és felvetésével. Ugyanakkor szeretném leszögezni, hogy bár a megfogalmazásom téves, de értelmezésem nem az. Ugyanis tisztában vagyok azzal, amit bírálóm leírt²⁵. Nyilvánvaló, ha a törvényt szó szerint értelmezzük, akkor a két kérdéskör összekapcsolása eszünkbe sem juthat. Ugyanakkor, ha a törvényalkotó szándékát vesszük alapul, akkor abból kell kiindulnunk, hogy milyen felszínalatti térrészt kíván az állam szabadon hozzáférhetővé és termelhetővé tenni, és hol kívánja ezeket a jogokat korlátozni és ellenőrzése alá vonni. Ez lehet egy mesterséges határ, ami a törvényben szerepel. De érdemes azon is elgondolkodni - és erre vonatkozik a felvetés – hogy e kérdés összefüggésbe hozható a geotermikus rezervoárok nyitottságával és zártságával. Ha ez megtehető, akkor a törvény már nem mesterséges határral, de akár oly módon is szabályozhatná a kérdést, amely a természeti folyamatokkal is összefüggésbe hozható. Ennek jelentősége, hogy így a kívánt cél hatékonyabban elérhető. Az, hogy ez mennyire nem csak a dolgozatomban szereplő problémafelvetés, bizonyítják azon kérdéseinkre adott válaszok, melyeket az „Excellency Network Building for Geofluids Research” H2020 projektünk keretében az ipari és hatósági

²⁴ A térképen a hidraulikus emelkedési magasság értékek 0 és ~300 mBf között mozognak (dolgozatomban azt feltételeztem, hogy ha a h értékek nagyobbak a 160 mBf-nél vagy kisebbek a 100 mBf értékeknél, akkor az túlnyomásos, illetve alulnyomásos rezsimre utal (p 44. D).

²⁵ i) A zárt terület a már bányászati joggal fedett területeket jelenti az adott ásványi nyersanyag vonatkozásában; ii) A geotermikus energia tekintetében az ország egész területén zárt a 2500 m alatti földkéreg rész stb.

partnereknek feltettünk. Az alábbiakban a feltett kérdésekből és a szakmai válaszokból idézek. „Okoz-e problémát a felszín alatti vizekre és geotermikus célból hasznosított fluidumokra vonatkozó jogszabályok összehangolatlansága, ha igen hol és miben?”²⁶ „A 2500 méteres mélységhatár megállapításában nem szerepel semmilyen természeti tényező (geológiai-, hidrogeológiai adottságok)” (OVF hivatalos válasza). „Milyen problémát látnak a felszín alatti vizekkel, geotermikus energiával és az ércekkel kapcsolatos jelenlegi törvénykezésben hazai és EU-s szinten?”²⁷ „Maga a felszín alatti 2500 m-es határ is elsősorban adminisztratív, és nem szakmai, tehát átgondolandó” (MBFSZ hivatalos válasza). Mindezek alapján a felvetésemet indokoltnak tartom, és a bírálóm által észrevételezett megfogalmazási korrekcióval kérem elfogadását.

16) Az 5.7 ábrán A regionális nyomásrezsím és a nyomáseltérés értékelése a geotermikus készletek termelhetősége és a visszasajtolás szempontjából" bemutatott csoportosítást a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvény téves értelmezése, az alulnyomásos nyomásrezsím lehatárolásához kapcsolódó (gyakori) bizonytalanságok, valamint a zárt geotermikus rendszerek visszasajtolás melletti elméleti termelhetősége miatt, átdolgozásra javaslom. Lokális, konkrét kutatás keretében nyerhet szerepet ez a megközelítés. A visszasajtolhatóság regionális léptékű vizsgálatához jól alkalmazható a fajlagos vízhozam meghatározásán alapuló megközelítés (Tóth, 2012).

Bírálóm korábbi kérdéseire adott válaszaiban részben szerepeltek válaszok az itt szereplő észrevételek egy részére²⁸. A dolgozatomban 5.7. ábráján javaslatot teszek arra, hogy átgondoljuk a geotermikus készleteket a regionális nyomásrezsím és a nyomáseltérés értékelése alapján (4. ábra). Bírálóm e táblázatot egyrészt a korábbiakban vázolt, ámde azóta megválaszolt okok miatt 1) bizonytalannak tartja. Egy másik állítása arra vonatkozik, hogy 2) „a zárt geotermikus rendszerek visszasajtolás mellett elméletileg terelhetők”.

