

**A FELSZÍNALATTI VÍZÁRAMLÁS ÉS A HŐTRANSPORTFOLYAMATOK
MEDENCELEPTÉKŰ NUMERIKUS VIZSGÁLATA**

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

SZIJÁRTÓ MÁRK

OKLEVELES GEOFIZIKUS

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Földtudományi Doktori Iskola
Földtan–Geofizika Program

A Földtan–Geofizika Doktori Program vezetője: Prof. Harangi Szabolcs

A Földtudományi Doktori Iskola vezetője: Prof. Bartholy Judit



Témavezető: Dr. Galsa Attila, egyetemi adjunktus

Geofizikai és Űrtudományi Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest

Társ-témavezető: Mádlné Dr. Szőnyi Judit, egyetemi docens

Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Eötvös Loránd Tudományegyetem,
Budapest

Geofizikai és Űrtudományi Tanszék

Természettudományi Kar

Eötvös Loránd Tudományegyetem

Budapest

2021

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

A medenceléptékű felszínalatti vízáramlási rendszerek megértése mind a társadalmi szükségletek oldaláról, mind tudományos szempontból a hidrogeológia egyik lejelentősebb kihívásává vált, s válik. Ahhoz hogy megvizsgálhassuk eme rendszerek működését, kellőképpen ismernünk kell a vízáramlást kialakító hajtóerők kapcsolatát, melyek területenként lényegesen változhatnak.

A 20. században Hubbert (1940) és Tóth (1962) kutatásuk során arra a következtetésre jutottak, hogy az üledékes medencékben létrejövő regionális léptékű áramlási rendszereket néhány kilométer mélységig a felszínalatti víztükör lefutása határozza meg (Tóth, 2009). Ezen medencehidraulikai megközelítést később (vastag, összefüggő) karbonátos víztartókra is adaptálták (pl.: Klimchouk, 2007; Mádlné Szőnyi, 2019). Kétségtelen, hogy a felszínalatti víztükör változása hidraulikai szempontból fontos szerepet tölt be a vízáramlási rendszerek elsődleges értelmezésében. Azonban, emellett még számos hajtóerő hozzájárulhat a komplex vízáramlási folyamatok kialakulásához, úgymint – az értekezés fókuszában álló – összetett hőtranszportfolyamat, mely például hővezetés, hőszállítás, termikus felhajtóerő, illetve radioaktív hőtermelés szuperpozíciójából származik (Nield és Bejan, 2017).

A topográfiavezérelt felszínalatti vízáramlás és a hőtranszportfolyamatok együttes hatásának medenceléptékű vizsgálata mind elméleti, mind gyakorlati szempontból feltáratlan, hiszen a legtöbb esetben figyelmen kívül hagyják a termikus felhajtóerő hatását (pl.: Domenico és Palciauskas, 1973; An és mtsi., 2015). Mindemelett, a topográfiavezérelt vízáramlás és a hőtranszportfolyamatok kapcsolatának ismerete különösen azokon a területeken fontos, ahol a földtani és hidrogeológia tulajdonságok mellett kedvező geotermikus viszonyok állnak fenn, mint például a Pannon-medence egyes területein (Lenkey és mtsi., 2002).

Kutatásomban két fő kérdés megválaszolását tűztem ki célul: (1) általános esetben, milyen feltételek fennállása mellett kell számolni a termikus felhajtóerő hatásával

medencelétékű vízáramlási rendszerekben; (2) mi a szerepe a termikus felhajtóerőnek a Budai-termálkarszt felszínalatti vízáramlási rendszerének kialakításában?

2. ALKALMAZOTT MÓDSZER

A felszínalatti vízáramlás és a hőtranszportfolyamatok együttes hatásának vizsgálatát többféle megközelítéssel lehet elvégezni. Amennyiben a vízáramlást felszínalatti víztükör helyzeti magasságának megváltozása okozza, topográfiavezérelt kényszer termikus konvekcióról beszélhetünk (Domenico és Palciauskas, 1973). Önmagában a pórusfolyadék – hőmérsékletkülönbség által okozott – sűrűségváltozása termikus felhajtóerőt eredményezhet, melynek következtében szabad termikus konvekció (free thermal convection) (Lapwood, 1948) jön létre. Ezen rendszerek – speciális feltételek mellett – analitikusan is leírhatók, stacionárius megoldást eredményezhetnek. Azonban, a kényszer és a szabad termikus konvekció interakciója (összetett termikus konvekció) már időfüggő problémához vezethet, melyet általánosan csak numerikus módszerek segítségével tudunk megoldani (Lai, 2000).

