

Szemelvények az MTA Geomatematikai Albizottság tagjainak és a kapcsolódó műhelyeknek/kutatócsoportoknak tudományos eredményeiből

„A magyar tudományos kutatás kiemelkedő eredményei a rendszerváltástól napjainkig (1989-2019)”
kiadványhoz

Geomatematika

Geomatematikai alkalmazások széles köre történt meg az elmúlt évtizedekben. Klaszteranalízis alkalmazása a rétegsorok vertikális tagolásában (Molnár és Geiger 1995). Komplex geomatematikai eszköztár (klaszer-, faktor- és variogramanalízis) alkalmazásával eredményes kutatások történtek komputertomográf felvételek bevezetésére a törmelékes üledékes kőzetek kisléptékű heterogenitásának vizsgálatában (Geiger et al. 2009). Ezek az eredmények a numerikus alapú kőzet és pórus modellek kialakításában kaptak szerepet (Győry et al. 2013). Markov analízis, sztochasztikus szimulációk komoly szerepet játszottak az atomerőművi hulladékok elhelyezést kutató projektekből és a Bataapáti tároló kialakítását megelőző geotechnikai és hidrológiai kutatásokban (Geiger et al, 2008; Fedor et al. 2009, Kovács L. et al. 2012)

Kidolgozásra került a kombinált klaszter- és diszkriminanciaanalízis (CCDA) két hagyományos eljárást ötvöző technika (Kovács et al. 2014), ami a klasszifikáció során felmerülő optimális csoportszám és ahhoz tartozó csoportosítás, továbbá a csoportok között nemcsak hasonló, hanem a legnagyobb homogén csoportok meghatározását célozza. A módszert sikeresen alkalmazták felszíni- és felszín alatti víztestek térbeli mintavételi gyakoriságának optimalizálására (Kovács et al. 2015, Tanos et al. 2015) és azonos hidrogeológiai háttérű karsztvizek elkülönítésére (Kovács et al. 2017a). A Balaton példáján a térbeli mintavételezés optimalizációja történt meg a szerzők által kódolt klaszter analízisnek nevezett új eljárással (Kovács J. et al. 2012)

Elsőként bevezetésre került a dinamikus faktoranalízis a hidrogeológiában (Márkus et al. 1999), amivel lehetővé vált a vízszint- és vízkémiai idősorok viselkedését alakító háttértényezők és azok térbeli intenzitásának meghatározása a Dunántúli – középhegységben (Kovács et al. 2004, 2012.), Szigetközben (Kovács et al. 2015, Trásy et al. 2020), továbbá elkülöníthetővé vált a Balatonba a Zala-folyón érkező diffúz és pontforrás eredetű tápanyagterhelés (Hatvani et al. 2015).

A waveletspektrum-analízis úttörő alkalmazásai történtek meg felszíni- és felszín alatti víztestekben és permafroszton (Nagy et al. 2019, 2020), közülük legjelentősebbek azok az eredmények, melyben a folyók vízminőségi paramétereinek éves periodikus viselkedését felhasználva a víztestben lévő fitoplankton mennyiség becslése valósult meg (Kovács et al. 2017b), illetve a Duna-Tisza köze (Kovács et al. 2005), az Alföld talajvízszintjeinek éves periodikus viselkedésének hiányát lehetett kimutatni, mely az Alföld esetében ~8 évente jelenik meg jellemzően alacsonyabb vízszintekkel együtt (Garamhegyi et al. 2018).