1) A bizonytalansági kérdést tekintve dolgozatomban hidrosztatikus közeli, túlnyomásos és alulnyomásos rezsímet különíték el, mindössze három kategóriát. A dolgozatban javaslattal élek arra vonatkozóan, hogyan definiáljuk a „hidrosztatikus közeli” nyomásállapotot egy adott területre. A hidrosztatikus közeli nyomásrezsím fennáll egy mért nyomásra $p_{din/val}$, ha az adott elevációra vonatkoztatható $p_{st/nom}$ nyomástól a megengedhető $\Delta p_{hidroközeli}$ tartományon belül tér csak el.

$$p_{st/nom} + \left\{ \left[\rho g \frac{z_{wt(max)} - z_{wt(min)}}{2} \right] \times 10^{-6} \right\} \leq p_{din/val} \text{ [MPa]}$$

$$p_{st/nom} - \left\{ \left[\rho g \frac{z_{wt(max)} - z_{wt(min)}}{2} \right] \times 10^{-6} \right\} \geq p_{din/val} \text{ [MPa]}$$

²⁶ „Ameddig a vízügyi szabályozás (219/2004. (VII. 21.) Korm. rendelet a felszín alatti vizek védelméről) alá tartozik a geotermikus célból hasznosított fluidumok kitermelése, addig azonos szabályozás vonatkozik a felszín alatti vizekre és a geotermikus célból hasznosított fluidumokra 2500 m-ig. 2500 méter mélység alatt már a Bányatörvény (1993. évi XLVIII. törvény a bányászatról) hatálya alá tartozik mindenféle fluidum kitermelése. A 2500 méteres mélységhatár megállapításában nem szerepel semmilyen természeti tényező (geológiai-, hidrogeológiai adottságok). Ugyanakkor a Víz Keretirányelv alapján kijelölt felszín alatti víztestek térbeli lehatárolásában is hiányzik az alsó határ megállapítása (OVF hivatalos válasza)”.

²⁷ „További problémát jelent, hogy amennyiben az összes geotermikus energiát állami vagyonelemnek tekintjük, a felszín és az alatt lévő 2500 m közötti térrészből elhasznált vagyon mennyiségéről, értékéről nincs teljes ismeretünk (MBFSZ hivatalos válasza).

²⁸ i) az alulnyomásos rezsím lehatárolását illetően, amely a korrekciót figyelembe véve is alulnyomásosnak minősül, ii) a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvényt nem értelmezem tévesen, de más szakmai szervezetekkel egyetértésben előre mutatónak tartom az elkülönítés földtani, hidrogeológiai alapokra helyezését.

Ha ennél nagyobb az eltérés, akkor valós abnormális nyomásról beszélünk, ami az eltérés előjele függvényében lehet alul- vagy túlnyomás (p 30. D)²⁹. Tehát a három kategória elkülönítése biztonságosan megtehető.