A hajtóerők kapcsolatának vizsgálatához egy olyan – különböző határ- és kezdeti feltételekkel ellátott – parciális differenciálegyenlet-rendszert oldottam meg, amely a kontinuitási, a Darcy- és a hőtranszportegyenlettel írható fel. Az egyenleteket a hőmérsékletfüggő vízsűrűséggel és a Darcy-fluxussal – a kialakuló folyamattól függően (kényszer vagy szabad termikus konvekció) – különböző mértékben csatoltam. A numerikus számításokat COMSOL Multiphysics® 5.3a végeसेlemes környezetben végeztem el (Zimmermann, 2006). Az alkalmazott numerikus módszert az analitikus megoldással leírható Tóth-féle „egységmedence” modell (Tóth, 1962) segítségével verifikáltam. Mind a szintetikus, mind a valós hidrogeológia környezetből levezetett modellt kétdimenziós geometriával közelítettem.

3. EREDMÉNYEK, AZ ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

A Budai-termálkarszt rózsadombi földtani szelvényének (Fodor, 2013) hidrosztratigráfiai értelmezését, a hozzá tartozó kétdimenziós numerikus modellépítést, valamint a különböző hajtóerők elkülönítésére és számszerűsítésére kidolgozott módszereket és az azokból levonható következtetéseket saját eredményemnek tekintem.

A kidolgozott módszer segítségével a regionális léptékű felszínalatti vízáramlás és hőtranszportfolyamatok együttes hatásának vizsgálata új megvilágításba kerül. A szintetikus és a valós hidrogeológiai helyzetből levezetett modellszámítások eredményei alapján a következő tézisekbe foglalt eredményekre és megállapításokra jutottam:

- 1) Kidolgoztam a felszínalatti víztükör (topográfia) és a hőtranszportfolyamatok interakciója által kialakított felszínalatti vízáramlási rendszerek vizsgálatának numerikus módszerét, mely során egy szintetikus modellben elvégzett szimulációsorozattal tanulmányoztam a jelenséget. A modellparaméterek (hőmérséklet-különbség, lineárisan lejtő víztükör, medencemélység, hidraulikus vezetőképesség anizotrópia) szisztematikus változtatása mellett kontrollparamétereket definiáltam (pl.: különböző Darcy fluxusok, hőmérséklet és hidraulikus emelkedési magasság). A kontrollparaméterek átlagértékében és szórásában megfigyelt változásokra támaszkodva különítettem el a topográfiavezérelt advektív hőtranszport (kényszer termikus konvekció) és a termikus felhajtóerő (szabad termikus konvekció) hatását a felszínalatti vízáramlásban.
- 2) A hőmérséklet-gradiens növelése elősegíti a szabad termikus konvekció kialakulását. A szintetikus modellben a termikus felhajtóerő 60–70 °C hőmérséklet-különbség esetén szuperponálódik megfigyelhető módon a topográfiavezérelt kényszerkonvekcióra, így kialakítva az időfüggő, összetett termikus konvekció jelenségét. A stacionárius és időfüggő állapot közötti átmenetet a kontrollparaméterek szórása, valamint az átlagértékekre illesztett egyenesek meredekségének megváltozása jelöli ki. Megállapítottam, hogy a termikus felhajtóerő 100 °C hőmérséklet-különbség esetén, a teljes modelltartomány 29%-án legalább 10%-kal megnöveli a hidraulikus emelkedési magasság értékét a kényszerkonvekcióhoz képest. A növekedés elsősorban a szintetikus modell be- és kiáramlási területe alatt, illetve az átáramlási terület alsó tartományában ($z < -2000$ m) van jelen.

