

MTA DOKTORI ÉRTEKEZÉS
TÉZISEK

ÚJ TALAJFIZIKAI MÉRŐ- ÉS
BECSLŐMÓDSZEREK KIDOLGOZÁSA
VIZES ÉS NEM-VIZES FOLYADÉKFÁZIST
TARTALMAZÓ TALAJOKRA

MAKÓ ANDRÁS

MTA ATK TAKI

Budapest
2017.

1. Bevezetés

A mezőgazdasági *vízkezeltek* tervezésének és megóvásának szempontjából egyre növekvő jelentőségűvé válik a *talaj hidrofizikai tulajdonságainak* ismerete, az ezzel kapcsolatos mérési vagy becslő módszerek fejlesztése. Hasonlóan fontos feladat a *vízminőség* romlás megakadályozása. A vízminőség romlás egyik lehetséges oka a talajok és talajvizek szerves folyadékokkal történő elszennyeződése.

A környezetbe kerülő szerves folyadékok közül – felhasznált mennyiségüknél fogva – a különféle kőolajszármazékokkal történő elszennyeződések kockázata a legnagyobb. Mivel e szennyező anyagok terjedése általában a felszín alatt játszódik le, mindig is kihívást jelentett a kutatóknak és mérnököknek, hogy felmérjék, modellezzék és előre jelezzék ezeket a felszín alatti történéseket. A kármentesítési és/vagy monitoring stratégiák kidolgozásához segítséget nyújtó különféle terjedést és transzportot becslő szimulációs számítógépes modellekben – talajfizikai input adatként – általában a szerves folyadék-visszatartó képesség (kapillaris nyomás–folyadékeltelítettség) görbének, és a talaj (telítettségi) szerves folyadékvezető képesség értékének ismeretére van szükség, mely talajtulajdonságok drágán és nehezen mérhetőek. A mérés helyett különféle tapasztalati átlagértékeket alkalmaznak, vagy olyan leegyszerűsített becslési módszereket használnak, melyek a talajok vízre meghatározott (mért vagy becsült) hidrofizikai paramétereit – a folyadékok eltérő fizikai, fizikai-kémiai sajátosságait figyelembe véve – „átskálazzák” a vizsgált szerves folyadéokra. A tapasztalatok azonban azt mutatják, hogy ezek a becslési módszerek meglehetősen pontatlanok; kiváltásukra pontosabb alternatív becslési módszereket kell keresni.

A szerves folyadékokkal történő talajfizikai vizsgálatoknak – a környezetvédelmi vonatkozásokon túl – egyéb gyakorlati jelentősége is lehet. Mivel – a vízzel ellentétben – ezekre a folyadékokra nem (vagy csak mérsékelten) jellemző a szétiszapoló, dezaggregáló hatás a

talajminták folyadéktelítése és a mérések során, sikerrel felhasználhatóak a talajok szerkezetét (szerkezet-stabilitását vagy a talajminták eredeti pórusviszonyait) jellemző vizsgálatokban is.

Az 1980-as évek végén a Pannon Egyetem Georgikon Karán, a Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszékén kezdtük el módszertani jellegű talajfizikai vizsgálatainkat vízzel és különféle szerves folyadékokkal, majd folytattuk a méréseket az MTA ATK TAKI Talajfizikai és Vízgazdálkodási Osztályán. Akadémiai doktori értekezésemben az 1997 utáni kutatás néhány eredményét kívántam bemutatni.

A kutatómunka során arra kerestem választ, hogy:

(1.) a talajok hidrofizikai paramétereinek becslése során leggyakrabban figyelembe vett talajtulajdonság, a talajok **mechanikai összetétele** mennyire függ az alkalmazott mérési módszertantól, illetve az egyes mérési módszerek eredményei milyen módon válhatnak összehasonlíthatóvá és milyen módon valósítható meg a különböző módszerekkel mért adatforrásokból származó mechanikai összetétel adatok harmonizációja;

(2.) a talajok **szerkezetessége** (mint a hidrofizikai paramétereiket egyik leginkább befolyásoló talajtulajdonság) milyen új mérési módszerekkel jellemezhető, illetve a talajszerkezet minősége milyen kapcsolatban áll a talajok víztartó képességével;

(3.) megoldható-e a talajok **szerves folyadék-visszatartó és folyadékvezető képességének** rutin szintű laboratóriumi **mérése** egy nagyobb elemszámú „szerves folyadék fázisú” talajfizikai adatbázis létrehozása céljából;

(4.) megbízhatóbb módon becsülhető-e **a talajok szerves folyadék-visszatartó és folyadékvezető képessége** új, mért adatokra épülő adatbázisokon kifejlesztett pedotranszfer függvény jellegű becslő eljárásokkal, mint a hagyományos ún. „átskálázási” technikákkal?