A felszín alatti vízkészletek komplex védelme és fenntartható hasznosítása terén úttörő geomatematikai módszerfejlesztések történtek a Miskolci Egyetemen működő MTA-ME Műszaki Földtudományi Kutatócsoport keretében. Új eredményeket értek el hidrogeofizikai adatok korszerű feldolgozására alkalmas faktoranalízis kifejlesztésével, amelyet a leggyakoribb érték módszere szerint előállított Steiner-súlyokkal robusztifikáltak (Szabó et al. 2018). A feltáró faktoranalízist heurisztikus keresőmotorral (továbbfejlesztett Particle Swarm Optimization eljárással; PSO) kombinálva tovább javították a kiértékelés megbízhatóságát (Abordán és Szabó, 2020). A PSO eljárás folyamatjellemző paramétereit hiperparaméter-becsléssel - automatizált módon - optimalizálták. A felszínközeli telítetlen zóna petrofizikai paramétereit újszerű inverziós eljárással becsülték, mely linearizált és globális optimalizációs eljárások kombinálásával startmodell-független megoldást szolgáltat. A mátrix- és fluidumjellemzőket (ún. zónaparamétereket) a fenti inverziós eljárással becsülték, mely a direkt feladat pontosításán túl lehetővé teszi a laboratóriumi adatokkal történő validálást (Szabó 2018). Az inverzió hatékonyságát egyfelől a valós kódolású genetikus algoritmus alkalmazása, másrészt a nagymértékben túlhatározott inverz feladat megoldása biztosítja. A fenti

eljárásokkal kiterjesztették a meghatározható paraméterek körét, mely a korábbinál részletesebb információt ad a víztároló képződmények közetfizikai és áramlási viszonyairól.

Geostatisztika

A mintavételi hálózatok optimalizálása klasszikus geostatisztikai módszerekkel (pl. félvariogram, regresszió krigelés) és 'térbeli-optimalizációs algoritmus' számos területen történt meg: Szigetköz felszín alatti vízszintjei (Trásy et al. 2018), Tokaji borvidék talajai (Szatmári et al. 2019a), illetve az Adria-Pannon Régió (Kern et al. 2020, Hatvani et al. 2021), Ibéria (Hatvani et al. 2020) és Ny Antarktis (Hatvani et al. 2017) csapadék (stabil)izotóp összetétele. Emellett általánosításra került irányított mintavétel optimalizációs scenáriók beállításával a 'térbeli-optimalizációs algoritmus' alkalmazhatósága egyváltozósról többváltozósra (Szatmári et al. 2015, 2016). A kemometriában bevezetésre került a geostatisztika alapfüggvényének alkalmazása időbeli mintavételezés optimalizálására (Bodai et al. 2015). Nyugat-magyarországi karsztvízszintek vizsgálata során kölcsönhatásban lévő tér-időfüggés leírására négy dimenziós nem-szeparálható félvariogram modellosztály került bevezetésre és alkalmazásra (Dryden et al. 2005).

A sztochasztikus szimulációk és a klasszikus szedimentológia eszközeinek együttes alkalmazásával néhány pannónai korú felhalmozódási környezet 3D modellezése lehetővé tette a CH-tárolók vízszintes termelő fúrásainak megfelelő irányítását, és ezzel az olajtermelés szignifikáns fokozását (Szilágyi és Geiger, 2012). A geostatisztikai sztochasztikus szimulációk segítségével lehetőség nyílt a recens és pannónia korú övzátony testek szöveti és közetfizikai jelenségeinek összehasonlítására. A vizsgálatok a folyóvízi CH-tárolók termelésének fokozásában hoztak hasznosuló eredményeket (Geiger, 2006; Mucsi et al. 2013). A sztochasztikus szimulációk és a többváltozós valószínűségi függvények elemzési eredményeinek a szeizmikus reflexiókkal való összevetése feltárta a felszíni Rn-anomáliák kapcsolatát a felszín alatti CH-tárolókkal (Geiger et al. 2016).

Bevezetésre került a regionalizált változók elmélete a talajtakarót jellemző tulajdonságok, funkciók és szolgáltatások 2D/3D-s térbeli modellezésére és becslésére (Szatmári és Pásztor, 2016). Adaptációra, majd továbbfejlesztésre került a regresszió krigelés geostatisztikai eljárás korszerű gépi tanulási algoritmusok felhasználásával. Alkalmazásukkal térbeli becslés készült többek között 10 nehézfém térbeli eloszlására Európában (Tóth et al. 2016), a hazai talajok szénkészletének tér- és időbeli változására (Szatmári et al. 2019), illetve a talajok textúrájára (Laborczy et al. 2019). Számos gépi tanulási algoritmus és geostatisztikai eljárás alkalmazására, továbbfejlesztésére és kvantitatív összehasonlítására került sor a talajok szénkészletének térbeli bizonytalanságának modellezésének, értékelésének és kommunikációjának példáján (Szatmári és Pásztor, 2019).