- 3) A további paramétertesztelések alkalmazásával rávilágítottam arra, hogy egyes hidrogeológiai tulajdonságok elősegítik, mások hátráltatják az összetett termikus konvekció megjelenését. Míg a felszínalatti víztükör lejtésének csökkenése ($5^\circ \rightarrow 0^\circ$) és a modellmélység növelése (500 m \rightarrow 5000 m) növeli a termikus felhajtóerő relatív szerepét, ezzel fokozva a medencebeli hőoszlopok intenzitását, addig a hidraulikus vezetőképesség anizotrópia emelkedése (1 \rightarrow 100) mindkét hajtóerő hatását gyengíti. Mindemelett az anizotrópia megjelenése szeparálja a medence felső és alsó részét ($z = -1500$ mBf); az előbbiben a kényszerkonvekció, az utóbbiban a szabad termikus konvekció hatását erősítve. Habár eme vizsgálatok során a kontrollparaméterek különböző mértékben függenek a modellparaméterektől, a termikus felhajtóerő megjelenése és megerősödése mindegyik esetben tapasztalható volt.
- 4) Egy új – a kényszer és az összetett termikus konvekció intenzitáskülönbségét figyelembe vevő – dimenziótlan paraméter, a módosított Pécelet-szám (Pe^*) definiálásával hozzájárultam az összetett termikus konvekció általános érvényű leírásához. Ennek köszönhetően a szisztematikus paramétervizsgálatok eredményei összevethetőek. Az egyes modellekhez tartozó szimulációkat a termikus Rayleigh-szám (Ra) és a módosított Pécelet-szám (Pe^*) függvényében fejeztem ki, ahol a termikus felhajtóerő az $Ra \geq 500-1000$ és a $Pe^* \geq 10-20$ tartományokban vezet időfüggő összetett termikus konvekcióhoz. Tehát az újonnan bevezetésre került $Ra-Pe^*$ keresztábrát alkalmazva meg lehet becsülni a két hajtóerő relatív hatását olyan medenceléptékű felszínalatti vízáramlási rendszerekben, ahol ismerjük a hidrogeológiai környezetet jellemző geometriai/geofizikai paramétereit.
- 5) Elvégeztem a szintetikus modell (Szi jártó és mtsi., 2019) valós hidrogeológiai rendszerre történő adaptálását. Megalkottam a Budai-termálkarszt rendszernek (BTK) egy olyan kétdimenziós numerikus modelljét, amelyben az összetett termikus konvekciót – illetve a hőtranszportfolyamatokat (kondukción, advekción, termikus felhajtóerő) –, mint fizikai jelenséget a beszívargási ráta és a

dimenziótlan Nusselt-szám által kvantitatívan jellemeztem. A modellalkotás során mért adatok medenceléptékű feldolgozásából indultam ki, a hidrosztratigráfiai egységek földtani/fizikai tulajdonságainak meghatározásához korábbi munkák eredményeit integráltam (Fodor, 2013; Tóth, Á., 2018; Mádlné Szőnyi, 2019; Mádl-Szőnyi és mtsi., 2019 stb.).

- 6) Stacionárius kényszer termikus konvekció esetén elkülönítettem három regionális léptékű áramlási rendszert és a hozzájuk köthető két beszivárgási területet a fedetlen (nyugati) és fedett (keleti) oldalon, illetve egy fő kiszivárgási területet a Duna környezetében. Kimutattam, hogy ebben a régióban a két áramlási rendszer a mélyben összetart, érintkezik, majd a felszínalatti víz 70–80 °C hőmérsékletű feláramláson keresztül ér a felszín közelébe. Eredményemmel alátámasztottam Mádl-Szőnyi és Tóth (2015), illetve Mádl-Szőnyi és mtsi. (2017) által korábban tett következtetéseket. Az advekció következtében a BTK rendszerben megnövekszik a hőfluxus a konduktív hőtranszportéhoz képest, amit a Nusselt-szám ($Nu_{av}=1,23-1,69$) és a beszivárgási ráta ($R_{av}=157$ mm/év, $R_{av}/R'\approx 54\%$) felhasználásával számszerűsítettem.
- 7) Rávilágítottam arra, hogy a termikus felhajtóerő megjelenésével a számítás kvázistacionárius megoldást ad; az áramlás intenzívebbé válik, a felszíni hőáram fokozódik, melyeket a kontrollparaméterek egyértelműen számszerűsítenek ($Nu_{av}=1,56-5,25$ és $R_{av}/R'=61-85\%$). Az összetett termikus konvekció következtében a fedetlen (nyugati) részen számos kisebb kiterjedésű, gyorsabban mozgó hőoszlop, míg a fedett (keleti) részen – a Pesti-síkság alatt – egy nagyobb, lassabb konvekciós áramlás alakul ki, melyek a topográfiavezérelt kényszerkonvekcióval egy irányban sodródhatnak. A modell fő kiáramlási területén – a Duna környezetében – létrejövő időfüggő feláramlás 40–60 °C hőmérsékleten közelíti meg a felszínt. Megállapítottam, hogy a hőmérséklet-eloszlás és az áramkép részben módosul a stacionárius megoldáshoz képest, melynek egyik legfontosabb megnyilvánulása, hogy a két összetartó áramlási rendszer határa 15 km-rel keleti irányba eltolódik.