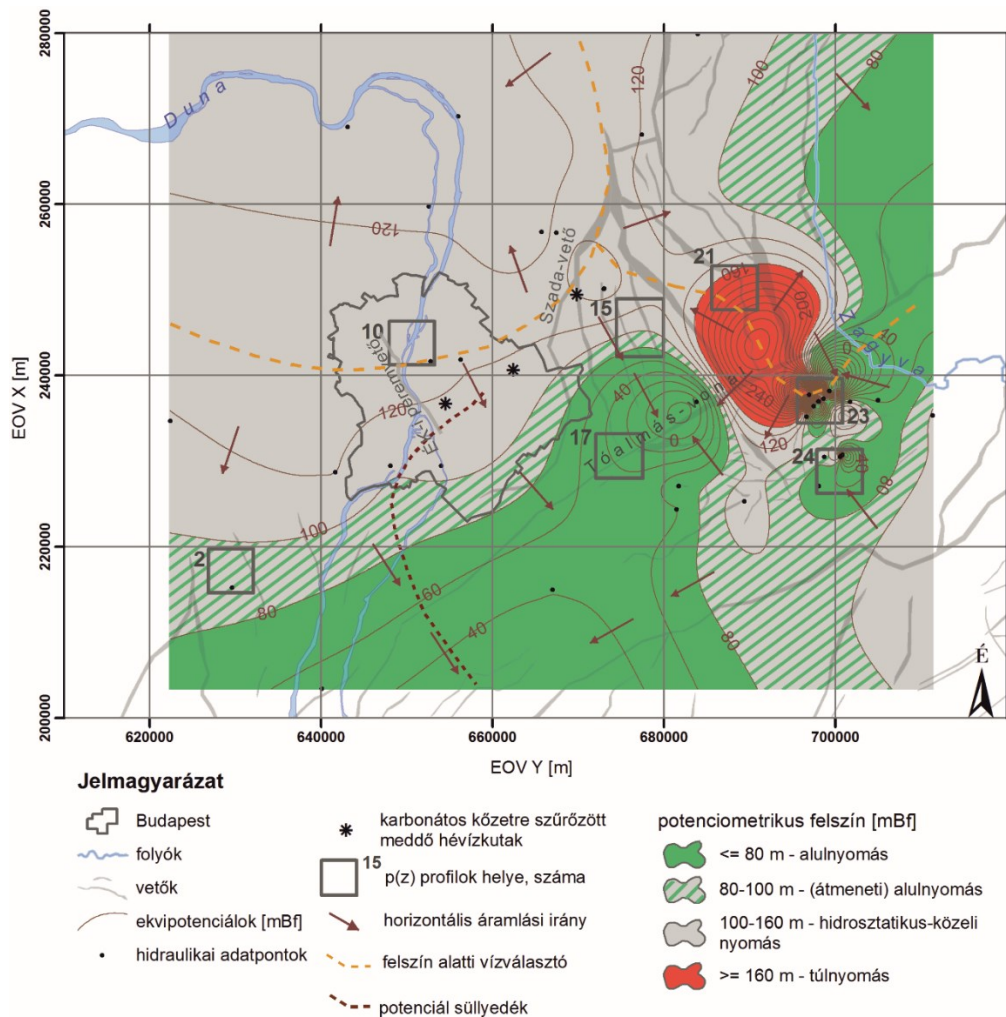
- 2) Vitatkozom azzal, hogy a zárt geotermikus rendszerek visszasajtolás mellett elméletileg termelhetők. Ez csak a túlnyomásos zónára igaz, a túlnyomás ugyanis segíti a termelést az extra vízoszloppal. A rezervoár nyomásállapotának megőrződését azonban itt is a visszasajtolás biztosítja. Az alulnyomásos tározók zártak, de itt éppen az ellenkezője áll fenn. Ezek nyomása kisebb környezeténél, fluidum befogadók „nyelőként” működve nem kedveznek a termelésnek (4. ábra). Ezért a javasolt elkülönítés a kétfajta zárt tározó között mindenképpen indokolt.

NYOMÁSREZSIM				
ALULNYOMÁS	HIDROSZTATIKUSKÖZELI		TÚLNYOMÁS	
NYOMÁSELTÉRÉS				
NEGATÍV	~ NEGATÍV	0	~ POZITÍV	POZITÍV
KÉSZLETVISZONYOK — GEOTERMIKUS KÖVETKEZMÉNYEK				
ZÁRT ¹ NEM TERMELHETŐ	NYITOTT, TERMELHETŐ		ZÁRT ² TERMELHETŐ	
NYELŐ KÚT ENERGIABEFECTETÉS NÉLKÜL		KISNYOMÁSÚ VISSZASAJTOLÁS	NAGYNYOMÁSÚ VISSZASAJTOLÁS SZÜKSÉGES	

4. ábra A regionális nyomásrendszer és a nyomáseltérés értékelése a geotermikus készletek termelhetősége és a visszasajtolás szempontjából. Zárt¹: alulnyomás és utánpótlódás hiánya miatt nem alkalmas termelésre, zárt²: túlnyomás miatt nem utánpótlódó, ezért csak visszasajtolás mellett termelhető (5.7. ábra, p. 66, D)