A geofizikai lyukszelvények adatainak klaszteranalízisével lehetőség nyílt olyan kőzet régiók definiálására, amelyek a pannóniai víz alatti hordalékkúpok multiple-point geostatisztikai feldolgozását alapozta meg. Az eredmények az ilyen tárolók dinamikus modellezésében hasznosultak (Horváth et al. 2017). A rétegzett mintavétel és az eredmények statisztikai feldolgozása komoly szerepet játszott a városi hősziget modellek kidolgozásában (Balázs et al. 2009). A Miskolci Egyetemen integrált klaszterezési eljárást dolgoztak ki hazai miocén szénhidrogén-tároló képződményekben mért nagy mennyiségű laboratóriumi magadat együttes feldolgozására (Szabó et al. 2019). Porozitás, karbonáttartalom, szemcsesűrűség, áteresztőképesség, redukálhatatlan víztelítettség és kapillaris nyomásgörbe adatokat vontak be különböző fúrásokból és mélység intervallumokból, ahol a kőzetminták száma és a mérésfajták különbözőek voltak. A nagyméretű adatmátrix erősen heterogén és hiányos volt. A kidolgozott eljárás magában foglalja a hiányzó adatok multilineáris regresszió alapuló pótlását, főkomponens elemzést és a főkomponensek nem-hierarchikus klaszterelemzését, mellyel a kőzettani egységek és a tárolózónák elkülöníthetővé váltak. A kapillaris nyomásgörbék csoportosítására is lehetőség adódik, valamint a statisztikai eljárás big data elemzés esetén is megbízható megoldás szolgáltat.

Környezetinformatika - iskolateremtés

Az elmúlt húsz évben SZIE Gépészmérnöki Karának Matematika és Informatika Intézetében az országban elsőként kialakították a környezetinformatikai diszciplínát (Molnár és Füst 2002, Molnár et al. 2010, Molnár és Molnár 2008, 2011), és az ehhez kapcsolódó modelleket (Csábrági et al. 2017, 2019) és szoftvereket (Molnár és Molnár 2017, 2020; Molnár et al. 2010, 2014), ezen túl kidolgozásra került a matematikai rendszerelmélet és játékelmélet kapcsolata a geometematikai diszciplínával (Molnár és Szidarovszky 1981).