- 8) Megállapítottam, hogy – a vizsgált hőtranszportfolyamatok mellett – a radioaktív hőtermelés szerepe egyértelműen elhanyagolható ($Nu_{av}=4,42$; $R_{av}/R'=85\%$), míg a hidraulikusan vezető vetők ($Nu_{av}=5,24$; $R_{av}/R'=75\%$) csupán lokális változásokat okoznak a medenceléptékű áramlási rendszerben és hőmérséklet-eloszlásban az alapmodellhez képest ($Nu_{av}=4,34$; $R_{av}/R'=85\%$). (A bemutatott kontrollparaméterek összetett termikus konvekció esetén érvényesek.) A paraméterérzékenység-vizsgálatokkal rámutattam arra, hogy a bemeneti paraméterek változtatása kvalitatíve nem befolyásolja a végeredményt. Tehát a hővezetőképesség és a hidraulikus vezetőképesség realisztikus intervallumon történő megváltoztatása kvalitatív értelemben nem módosítja a létrejövő áramlás és hőtranszportfolyamat alapvető jellegét ($Nu_{av}=2,94-4,34$ és $R_{av}=145-249$ mm/év).
- 9) Mind a szintetikus, mind a valós hidrogeológiai környezet modellezésénél rámutattam arra, hogy az alsó határon alkalmazott hőtani határfeltétel típusa (állandó hőáram vagy hőmérséklet) érdemben befolyásolhatja a numerikus megoldást. Ennek elkerülése végett a „szabad” hőtani alsó határfeltétel használatát vezettem be. Az oldalsó hő- és áramlási határfeltételeket a mérési adatok és medencehidraulikai tanulmányok figyelembevételével érdemes kiválasztani, lehetőleg természetes vízválasztók kijelölésével. A szimulációk tanúsága szerint minden tanulmányozott határfeltétel esetében összetett termikus konvekció formálódott.
- 10) A numerikus szimulációból kapott hőmérséklet-gradienseket összevetettem a medenceléptékű vertikális hőmérsékletprofilokból (Mádlné Szőnyi, 2019; Mádl-Szőnyi és mtsi., 2019) számított értékekkel. Ezek alapján megállapítottam, hogy a szelvény nyugati felén (Telki) a kényszer termikus konvekció, a fő kiáramlási terület környezetében (Duna) az összetett termikus konvekció, a keleti részen (Isaszeg) pedig az advekció és a kondukció az uralkodó hőtranszportfolyamat. A hőmérsékletprofilok alapján értelmezett negatív gradiens ($-10,4$ °C/km) mivoltára az időfüggő összetett konvekció szolgáltathat magyarázatot. A numerikus

eredményeknek a hőmérséklet-mérési adatokból (Dövényi, 1994) szerkesztett szelvény menti összevetése is hasonló eredményt szolgáltatott, megerősítve a Duna környezetében értelmezhető meleg feláramlás meglétét.

- 11) A Budai-termálkarszt rendszer kitüntetett pontjaiban számított hőmérséklet és hidraulikus emelkedési magasságváltozásokból kvázi-periodikus áramlásokra következtettem, melyek karakterisztikus ideje $\tau_I \approx 40-50$ kém, illetve $\tau_{II} \approx 1-2$ kém. Ez egybevág korábbi numerikus szimulációk eredményeivel (Havril és mtsi., 2016). Rávilágítottam, hogy az időfüggő összetett termikus konvekció jelenléte magyarázatot adhat a Szemlő-hegyi barlangban feljegyzett korrelált hőmérséklet-vízszint ingadozásra (Virág, 2018), illetve a konduktív és az advektív hőtranszportfolyamatokkal nem magyarázható hőmérséklet-anomáliákra a BTK medenceléptékű felszínalatti vízáramlási rendszerében (Dövényi, 1994; Mádlné Szőnyi, 2019; Mádl-Szőnyi és mtsi., 2019).

