

Bírálói vélemény

Mádlné Szőnyi Judit

FELSZÍNALATTI VÍZÁRAMLÁSOK MINTÁZATA FEDETLEN ÉS KAPCSOLÓDÓ FEDETT KARBONÁTOS VÍZTARTÓ RENDSZEREK BEN A BUDAI-TERMÁLKARSZT TÁGABB KÖRNYEZETÉNEK PÉLDÁJÁN

című MTA doktori értekezéséről

1. Általános észrevételek

A doktori értekezés 131 számozott oldallal és a közöttük helyet foglaló jelentős mennyiségű ábrával, térképpel, összesen 163 oldal terjedelmű. A jelölt 9 fejezetbe csoportosítva ismerteti munkáját, eredményeit.

A bevezetésben bemutatja a hidrogeológia tudományterület fejlődésének lépéseit, kutatásának indítékait, valamint megfogalmazza célkitűzéseit és a megválaszolandó kérdéseket. A 2. fejezetben ismerteti a vizsgálati módszerek elméleti hátterét. Ezt követően a 3. fejezetben bemutatja a felszín alatti vízáramlási rendszerek medenceléptékű vizsgálatának folyamatát és módszereit, az elvi megfontolásoktól a kutatási hipotézismegalkotásáig. Kutatása lépéseit és az azokhoz kapcsolódó következtetéseit négy fejezetben (4. – 7.) tárgyalja. A 8. fejezetben ismerteti kutatási eredményeinek elméleti és gyakorlati jelentőségét, a felszín alatti vízáramlási rendszerek recens és múltbéli kapcsolódó jelenségeit, valamint az eredmények kiterjeszhetőségét. A 9. fejezetben tézisszerűen összegzi az eredményeket, következtetéseket.

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 értekezés hivatkozott irodalomjegyzéke több mint 350 tételből áll. A disszertáció témakörében 22 első szerzős saját publikációt jelentetett meg a Jelölt, melyek – néhány kivételtől eltekintve – az utóbbi tíz évben jelentek meg, és közel fele nemzetközi.

Az értekezés szép kivitelű, megfelelően strukturált, az ábrák és térképek szépen és egységesen szerkesztettek, ezáltal jelentős segítséget nyújtanak az egymásra épülő fejezetek követéséhez. Az értekezés formai szempontból megfelel az általános követelményeknek.

2. Tételes észrevételek

A bevezetést követően, a **második fejezetben** a Jelölt a felszín alatti vízáramlási rendszerek mechanizmusainak és jellemzőinek vizsgálati módszereihez kapcsolódó elméleti hátteret tárgyalja. Megállapítja, hogy a hidrogeológia napjainkra jelentős elméleti és ez által gyakorlatban is teret nyerő fejlődésen ment keresztül, és „*E felismeréseknek köszönhetően a hidrogeológia a dinamikus folyamatok medenceléptékű megértésének korszakába lépett, követve a földtudományokban, a meteorológiában, az óceanológiában bekövetkezett fejlődést (Bredehoeft 2018).*” Ismerteti a reprezentatív elemi- vagy közettérfogot (REV) szerepét és figyelembevételének fontosságát az értelmezések során, valamint a pontos terminológiák alkalmazását. Helyesen állapítja meg például, hogy „*a medencelépték kifejezés nem helyettesíthető a vízgyűjtő/vízartó léptékekkel a referencia térfogat eltérő mérete miatt.*” Korábbi

publikációjában (Mádl-Szőnyi és Tóth, 2015) definiálja mit ért medencebeli vízáramlási rendszernek karbonátos víztartók esetén.

Helyesen fejt ki a hidraulikus folytonosság szerepét és állapítja meg „*a fedett karbonátos víztartók fedőrétegei a karbonátos víztartó rendszerekben kialakuló vízáramlások szerves részei (Mádl-Szőnyi és mtsi., 2017b).*” Megemlíthető, hogy többek között, hasonló példa erre a Hévízi-tó környezete is, ahol fontos e szemlélet alkalmazása a vízkészlet hasznosítások engedélyezésekor.

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

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, amely cikkekre maga a Jelölt is hivatkozik értekezésében.

Ugyan a Jelölt megemlíti, hogy vitatható az anionok áramlási pálya mentén történő genetikai kapcsolatot sugalló szemléltetése, de „pillanatfelvételnként” 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, ha csak nincs közben olyan földtani közeg, ami ezt a forrást lehetővé teszi, illetve nincs mélységi, vagy más vízösszetételű közegből feláramlás/átáramlás. Ugyanitt jegyzem meg, hogy a Jelölt 3. fejezetben publikált 3.5 ábrája ezt a tényt helyesen veszi figyelembe.