Válogatott irodalom

- Abordán, A. Szabó, N.P., 2020: Uncertainty reduction of interval inversion estimation results using a factor analysis approach. *GEM International Journal on Geomathematics* 11:11.
- Balázs, B ; Unger, J ; Gál, T ; Sümeghy, Z ; Geiger, J ; Szegedi, S, 2009: Simulation of the mean urban heat island using 2D surface parameters: empirical modeling, verification and extension. *METEOROLOGICAL APPLICATIONS* 16 275-287.
- Bodai, Z ; Kirckeszner, C ; Novak, M ; Nyiri, Z ; Kovacs, J ; Magyar, N ; Ivan, B ; Rikker, T ; Eke, Z, 2015: Migration of Tinuvin P and Irganox 3114 into milk and the corresponding authorised food simulant. *FOOD ADDITIVES AND CONTAMINANTS PART A - CHEMISTRY ANALYSIS CONTROL EXPOSURE AND RISK ASSESSMENT* 3, 1358-1366
- Csábrági, A ; Molnár, S ; Tanos, P ; Kovács, J ; Molnár, M ; Szabó, I ; Hatvani, IG. 2019: Estimation of dissolved oxygen in riverine ecosystems: Comparison of differently optimized neural networks. *ECOLOGICAL ENGINEERING* 138 298-309.
- Csábrági, A ; Molnár, S ; Tanos, P ; Kovács, J. 2017: Application of artificial neural networks to the forecasting of dissolved oxygen content in the Hungarian section of the river Danube. *ECOLOGICAL ENGINEERING* 100 63-72.
- Dryden, I.L., Márkus, L., Taylor, C.C. and Kovács, J., 2005: Non-stationary spatiotemporal analysis of karst water levels. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*, 54, 673-690.
- Farics, É., Farics, D., Kovács, J., Haas, J. 2017: Interpretation of sedimentological processes of coarse-grained deposits applying a novel combined cluster and discriminant analysis, *OPEN GEOSCIENCES* 9:(1) 525-538.
- Fedor, F ; Feurer, V ; Geiger, J ; Menyhei, L ; Szikszai, Zs, 2009: Management of Mission-Critical Information in Bataapáti LLW/ILW Project, S-Hungary. In: OECD, NEA (szerk.) *Approaches and Challenges for the Use of Geological Information in the Safety Case for Deep Disposal of Radioactive Waste Paris, Franciaország : OECD Nuclear Energy Agency (NEA)*, 198-204.
- Garamhegyi, T ; Kovács, J ; Pongrácz, R ; Tanos, P ; Hatvani, I.G. 2018: Investigation of the climate-driven periodicity of shallow groundwater level fluctuations in a Central-Eastern European agricultural region, *HYDROGEOLOGY JOURNAL* 26 : 3 677-688.
- Geiger J., 2006: Szekvenciális sztochasztikus szimuláció az övzátony testek kisléptékű heterogenitásának modellezésében. *FÖLDTANI KÖZLÖNY* 136 : 4 527-546..
- Geiger, J ; Hunyadfalvi, Z ; Bogner, P , 2009: Analysis of small-scale heterogeneity in clastic rocks by using computerized X-ray tomography (CT). *ENGINEERING GEOLOGY* 103 112-118.
- Geiger, J. ; Jakab, N ; Csökmei, B ; Horváth, Zs.; Gellért, B , 2016: Statistical and geostatistical study of Rn and hydrocarbon components of a soil gas monitoring system: an application to surface hydrocarbon exploration. *GEOLOGIA CROATICA* 69 : 2 255-268.