FELHASZNÁLT IRODALOM

- An, R., Jiang, X.-W., Wang, J.-Z., Wan, L., Wang, X.-S., Li, H. (2015). *A theoretical analysis of basin-scale groundwater temperature distribution*. Hydrogeology Journal 23(2), pp. 397-404.
- Domenico, P.A., Palciauskas, V.V. (1973). *Theoretical analysis of forced convective heat transfer in regional ground-water flow*. GSA Bulletin 84(12), pp. 3803-3814.
- Dövényi, P. (1994). *Geofizikai vizsgálatok a Pannon-medence litoszféra fejlődésének megértéséhez*. Eötvös Loránd Tudományegyetem: Doktori értekezés, Budapest, p. 120.
- Fodor, L. (2013). A Budai-hegység felépítését szemléltető K-Ny irányú szelvények. In: Mindszenty A. (ed.) *Budapest: földtani értékek és az ember – városgeológiai tanulmányok*. Budapest: Eötvös Loránd University Press, pp. 20.
- 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 78., pp. 738-749.
- Hubbert, M.K. (1940). *The theory of ground-water motion*. The Journal of Geology 48(8), pp. 785-944.

- Klimchouk, A.B. (2007). *Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective*. Serial paper 1, Carlsbad: National Cave and Karst Research Institute, p. 106.
- Lai, F.C. (2000) Mixed convection in saturated porous media. In: Vafia, K. (ed.), *Handbook of Porous Media*, New York: Marcel Decker Inc., pp. 605-661.
- Lapwood, E.R. (1948). *Convection of a fluid in a porous medium*. Mathematical Proceedings of the Cambridge Physical Society 44(4), pp. 508-521.
- Lenkey, L., Dövényi, P., Horváth, F., Cloetingh S.A.P.L. (2002). *Geothermics of the Pannonian basin and its bearing on the neotectonics*. EGU Stephan Mueller Special Publication Series 3, pp. 29-40.
- Nield, D.A., Bejan, A. (2017). *Convection in porous media*. 5th ed. Springer International Publishing, p. 988.
- Mádlné Szőnyi, J. (2019). *Felszínalatti vízáramlások mintázata fedetlen és kapcsolódó fedett karbonátos víztartó rendszerekben a Budai-termálkarszt tágabb környezetének példáján*. MTA nyagdoktori értekezés, p. 150.
- Mádl-Szőnyi, J, Tóth, Á. (2015). *Basin-scale conceptual groundwater flow model for an unconfined and confined thick carbonate region*. Hydrogeology Journal 23, pp. 1359-1380.
- Mádl-Szőnyi, J., Czauner, B., Iván, V., Tóth, Á., Simon, S., Eröss, A., Bodor, P., Havril, T., Boncz, L., Sőreg, V. (2019). *Confined carbonates – Regional scale hydraulic interaction or isolation?* Marine and Petroleum Geology 107, pp. 519-612.
- Mádl-Szőnyi, J., Eröss, A., Tóth, Á., (2017). Fluid Flow Systems and Hypogene Karst of the Transdanubian Range, Hungary–With Special Emphasis on Buda Thermal Karst. In: Klimchouk A., N. Palmer A., De Waele J., S. Auler A., Audra P. (eds.), *Hypogene Karst Regions and Caves of the World*. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, pp. 267-278.
- Tóth, Á. (2018). *A Balaton-felvidék felszínalatti vizeinek hidraulikai kapcsolata a Bakonnyal és a Balatonnal*. Eötvös Loránd Tudományegyetem: Doktori értekezés, p. 169.
- Tóth, J. (2009). *Gravitational systems of groundwater flow: theory, evaluation, utilization*. United Kingdom: Cambridge University Press, p. 297.
- Tóth, J. (1962). *A theory of groundwater motion in small drainage basins in central Alberta, Canada*. Journal of Geophysical Research 67(11), pp. 4375-4387.
- Virág, M. (2018). *Hipogén és epigén karsztos folyamatok és hatásuk a budai rózsadombi barlangok fejlődéstörténetében - a Szemlő-hegyi- és a Molnár János-barlang példáján*. Eötvös Loránd Tudományegyetem: Doktori értekezés, p. 172.

Zimmermann, W.B.J. (2006). *Multiphysics modeling with finite element methods*. Singapore: World Scientific Publishing Company, p. 422

DOKTORI KUTATÁSHOZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Szijaártó, 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 34, 100783, p. 20.

Szijaártó, M., Galsa, A. (2020). *Termohalin konvekció numerikus vizsgálata porózus közegmodellben*. Magyar Geofizika 61(4), pp. 177-190.

Szijaártó, 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 572, pp. 364-379.

EGYÉB PUBLIKÁCIÓK

Szijaártó, M., Balázs, L., Drahos, D., Galsa, A. (2017). *Numerical sensitivity test of three-electrode laterolog borehole tool*. Acta Geophysica 65, pp. 701-712.