- 3) Vitatkozom bírálóm azon állításával, mely szerint: „Lokális, konkrét kutatás keretében nyerhet szerepet ez a megközelítés.” A javasolt regionális nyomásrendszer alapú értékelés a medencehidraulikai kutatások egyik gyakorlati hasznosulása. Erre ad példát az 5. ábra (5.6. ábra, p. 61. D) (5. ábra). A regionális nyomásrendszer a geotermikus potenciálértékelés szokásos szempontjain túlmutató támpontot ad a beruházóknak, de semmiképpen nem a lokális értelmezés szintjén³⁰. Itt jegyzem meg, hogy a regionális nyomásrendszerek alapján történő elkülönítést elsőként 2016-ban publikáltuk egy Duna-Tisza közti mintaterületen végzett tanulmányunkban, ahonnan működő geotermikus rendszerek (lokális) tapasztalatai is ismertek voltak (Mádl-Szőnyi és Simon 2016). Egy példaként szerepelt a cikkben a Fülöpjakab térségében működő nyelőkút. Utólag e kút környezetében elvégezve a nyomásrendszer értékelést, hidrosztatikus közeli nyomásrendszert találtunk, negatív nyomáseltéréssel.

²⁹ Mivel a hidrosztatikus nyomás definiálása során átlagsűrűséggel kell számolni a medencehidraulikai értékelés során, az adatok sűrűség korrekciója nem szükséges. Az, hogy mi okoz alul- vagy túlnyomást, valójában ebből a szempontból nem számít. A Pannon-medencében a túlnyomás a jellemző, mértékének megállapítása is egyértelmű, hiszen jelentős nyomás többletet idéz elő (Czauner 2012, Czauner és Mádl-Szőnyi 2013). Alulnyomást elsőként a Paleogén-medencében találtunk, s ennek mértéke jóval kisebb a túlnyomással összevetve. Azonban az egymás közelében fekvő túlnyomásos és alulnyomásos zónák még a korrekció után is elkülönülnek.

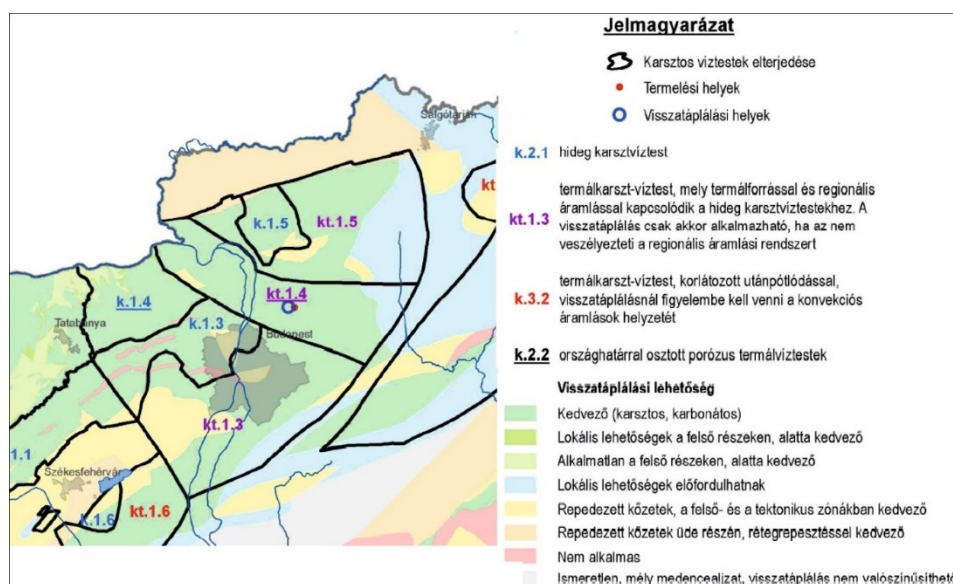


5. ábra Anomáliák és normál nyomásrezsimiek a potenciáltérben a $z < (-1000)$ mBf szintben a HCS1-2 VV-re szűrőzött kutak potenciáladatai alapján: normál (hidrosztatikus nyomás), normál-szubhidrosztatikus (alulnyomás) átmenet, szubhidrosztatikus (alulnyomás) és szuperhidrosztatikus (túlnyomás) nyomásrezsimiek (5.6. ábra p. 61. D)

A 4. ábrából kiolvasható, hogy ezek a kondíciók energia befektetés nélküli nyelő kút kialakítását prognosztizálnak, amit a létező kút maga igazolt (Mádl-Szőnyi és Simon 2016)³¹.