A **harmadik fejezetben** az áramlási rendszerek medenceléptékű vizsgálatának folyamatát és módszereit ismerteti. A 3.1. ábrán szemléltetett „munkafolyamatot”, mint új egymásra épülő kutatási folyamatot írja le. A használt megnevezések helyenként újak, viszont az egymásra épülő kutatási és gyakorlati lépések ismertek és alkalmazottak.

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 jelenségként 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 köztérzfogatban 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?

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?

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*. Javasolom utóbbi megnevezés alkalmazását a későbbiek során.

A **negyedik fejezetben** a Jelölt a Budai-termálkarszt tágabb körzetében található kutak archív adatai alapján végzett medencehidraulikai értékelését ismerteti.

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 de- finition of the units.”*

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.

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 figyelhetők meg (4.13. ábra). A három mélységszintre szerkesztett TDS eloszlás értelmezését segítően, ha a $z < (-1000) \text{ mBf}$ 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 nyírózónában 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 hőmérséklet mélységtérképek más eloszlást mutatnak, mint a TDS és Cl^- térképek. Mivel magyarázza ezt a különbséget?

Az **ötödik fejezetben** a medencehidraulikai értelmezésen alapuló vízáramlási rendszermodellt a medenceléptékű adatok értelmezésével, a kapcsolódó egyéb retrospektív, adatfeldolgozási és a jelenségek vizsgálatára vonatkozó korábbi eredményeik felhasználásával tárgyalja. Helyesen állapítja meg, hogy *„a medencehidraulikai megközelítés jelentősége, hogy a hidraulikai kapcsolat akkor is megbecsülhető, ha nem állnak rendelkezésre a képződmények elterjedésére, földtani jellemzőire, hidraulikus vezetőképességére és szerkezeti tagoltságára vonatkozó adatok”*.

A Jelölt azt írja *„Az alulnyomásos 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 figyelembe vételére a hidraulikus emelkedési magasság átszámításakor.

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 fölötte lévő nyitott tározókat”. Helyesen, ahogy maga a törvény is definiálja: „E 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 (I. § (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 földkéregrészt.” Tehát, nem a zárt és nyitott tározókat különíti el a törvény, hanem a bányászati koncessziós jogok szempontjából definiálja a mélységhatárt.

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).

A **hatodik fejezetben** a társszerzőkkel végzett 2D numerikus szimulációk eredményeit ismerteti a Rózsadombon áthaladó szelvény mentén, valamint Gellért-hegyen áthaladó szelvény mentén.

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. A különböző forrásokból származó ¹⁴C 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 mintavételi módszerek, valamint maga a vízkormeghatározás módszertana. Erre nem tér ki a Jelölt.

A **nyolcadik fejezetben** a Jelölt kutatási eredményeinek elméleti és gyakorlati jelentősége, a felszín alatti vízáramlási rendszerek recens és múltbéli kapcsolódó jelenségei, valamint az eredmények kiterjeszthetősége kerül összegzésre.

3. Tézisekre vonatkozó észrevételek

A téziseket a Jelölt 3 kategóriába csoportosítja. Három módszertani tézisben foglalja össze a javasolt fogalomhasználatot, a vizsgálati megközelítést és munkafolyamatot, valamint a medenceléptékű értékelés adaptálásának módszerét a vizsgált hidrogeológiai környezethez (5.1.1-5.1.2-5.1.3 tézisek).

A tézisek második csoportját a Budai-termáلكarsztra vonatkozó eredmények alkotják négy tézissel (5.2.1-5.2.2-5.2.3-5.2.4 tézisek). A tézisek harmadik csoportját a Jelölt munkájának tudományos és gyakorlati jelentőségét összegzi három tézisben (5.3.1-5.3.2-5.3.3 tézisek).

A tézisekre a Jelölt által használt számozás szerint hivatkozom:

Az **5.1.1 tézis** a vastag karbonátos víztartó rendszerekre vonatkozó medencehidraulikai fogalomhasználat bevezetését ismerteti. A tézis címében szereplő megfogalmazást, amely szerint a medencehidraulikai fogalom bevezetése a vastag karbonátos víztartó rendszerekre vonatkozik, elfogadom.

Az **5.1.2 tézis**ben a felszínalatti vízáramlási rendszerek és az általuk okozott jelenségek medenceléptékű kutatására kidolgozott munkafolyamatát összegzi, bemutatva az alkalmazható módszercsoportokat és azok egymásra épülését.

Az **5.1.3 tézis**ben a Jelölt az 5.1.2 tézis keretében bemutatott munkafolyamat, illetve módszerek egy részének adaptálását ismerteti a vizsgált hidrogeológiai környezethez.

A források paramétereiben jelentkező medenceléptékű trendek elemzésével értékelt a forrásokat létrehozó vízáramlási rendszereket. Megállapította, hogy a szivárgások, a források környezetében tapasztalható kémiai és biológiai kiválások és az epigén és hipogén karsztosodási jelenségek is felhasználhatók a kialakulásukat előidéző vízáramlási rendszerek kutatására.