DOKTORI KUTATÁSHOZ KAPCSOLÓDÓ KONFERENCIAKÖZLEMÉNYEK

Galsa, A., Szijaártó, M., Tóth, Á., Pedretti, D., Mádl-Szőnyi, J. (2021). *Topohaline and topothermohaline convection in regional groundwater flow systems in synthetic and real hydrogeological environment*. International Symposium on Geofluids, 2021. július 7–9., Budapest, pp. 52.

Galsa, A., Szijaártó, M., Tóth, Á., Havril, T., Mádl-Szőnyi, J. (2019). *Interaction of topography-, salinity- and temperature-driven groundwater flow in synthetic numerical models and along a hydrogeological section*. 14th Workshop of the International Lithosphere Program Task Force Sedimentary Basins, 2019. október 15–19., Hévíz, pp. 35-37.

Galsa, A., Szijaártó, M., Tóth, Á., Lenkey, L., Mádl-Szőnyi, J. (2019). *Interaction of topography- and salinity-driven groundwater flow in synthetic numerical models and a real geological situation*. EGU General Assembly 2019. április 7–12., Bécs, Ausztria, EGU2019-9960.

Szijaártó, M. (2021). *Numerical modeling of soil contaminant transport using the finite element method*. 51. Ifjú Szakemberek Ankétja, Magyar Geofizikusok Egyesülete, Magyarhoni Földtani Társulat, 2021. szeptember 10–11., Zalakaros, pp. 59-60.

Szijaártó, M., Galsa, A., Tóth, Á., Mádl-Szőnyi, J. (2021). *Role of coupled fluid flow and heat transfer in synthetic and real groundwater flow systems*. International Symposium on Geofluids, 2021. július 7–9., Budapest, pp. 88.

- Szijártó, M., Galsa, A. (2020). *Interaction of temperature- and salinity-driven natural convection in homogeneous porous media*. EGU General Assembly, 2020. május 4–8., Bécs, Ausztria, EGU2020-9896.
- Szijártó, M., Galsa, A., Tóth, Á., Lenkey, L., Mádl-Szőnyi, J. (2019). *Roles of different driving forces in groundwater flow from theoretical models to the Buda Thermal Karst*. 14th Workshop of the International Lithosphere Program Task Force Sedimentary Basins, 2019. október 15–19., Hévíz, pp. 162-164.
- Szijártó, M., Galsa, A., Tóth, Á., Havril, T., Lenkey, L., Mádl-Szőnyi, J. (2019). *Vajon számolnunk kell-e a termikus felhajtóerő hatásával a Budai-termálkarstrendszerben?* Földtani és Geofizikai Vándorgyűlés, 2019. október 3–5., Balatonfüred, pp. 102-105.
- Szijártó, M., Galsa, A., Tóth, Á., Lenkey, L., Mádl-Szőnyi, J. (2019). *Numerical investigation of combined effect of different driving forces in the Buda Thermal Karst*. IAH Congress, 2019. szeptember 22–27., Malaga, Spanyolország, pp. 503.
- Szijártó, M., Galsa, A., Tóth, Á., Lenkey, L., Mádl-Szőnyi, J. (2019). *Numerical investigation of the combined effect of different driving forces in the Buda Thermal Karst, Hungary*. EGU General Assembly, 2019. április 7–12., Bécs, Ausztria, EGU2019-5830.
- Szijártó, M. (2019). *Existence of thermal convection in the Buda Thermal Karst: free or forced?* 50. Ifjú Szakemberek Ankétja, Magyar Geofizikusok Egyesülete, Magyarhoni Földtani Társulat, 2019. március 29–30., Ráckeve, pp. 16-17.
- Szijártó, M., Galsa, A., Mádl-Szőnyi, J. (2018). *Numerical investigation of the interaction of forced and free thermal convection in basin-scale groundwater flow systems*. 7th International Conference of Young Scientists and Students, 2018. október 15–18., Baku, Azerbajdzsán, pp. 14-16.
- Szijártó, M., Galsa, A., Tóth, Á., Mádl-Szőnyi, J. (2018). *Numerical investigation of the combined effect of basin-scale forced and free thermal convection*. EGU General Assembly, 2018. április 8–13., Bécs, Ausztria EGU2018-455
- Szijártó, M., Galsa, A., Tóth, Á., Mádl-Szőnyi, J. (2018). *The interaction of basin-scale topography-driven groundwater flow and free thermal convection*. 49. Ifjú Szakemberek Ankétja, Magyar Geofizikusok Egyesülete, Magyarhoni Földtani Társulat, 2018. április 6–7., Hajdúszoboszló, pp. 17-18.