- 4) Bírálóm megemlíti, hogy a visszasajtolhatóság regionális léptékű vizsgálatához jól alkalmazható a fajlagos vízhozam meghatározásán alapuló megközelítés (Tóth, 2012). Megkaptam Tóth Györgytől a hivatkozott előadást és az abban szereplő térképeket. A 6. ábrán szereplő és a dolgozatomban potenciálanomáliákkal érintett terület a kt.1.3. termálkarszt víztest, a jelmagyarázat szerint: „termálforrással és regionális áramlással kapcsolódik a hideg karsztvíztestekhez (6. ábra). A visszatáplálás csak akkor alkalmazható, ha az nem veszélyezteti a regionális áramlási rendszert”. Ezen belül színekkel különítik el a kedvező karsztos, karbonátos, repedezett kőzeteket, lokális lehetőségeket és a repedezett üde kőzeteket. Az osztályozás alapja a víztesteken és azok litológiai elkülönítésén alapul.

³¹ E tanulmányunkat innovatív jellege és a kérdés eredeti megfogalmazása miatt megjelentették egy megújuló energia témájú szemlében <http://renewableenergyglobalinnovations.blogspot.com/2016/12/?m=0>.



6. ábra Budapest és környezete: Karsztos termálvíztestek és más alaphegységi egységek A vízvisszatáplálásra való alkalmasság földtani-vízföldtani feltételei geotermikus hasznosítás esetén (1: 1300 000). MÁFI 2011 augusztus. Készült a MÁFI által kiadott Magyarország pre-kainozoos aljzattérképe (1:500 000) alapján. Szerkesztette Tóth György

A porózus termálvíztestek esetében említi a fajlagos vízhozam alapú visszatáplálási alkalmasságot (S_y) (Tóth Gy 2011). Meg kell jegyezni, hogy fedett víztartóknál, s ez a helyzet a geotermikus rezervoárok esetében, hidraulikai értelemben nem a fajlagos hozam, hanem a fajlagos tározás³² szabja meg a kitermelhető és a visszasajtolható vízmennyiséget.

17) A hetedik fejezetben a medenceléptékű eredményeket összeveti a budapesti megcsapolódó vizek ismert vízkémiai, izotóp hidrológiai jellemzőivel, más szerzők publikált adatait rendszerezve, azok értelmezésére építve. Az áttekintés széleskörű, szépen felépített, mindezekkel együtt szerencsés lett volna a nagy számban rendelkezésre álló oxigén és deutérium stabil izotópok bevonása az értelmezésbe. A 2019. október 8.-án megjelent Fórizs et al. publikáció valószínűleg még nem állt a Jelölt rendelkezésére, de pl. Poyanmehr (2016) PhD dolgozatában publikált adatok igen.

Az oxigén és deutérium adatok valóban nagy számban állnak rendelkezésre Poyanmehr (2016) PhD dolgozatában. Ezekkel kapcsolatban egyeztettem Fórizs Istvánnal 2019 telén, aki ezeket az adatokat a PhD hallgatónak mérte. Fórizs István kérte, hogy a PhD dolgozatban szereplő adatokat ne használjam fel, mert azok később fognak publikálásra kerülni, ami a bírálóm által említett cikkben meg is történt. A dolgozatom kéziratát 2019. augusztus 22-én lezártam és elkészítettem a bekötött példányokat is, így a hiányolt publikációt nem tudtam figyelembe venni. A jövőben hasznos lépés lesz ezen adatok beépítése az értelmezésbe.

18) A különböző forrásokból származó ^{13}C vízkoradatoknál a Jelölt a mérések megbízhatóságát, illetve a mérési hibák nem ismert mértékét említi, de ennél sokkal nagyobb bizonytalanságot és különbséget eredményezhetnek az esetlegesen eltérő

³² A fajlagos tározás S_0 az a vízmennyiség, mely egységnyi térfogatú, telített, ideálisan fedett porózus víztartóból, egységnyi hidraulikus emelkedési magasság csökkenés esetén kitermelhető. Két mechanizmus révén szabadul fel a víz a fedett víztartóból: az egyik a víz nyomáscsökkenés hatására bekövetkező tágulása, a másik a megnövekedett effektív feszültség miatt bekövetkező víztartó-kompakció. A fajlagos hozam (S_y) az a víztérfogat, amely a nyílt tükrű telített víztartó egységnyi felülete alól felszabadul a tározásból a vízszint egységnyi csökkenése hatására. S_y értéke ugyanolyan köztípus esetén nagyságrendekkel nagyobb, mint az S_0 $S_0=10^{-4}-10^{-6} \text{ L}^{-1}$, $S_y \approx 10^{-1}$.

mintavételi módszerek, valamint maga a vízkormeghatározás módszertana. Erre nem tér ki a Jelölt.