A $p(z)$ profil alkalmazásához következetes nevezéktant vezetett be a vertikális nyomásgradiensek lehetséges értékeire, úgymint hidrosztatikus, szub- és szuperhidrosztatikus, illetve a nyomásrezsimekre a hidrosztatikusközelit, alulnyomás és túlnyomás megnevezést. Megállapította, hogy a medencében előforduló maximum és minimum vízszintértékek átlagvízszinttől való eltéréseiből határozható meg az a Δp_{hk} tartomány, melyen belül a nyomások hidrosztatikusközeliek, és az ezen kívül eső nyomásokat tekintette alul- illetve túlnyomásosnak.

A fedő sziliciklasztos és a karbonátos képződmények összefüggéseikben történő vizsgálata nem tér el a „hagyományos megközelítéstől”, ugyanakkor a tomografikus folyadékpotenciál térképek ily módon történő megjelenítése nem szokványos.

Összességében, az 5.1.3 tézist elfogadom. és javaslom az 5.1.2 tézissel összevonni.

Az **5.2.1 tézis**ben a Jelölt a Budai-termáلكarsztra vonatkozó korábbi és új eredményeit foglalja össze a hajtóerők, az utánpótlódási és megcsapolódási területek földrajzi elhelyezkedése, a hőmérséklet és a vízkémiai jellemzők alapján.

A feldolgozással bizonyította a vízszintkülönbségek domináns hajtóerő szerepét, és rámutatott a vízáramlások korábban nem ismert vertikális komponensére, ami a felső néhány száz méterben az áramlások hierarchizáltságát előidézi (Mádl-Szőnyi és mtsi. 2017a). Potenciáldómok alapján azonosította a Budai-termáلكarszt utánpótlódási területeit, a lokális hideg források megcsapolódási szintjét, az intermedier és regionális megcsapolódás területeit. Felismerte az advektív hőtranszport hűtő hatását a karbonátos víztartó felszínközeli helyzetével egybeeső utánpótlódási területeken, a regionális vízfogó képződmények szerepét.

Feltárta a Budapeستől Ny-ra található utánpótlódási területeken a felszín alá jutó karsztvíz (édesvíz) térbeli elterjedését, a körülötte levő brakkvíz elterjedésének lehatárolásával.

Az 5.2.1 tézist elfogadom.

Az 5.2.2 tézist a fedő-függő víztartók és karbonátos víztartó összefüggéseit, valamint az anomáliák áramlási térben történő vizsgálatának megközelítését összességében elfogadom. Javasolom a hőmérséklet-korrekción figyelembevételét a hidraulikus emelkedési magasságok meghatározásánál.

Az 5.2.3 tézist a felszínalatti vízkomponensekről, a Budai-termálkarszt hidraulikai határára és a központi és déli rendszer elkülönülésére vonatkozóan elfogadom.

Az 5.2.4 tézist a budapesti megcsapolódási területek és a kapcsolódó áramlási rendszerekre vonatkozóan elfogadom.

Az eredmények tudományos és gyakorlati jelentőségének vizsgálata keretében, az 5.3.1 tézist a vastag karbonátos víztartó rendszerek új hipotézismodelljéről és kiterjesztéséről elfogadom.

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.

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.


4. Összefoglaló megállapítás

A Jelölt által benyújtott doktori mű megfelel az MTA Doktori Szabályzat előírásainak. A Jelölt jelentős – a gyakorlatban is sokrétűen alkalmazható – tudományos eredményeket ért el a hidrogeológia területén, nem csak hazai, hanem nemzetközi szinten is. Kijelentem, hogy a disszertációt nyilvános védésre alkalmasnak tartom és javasolom Mádlné Szőnyi Judit részére az MTA doktora cím odaítélését.

Referenciák

- Fórizs, I., Szabó, V., Deák, J., Hałas, S., Pelc, A., Trembacowski, A., Lorberer, Á. (2019). The Origin of Dissolved Sulphate in the Thermal Waters of Budapest Inferred from Stable S and O Isotopes. *Geosciences*, 9(10), 433. doi:10.3390/geosciences9100433
- Poyanmehr Z. (2016) budai karsztrendszer utánpótlódási viszonyainak hidrodinamikai vizsgálata vizgeokémiai adatok figyelembevételével. PhD értekezés. http://doktori.bibl.u-szeged.hu/2848/19/doktori_%C3%A9rtekez%C3%A9s.pdf
- Tóth Gy. (2012) A regionális hidrogeológiai rendszerek és a hévíz visszatáplálás közötti kapcsolat. MTA Hidrogeológia Albizottság előadói ülése. Budapest. 2012. november 28.

Budapest, 2020.11.15.


Szőcs Teodóra, PhD