- Geiger, J.; Benedek, K.; Mező, Gy.; Bóth, Z. 2008: Geomathematical evaluation of a conceptual hydrological model in case of Bátaapáti. In: XII. Congress of Hungarian Geomathematics and the First Congress of Croatian and Hungarian Geomathematics. Szeged, Magyarország : MGE, MFT, (2008) Paper: 11
- Győri, L.; Kristóf, G.; Balogh, M; Geiger, J.; Horváth, J, 2013: I-core numerical rock and pore model. In: Geiger, J; Pál-Molnár, E; Malvić, T (szerk.) THEORIES AND APPLICATIONS IN GEOMATHEMATICS: Selected studies of the 2012 Croatian-Hungarian Geomathematical Convent, Opatija 49-70.
- Hatvani I.G., Szatmári G, Kern Z., Erdélyi D, Vreča P, Kanduč T, Czuppon Gy, Lojen L, Kohán B. 2021: Geostatistical evaluation of the design of the precipitation stable isotope monitoring network for Slovenia and Hungary. *Environment International* 146:106263.
- Hatvani, I.G ; Erdélyi, D ; Vreča, P; Kern, Z. 2020: Analysis of the Spatial Distribution of Stable Oxygen and Hydrogen Isotopes in Precipitation Across the Iberian Peninsula. *WATER* 12 : 2 Paper: 481 , 17 p.
- Hatvani, I.G ; Leuenberger, M ; Kohán, B ; Kern, Z. 2017: Geostatistical analysis and isoscape of ice core derived water stable isotope records in an Antarctic macro region. *POLAR SCIENCE* 13 23-32.
- Hatvani, I.G., Kovács, J., Márkus, L., Clement, A., Hoffmann, R., Korponai, J. 2015: Assessing the relationship of background factors governing the water quality of an agricultural watershed with changes in catchment property (W-Hungary), *JOURNAL OF HYDROLOGY* 521: 460-469.
- Horváth, J.; Borka, Sz.; Geiger, J., 2017: Cluster defined sedimentary elements of deep-water clastic depositional systems and their 3D spatial visualization using parameterization: a case study from the Pannonian-basin. *GEOLOGIA CROATICA* 70 : 2 73-78.
- Kern, Z., Erdélyi, D., Vreča, P., Krajcar Bronić, I., Fórizs, I., Kanduč, T., Štrok, M., Palcsu, L., Süveges, M., Czuppon, G., Kohán, B., and Gábor Hatvani, I., 2020: Isoscape of amount-weighted annual mean precipitation tritium (^3H) activity from 1976 to 2017 for the Adriatic–Pannonian region – AP3H_v1 database, *Earth Syst. Sci. Data*, 12, 2061–2073.
- Kovács J, Hatvani I.G, Korponai J, Kovácsné Székely, I. 2010: Morlet wavelet and autocorrelation analysis of long-term data series of the Kis-Balaton water protection system (KBWPS), *ECOLOGICAL ENGINEERING* 36:(10) 1469-1477.
- Kovács, J., Erőss, A. 2017a.: Statistically optimal grouping using combined cluster and discriminant analysis (CCDA) on a geochemical database of thermal karst waters in Budapest, *APPLIED GEOCHEMISTRY* 84: 76-86.
- Kovács, J., Kovács, S., Hatvani, I.G., Magyar, N., Tanos, P., Korponai, J., Blaschke, A.P. 2015: Spatial Optimization of Monitoring Networks on the Examples of a River, a Lake-Wetland System and a Sub-Surface Water System, *WATER RESOURCES MANAGEMENT* 29:(14) 5275-5294.
- Kovács, J., Kovács, S., Magyar, N., Tanos, P., Hatvani, I. G., Anda, A. 2014: Classification into homogeneous groups using combined cluster and discriminant analysis, *ENVIRONMENTAL MODELLING and SOFTWARE* 57: 52-59.
- Kovács, J., Márkus, L., Halupka, G. 2004: Dynamic Factor Analysis for Quantifying Aquifer Vulnerability, *ACTA GEOLOGICA HUNGARICA: A QUARTERLY OF THE HUNGARIAN ACADEMY OF SCIENCES* 47:(1) 1-17.
- Kovács, J., Márkus, L., Szalai, J., Barcza, M., Bernáth, Gy., Kovácsné Székely, I., Halupka, G.: Exploring Potentially Hazardous Areas for Water Quality Using Dynamic Factor Analysis, In: Kostas Voudouris , Dimitra Voutsas (szerk.) *Water Quality Monitoring and Assessment*. Rijeka: InTech Open Access Publisher, 2012. 228-256. (ISBN:978-953-51-0486-5)
- Kovács, J., Márkus, L., Szalai, J., Kovácsné Székely, I. 2015: Detection and evaluation of changes induced by the diversion of River Danube in the territorial appearance of latent effects governing shallow-groundwater fluctuations, *JOURNAL OF HYDROLOGY* 520: 314-325.
- Kovács, J., Nagy, M., Czauner, B., Kovácsné Székely, I., Kériné Borsodi, A., Hatvani, I.G. (2012): Delimiting sub-areas in water bodies using multivariate data analysis on the example of Lake Balaton (W Hungary) *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT* 110: pp. 151-158.