Köszönöm bírálóm építő észrevételét és kiegészítését, ezen egyéb szempontok említése valóban szükséges lett volna.

19) Összességében az 5.1.3 tézist elfogadom és javaslom az 5.1.2 tézissel összevonni.

Köszönöm opponensem javaslatát, melyet elfogadok.

20) Az 5.3.2 tézisben megfogalmazottakat a biogeokémiai kiválás és hipogén karsztosodás tudományos jelentőségéről csak részben fogadom el önálló eredménynek, mivel, ahogy a Jelölt is gyakran megfogalmazza, ezen eredmények bizonyos részeit — a kutatás jellegéből adódóan — közösen, más kutatókkal, illetve diákjaival közösen érte el.

Válaszom 1) pontjában utaltam rá, hogy kutatócsoportban dolgozom és nagydoktori munkám is a diákjaimmel és munkatársaimmal folytatott kölcsönös inspiráció eredménye. Kétségtelen, hogy a biofilm és a hipogén karsztosodás témaköre már szerepelt Erőss Anita (2010) egykori PhD hallgatóm dolgozatában. Ám azóta OTKA kutatásaink keretében, melynek témavezetője voltam, számos, e tézist megalapozó kutatási eredmény született. Ezen kutatások kezdeményezése, végigvitele, az eredmények értelmezése során e tézisben megfogalmazott és a dolgozatom 3.1. ábráján (p 21. D) szereplő visszacsatolási elv vezérelt. S valóban ezen elv megfogalmazása e tézis lényege és gyakorlati újdonsága: „Példákon keresztül rámutattam, hogy a Budai-termálkarsztra vonatkozó **medencehidraulikai eredmények visszacsatolásaként a kiválási és hipogén karsztosodási folyamatok a vízáramlási, hő- és oldottanyag transzport folyamatokhoz kapcsolva értelmezhetők.**” (p 8. T). Azaz abból, hogy medencehidraulikai kutatást végzünk adatfeldolgozással és numerikus szimulációval, nem csak közvetlenül a vízáramlási teret és a transzport folyamatokat ismertük meg, hanem az eredményeket visszacsatoltuk a hipogén karsztosodási folyamatok értelmezésébe, legyen szó akár oldási, kiválási, kémiai, vagy mikrobiológiai folyamatról. Saját szerepemet e visszacsatolási lehetőség felismerésében, explicit megfogalmazásában és alkalmazásában látom és ezt tekintem saját eredményemnek. Tekintettel ezen megállapítás elméleti és gyakorlati jelentőségére, valamint jövőbeli alkalmazásának lehetőségére, kérem a tézis elfogadását.

21) Az 5.3.3 tézisben, akárcsak az 5.6 fejezetben, a Jelölt tévesen értelmezi a bányászatról szóló 1993. évi XLVIII. törvényt. E tézisben megfogalmazott medencehidraulikai feldolgozásra alapozott gyakorlati alkalmazást a geotermikus potenciálértékelésben, a geotermikus készletek termelhetősége és visszasajtolhatósága szempontjából jelen formájában nem fogadom el.

Válaszom 14), 15), 16) pontjában bírálóm valamennyi fönti felvetésére válaszoltam. Továbbra is fenntartom munkám ezen részének érvényességét, megfelelőségét és gyakorlati jelentőségét a törvénnyel kapcsolatos megfogalmazási kifogás elfogadása mellett, ezért kérem annak elfogadását.

Budapest, 2021. február 16

Mádlné Szőnyi Judit

Hivatkozások társszerzőkkel írt munkákra:

- Czauner B., Mádl-Szőnyi J. (2013) Regional hydraulic behavior of structural zones and sedimentological heterogeneities in an overpressured sedimentary basin. *Marine and Petroleum Geology*, 48, pp. 260-274.
- Galsa A., Szijártó M., Tóth Á., Havril T., Mádl-Szőnyi J. (2020): Topography- and salinity-driven groundwater flow in synthetic numerical models & along a section in Hungary. Report 2.
- Goldscheider N., Mádl-Szőnyi J., Erőss A., Schill E. (2010) Review: Thermal water resources in carbonate rock aquifers. *Hydrogeology Journal* 18: pp. 1303-1318.
- Havril T., Molson J. W., Mádl-Szőnyi J. (2016) Evolution of fluid flow and heat distribution over geological time scales at the margin of unconfined and confined carbonate sequences - A numerical investigation based on the Buda Thermal Karst analogue. *Marine and Petroleum Geology*. http://real.mtak.hu/80485/1/Havril_et_al_2016_BTK_u.pdf
- Mádlné Szőnyi J., Czauner B., Erőss A., Simon Sz. (2013) Karbonátos és csatlakozó üledékes medenceterületek fluidumdinamikai összefüggéseinek vizsgálata a szénhidrogén kutatás hatékonyságának javítása érdekében a Paleogén-medencében. Zárójelentés. Készült: a MOL Magyar Olaj- és Gázipari Nyilvánosan Működő Részvénytársaság megbízásából és számára. ELTE Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Budapest. 200 oldal és mellékletek.
- Mádlné Szőnyi J., Tóth Á. (2015) Basin scale conceptual groundwater flow model for an unconfined and confined thick carbonate region. *Hydrogeology Journal* 23 (7), pp. 1359-1380.
- Mádlné Szőnyi J. M., Erőss A., Havril T., Poros Z., Győri O., Tóth Á., Csoma A., Mindszenty A. (2018) Fluidumok, áramlási rendszerek és ásványtani lenyomataik összefüggései a Budai Termálkarszton. *Földtani Közlöny*, 148 (1), pp. 75-96.
- Mádlné Szőnyi J., Czauner B., Iván V., Tóth Á., Simon Sz., Erőss A., Bodor P. (2019) Confined Carbonates – Regional scale hydraulic interaction or isolation? *Marine and Petroleum Geology*. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2017.06.006>
- Mádlné Szőnyi J., Simon S. (2016) Involvement of preliminary regional fluid pressure evaluation into the reconnaissance geothermal exploration—Example of an overpressured and gravity-driven basin. *Geothermics*, 60, pp. 156-174.
- Szijártó M., Galsa A., Tóth Á., Mádl-Szőnyi J. (2019) Numerical investigation of the combined effect of forced and free thermal convection in synthetic groundwater basins. *Journal of Hydrology*. Vol. 572. pp. 364-379.
- Szijártó M., Galsa A., Tóth Á., Mádl-Szőnyi J. (2021) Numerical analysis of the potential for mixed thermal convection in the Buda Thermal Karst, Hungary. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. Vol. 34C 100783

Hivatkozott egyéb munkák:

- Balderer W., Sýnal H. A., Deák J., Fórizs I., Leuenberger, F. (2014) Origin of Thermal Waters in Budapest Based on Chemical and Isotope Investigations Including Chlorine-36. In *Thermal and Mineral Waters*, pp. 49-60. Springer, Berlin, Heidelberg.
- Czauner B. (2012) Regional hydraulic function of structural elements and low-permeability formations in fluid flow systems and hydrocarbon entrapment in eastern-southeastern Hungary. Doktori disszertáció. ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Budapest. 144 p.
- Eppelbaum L.V., Kutasov I., Pilchin A. (2014) *Applied geothermics*. Berlin: Springer. pp. 99-149.
- Erőss A. (2010) Characterization of fluids and evaluation of their effects on karst development at the Rózsadomb and Gellért Hill, Buda Thermal Karst, Hungary. PhD Dissertation. ELTE Physical and Applied Geology. Budapest, Hungary 171 p.