- Kovács, J., Szabó, P., Szalai, J. (2004): Talajvízállás adatok idősoros vizsgálatai a Duna – Tisza közén, VÍZÜGYI KÖZLEMÉNYEK 86:(3-4) pp. 607-624.
- Kovács, J., Tanos, P., Várbiro, G., Anda, A., Molnár, S., Hatvani, I.G. 2017b: The role of annual periodic behavior of water quality parameters in primary production: chlorophyll-a estimation, ECOLOGICAL INDICATORS 78: 311-321.
- Kovács, L ; Mészáros, E ; Deák, F ; Somodi, G ; Máté, K ; Jakab, A ; Vásárhelyi, B ; Geiger, J ; Dankó, Gy ; Korpai, F et al, 2012: A Geotechnikai Értelmező Jelentés (GÉJ) felülvizsgálata és kiterjesztése [Revision and extension of the Geotechnical Interpretation Report] (2012). RHK Kft. Irattára, Paks, RHK-K-032/12
- Laborci, A., Szatmári, G., Kaposi, A.D., Pásztor, L. 2019: Comparison of soil texture maps synthesized from standard depth layers with directly compiled products. GEODERMA 352: 360-372.
- Márkus, L., Berke, O., Kovács, J., Urfer, W. 1999: Spatial Prediction of the Intensity of Latent Effects Governing Hydrogeological Phenomena, ENVIRONMETRICS 10:(5) 633-654.
- Molnár, B Geiger J., 1995: Possibility for subdividing apparently homogeneous depositional sequences by combined use of sedimentological, paleontological and mathematical methods.GEOJOURNAL 36 : 2-3 169-177
- Molnár, S ; Füst, A ; Szidarovszky, F ; Molnár, M 2010: Környezetinformatikai modellek. Gödöllő: Szent István Egyetem, 191. p.,
- Molnár, S ; Füst, A 2002: Környezetinformatikai modellek I.: (kézirat) 1-103. , 103 p. Szent István Egyetem, Gödöllő,
- Molnár, S ; Molnár, M ; Lágymányosi, A 2008: Környezetinformatikai modellek elméleti kérdései és hazai alkalmazásuk az energetikai kibocsátásokban, In: Pethő, Attila; Herdon, Miklós (szerk.) Informatika a felsőoktatásban 2008 : Előadás-összefoglalók és teljes előadást tartalmazó CD-melléklet Debrecen, Magyarország : Debreceni Egyetem Informatikai Kar, (2008) 214-225.
- Molnár, S ; Szidarovszky, F ; Molnár, M. ; Emery, A ; Coppola, Jr 2010: Application of Geostatistics in a Numerical Ground Flow Model using a Neural Network Mechanical Engineering Letters: R and D: Research and Development 4 8-21. , 14 p.
- Molnár, S; Füst, A.; Molnár, M., Czenky, M.; Moczár, K. 2014 (szerk.). Környezeti folyamatok modellezése, Gödöllő, Magyarország : Szent István Egyetemi Kiadó , 263 p. ISBN: 9789632694238 OSZK
- Molnár, S; Molnár, M 2011: A környezetinformatika szerepe a mérnökképzésben (Role of Environmental Informatics in Engineering Studies) In: Cser, L; Herdon, M (szerk.) Informatika a felsőoktatásban 2011 konferencia Debrecen, Magyarország : Debreceni Egyetem Informatikai Kar, 1104-110.
- Molnár, S; Molnár, M 2017: Approximation of LPV-Systems with Constant-Parametric Switching Systems In: Akio, Matsumoto (szerk.) Optimization and Dynamics with Their Applications : Essays in Honor of Ferenc Szidarovszky Singapore, Szingapúr : Springer Verlag, 127-154.
- Molnár, S; Molnár, M 2020: Properties of Linear Time-Dependent Systems. In: Bisch, Gian Italo; Szidarovszky, Ferenc (szerk.) Games and Dynamics in Economics. Springer Singapore, 271-290.
- Molnár, S; Szidarovszky, F 1981: Egy játékelméleti modell a bányászat és a környezetvédelem kölcsönhatásának vizsgálatára, Bányászati és Kohászati Lapok-Bányászat 114 : Klnsz. 2 97-101
- Mucs, L ; Geiger, J ; Malvic, T., 2013: The Advantages of Using Sequential Stochastic Simulations when Mapping Small-Scale Heterogeneities of the Groundwater Level. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL GEOGRAPHY 6 : 3-4. 39-47.
- Nagy, B ; Ignéczi, Á ; Kovács, J ; Szalai, Z ; Mari, L. 2019: Shallow ground temperature measurements on the highest volcano on Earth, Mt. Ojos del Salado, Arid Andes, Chile, PERMAFROST AND PERIGLACIAL PROCESSES 30 : 1 3-18.
- Nagy, B ; Kovács, J ; Ignéczi, Á ; Beleznai, Sz ; Mari, L ; Kereszturi, Á ; Szalai, Z. 2020: The thermal behavior of ice-bearing ground : the highest cold, dry desert on Earth as an analog for conditions on Mars, at Ojos del Salado, Puna de Atacama-Altiplano Region, ASTROBIOLOGY 20 : 6 701-722.

- Szabó, 2018. A genetic meta-algorithm-assisted inversion approach: hydrogeological study for the determination of volumetric rock properties and matrix and fluid parameters in unsaturated formations. *Hydrogeology Journal* 26, 1935–1946.
- Szabó, N. P., Balogh, G.P., Stickel, J. 2018. Most frequent value-based factor analysis of direct-push logging data. *Geophysical prospecting* 66(3), 530-548.
- Szabó, N.P. Nehéz, K., Hornyák, O., Piller, I., Deák, Cs., Hanzelik, P.P., Kutasi, Cs., Ott., 2019. Cluster analysis of core measurements using heterogeneous data sources: An application to complex Miocene reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 178 (2019) 575–585 (D1).
- Szatmári, G., Barta, K., Pásztor, L. 2015: An application of a spatial simulated annealing sampling optimization algorithm to support digital soil mapping. *HUNGARIAN GEOGRAPHICAL BULLETIN* 64 : 35-48.
- Szatmári, G., Barta, K., Pásztor, L. 2016: Multivariate Sampling Design Optimization for Digital Soil Mapping. In: Zhang, G.L., Brus, D., Liu, F., Song, X.D., Lagacherie, P. (szerk.) *Digital Soil Mapping Across Paradigms, Scales and Boundaries*. Springer Environmental Science and Engineering. Springer, Singapore. 77-87.
- Szatmári, G., László, P., Takács, K., Szabó, J., Bakacsi, Zs., Koós, S., Pásztor, L. 2019a: Optimization of second-phase sampling for multivariate soil mapping purposes: Case study from a wine region, Hungary. *GEODERMA* 352 : 373-384.
- Szatmári, G., Pásztor, L. 2016: Geostatistika a talajtérképezésben (Szemle). *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN* 65: 95-114.
- Szatmári, G., Pásztor, L., 2019: Comparison of various uncertainty modelling approaches based on geostatistics and machine learning algorithms. *GEODERMA* 337: 1329-1340.
- Szatmári, G., Pirkó, B., Koós, S., Laborczi, A., Bakacsi, Zs., Szabó, J., Pásztor, L. 2019: Spatio-temporal assessment of topsoil organic carbon stock change in Hungary. *SOIL AND TILLAGE RESEARCH* 195: Paper: 104410.
- Szilágyi, S.S ; Geiger, J., 2012: Sedimentological study of the Szőreg-1 reservoir (Algyő Field, Hungary): a combination of traditional and 3D sedimentological approaches. *GEOLOGIA CROATICA* 65 : 1 77-90.
- Tanos, P., Kovács, J., Kovács, S., Anda, A., Hatvani I.G. 2015: Optimization of the monitoring network on the River Tisza (Central Europe, Hungary) using combined cluster and discriminant analysis, taking seasonality into account, *ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT* 187:(9) Paper 575.
- Tóth, G., Hermann, T., Szatmári, G., Pásztor, L. 2016: Maps of heavy metals in the soils of the European Union and proposed priority areas for detailed assessment. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT* 565: 1054-1062.
- Trásy, B ; Garamhegyi, T ; Laczkó-Dobos, P ; Kovács, J ; Hatvani, I.G. 2018. Geostatistical screening of flood events in the groundwater levels of the diverted inner delta of the Danube River: implications for river bed clogging. *OPEN GEOSCIENCES* 10 : 1 64-78.
- Trásy, B; Magyar, N, Havril, T; Kovács, J; Garamhegyi, T. 2020: The Role of Environmental Background Processes in Determining Groundwater Level Variability—An Investigation of a Record Flood Event Using Dynamic Factor Analysis, *WATER* 12 : 9 Paper: 2336