- Fórizs I., Deák J., Tóth G., Lorberer Á. (2007) Origin of groundwater in the Budapest thermal karst regime by preliminary environmental isotope data. *Studia Universitatis Babes-Bolyai*, 52 (1), pp. 92-93. (Tóth Gy. közlése)
- Goldscheider N., Drew D. (szerk.) (2014) *Methods in Karst Hydrogeology*. Taylor & Francis, London, 264 p.
- Götz A.E., Török Á., Sass I. (2014): Geothermal reservoir characteristics of Mesozoic and Cenozoic sedimentary rocks of Budapest (Hungary). *Z. Dt. Ges. Geowiss (German J. Geosci.)*, 165 (3), pp. 487–493.
- Hartmann A., Goldscheider N., Wagener T., Lange J., Weiler M. (2014) Karst water resources in a changing world: review of hydrological modeling approaches. *Rev Geophys* 52: doi:10.1002/2013RG000443.
- Havril T. (2018) Numerical simulation of groundwater flow and heat transport over geological time scales at the margin of unconfined and confined carbonate sequences. Doktori disszertáció. ELTE TTK Átlános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Budapest. 94 p.
- Hubbert M. K. (1940) The theory of ground-water motion. *J Geol* XLVIII 8(1) pp. 785–94.
- Kovács J., Erőss A. (2017) Statistically optimal grouping using combined cluster and discriminant analysis (CCDA) on a geochemical database of thermal karst waters in Budapest. *Applied geochemistry*, 84, pp. 76-86.
- Maxey G. B. (1964) Hydrostratigraphic units. *Journal of Hydrology*, 2 (2), pp. 124-129.
- Poyanmehr Z. (2016) A felszín alatti vízáramlás modellezése Budapest tágabb területén. *Földtani Közöny*, 146 (1), pp. 61-70.
- Rman N., Tóth Gy. (2011) Hydrogeological conceptual model within the framework of the T-Jam project. Screening of the geothermal utilization, evaluation of the thermal groundwater bodies and preparation of the joint aquifer management plan in the Mura-Zala basin. Ljubljana, Budapest, 28.2.2011.
- Tóth Á. (2018) A Balaton-felvidék felszínalatti vizeinek hidraulikai kapcsolata a Bakonnyal és a Balatonnal. Doktori disszertáció. ELTE TTK, Budapest.
- Tóth Gy. (2011) A regionális hidrogeológiai rendszerek és a hévíz visszatáplálás közötti kapcsolat MTA Hidrogeológia Albizottság el őadójelentése Budapest 2012. november 28.
- Tóth J. (1970) A conceptual model of the groundwater regime and the hydrogeologic environment. *Journal of Hydrology* 10 pp. 164-176.

Melléklet:

1. egyenlet – A hőmérséklet (T) és az összes sótartalom (S) együttes hatása (forrás: McCutcheon és mtsi., 1993)

$$\rho_{(T,S)} = \rho_{(T)} + AS + BS^2 + CS^3$$

$$\rho_{(T)} = 1000 \left[1 - \frac{T+288.9414}{508929.2(T+68.12963)} (T - 3,9863)^2 \right]$$

$$A = 0.824493 - 4,0899 \cdot 10^{-3}T + 7,6438 \cdot 10^{-5}T^2 - 8,2467 \cdot 10^{-7}T^3 + 5,3675 \cdot 10^{-9}T^4$$

$$B = -5,724 \cdot 10^{-3} + 1,0227 \cdot 10^{-4}T - 1,6546 \cdot 10^{-6}T^2$$

$$C = 4,8314 \cdot 10^{-4}$$

ahol

- ρ = sűrűség (kg/m³)
- T = hőmérséklet (°C)
- S = oldottanyag tartalom (kg/m³)

2. egyenlet – A hőmérséklet (T) és a nyomás hatása (p) (source: www.engineeringtoolbox.com)

$$\rho_1 = \frac{\frac{\rho_0}{1 + \alpha(T_1 - T_0)}}{\frac{1 - (p_1 - p_0)}{E}}$$

ahol

- ρ_1 = végső sűrűség (kg/m³)
- ρ_0 = kezdeti sűrűség (kg/m³), $\rho_{0(w)} = 1000$ kg/m³
- α = térfogati hőtágulási együttható (m³/m³°C), $\alpha_{(water)} = 0,0002$ m³/m³°C
- T_1 = végső hőmérséklet (°C)
- T_0 = kezdeti hőmérséklet (°C), $T_{0(w)} = 11$ °C
- E = rugalmassági modulus, $E(water) = 1/\beta = 2.27 \cdot 10^9$ N/m² (or Pa)
- p_1 = végső nyomás (Pa)
- p_0 = kezdeti nyomás (Pa), $p_0 = 1$ atm = 101325 Pa

Mellékletben szereplő hivatkozások:

McCutcheon SC, Martin JL, Barnwell TO Jr (1993) Water Quality – in Maidment DR (ed) Handbook of Hydrology. McGraw-Hill, New York NY, pp. 113