2. A kutatómunka összefoglalása és a tézisek ismertetése

A vizes és nem-vizes folyadékfázist tartalmazó talajokra vonatkozó új talajfizikai mérő- és becslőmódszerek kidolgozásával kapcsolatos új tudományos eredményeket az alábbiak szerint csoportosítottam:

Módszertani összehasonlító vizsgálatssorozatot végeztünk 69 talajszelvény 339 különböző genetikai szintjeiből származó talajminta soron a szítás-pipettás mechanikai összetétel (SPM MÖ) vizsgálatok két eljárásával: a nemzetközi ISO/DIS szabvány ((ISO/DIS 11277:1994) és a hazai MSZ szabvány (MSZ-08.0205-78) szerinti vizsgálati módszerrel. Azt tapasztaltuk, hogy a két módszertannal kapott eredmények eltérnek egymástól: az ISO/DIS módszerrel mért agyagtartalom igazolhatóan nőtt, míg a portartalom kisebb mértékben, a homoktartalom nagyobb mértékben csökkent a MSZ módszertannal mért értékekhez képest, mely valószínűsíthetően az MSZ módszertan elégtelen dezaggregáló hatásával magyarázható. Egyéb talajfizikai vizsgálatok eredményeivel (higroszkópos nedvesség, Arany-féle kötöttségi szám) történő összehasonlító vizsgálataink igazolták az ISO/DIS módszertan nagyobb pontosságát. A mérési adatokra épülő adatbázison megvizsgáltuk egy statisztikai alapú becslő módszer (pedotranszfer függvény) kidolgozásának lehetőségét, mellyel az ISO/DIS frakciók (ISO/DIS mérési lehetőségek vagy adatok hiányában) az MSZ mérési adatokból megbízható pontossággal számíthatók.

- 1. Becslő módszert javasoltunk, melynek segítségével az MSZ módszertan szerinti MÖ vizsgálati eredmények és a talajok egyszerűen mérhető alapvizsgálati eredményei alapján megfelelő pontossággal számítható a nemzetközi (ISO/DIS) módszer szerinti mechanikai összetétel. (MAKÓ et al., 2017a.)**

A LUCAS (Land Use/Land Cover Area Frame Survey) talajadatbázisból (TÓTH et al., 2013) geostatisztikai módszerekkel kiválasztott 400 db reprezentatív európai talajmintán összehasonlító mechanikai összetétel (MÖ) vizsgálatokat végeztünk a nemzetközi ISO szabvány (ISO 11277:2009(E)) szerinti hagyományos szítás-pipettás (SPM) eljárással és lézerdiffrakciós méréstechnikával (LDM) (Malvern Mastersizer 2000). Az ISO SPM módszerrel a vizsgálatok előtt elroncsoljuk a talaj szerves anyag tartalmát; az LDM módszer esetében a vizsgálatokat elvégeztük szerves anyag elroncsolása nélkül (OMNR) és szerves anyag elroncsolásával (OMR) is. Az eredményeket értékelve megállapítható, hogy az LDM MÖ általában alulbecsli az agyagtartalmat és felülbecsli a portartalmat az SPM MÖ mérések eredményeihez viszonyítva. A mérési eredmények összehasonlíthatósága érdekében – statisztikai módszerekkel – vizsgáltuk az LDM szemcsefrakciók mérethatár változtatásának hatásait, illetve az LDM – ISO SPM adatkonverzió lehetőségeit.

- 2. A lézeres szemcseanalizátorral végzett mechanikai összetétel vizsgálatok (LDM MÖ) eredményeire és a talajok egyszerűen mérhető alapvizsgálati eredményeire épülő becslési eljárást dolgoztunk ki a lézerdiffrakciós szemcseméret eloszlás vizsgálati módszertanának talajfizikai adaptációja céljából. A becslés első lépéseként LDM frakció mérethatár változtatást javasoltunk: OMNR mintáknál az agyag/por és a por/homok mérethatár 6,6 és 60,3 μm ; míg az OMR minták esetében ezek a mérethatárok 5,8 és 69,2 μm . Az LDM és a nemzetközi szabvány (ISO) szerinti hagyományos szítás-pipettás (SPM) szerinti MÖ vizsgálati eredmények közötti konverzióra javasolt – európai léptékű – pedotranszfer függvény „készlet”**

szükségtelemné teszi az LDM mérések előtti szerves anyag roncsolást. (MAKÓ et al., 2017b; 2017c)

A Tokaji borvidéken feltárt 53 reprezentatív fűrt talajszelvény 155 db talajmintáján összehasonlító mechanikai összetétel (MÖ) vizsgálatokat végeztünk a hazai MSZ szabvány (MSZ-08.0205-78) szerinti hagyományos szítás-pipettás (SPM) eljárással és lézerdiffrakciós mérés technikával (LDM) (Malvern Mastersizer 2000). A vizsgálati eredmények alapján létrehozott regionális talajfizikai adatbázison – az európai adatbázison elvégzett statisztikai módszerek szerint, azokat kissé továbbfejlesztve – vizsgáltuk az LDM szemcsefrakciók mérethatár változtatásának hatásait, illetve az LDM – MSZ SPM adatkonverzió lehetőségeit.

3. Igazoltuk a lézeres szemcseanalizátorral végzett mechanikai összetétel mérések (LDM MÖ) és a hazai szabvány (MSZ) szerinti hagyományos szítás-pipettás mechanikai összetétel mérések (SPM MÖ) közötti – pedotranszfer függvény alapú – konverzió lehetőségét a vizsgált regionális hazai adatbázison. A becslési módszer során javasolt LDM szemcsefrakció mérethatárok: 7,0 μm (agyag/por) és 50,0 μm (por/homok). (MAKÓ et al., 2016; BARNA et al., 2016a; 2016b)

Módszertani előkísérleteket végeztünk 12 db kiválasztott talaj, üledék és ásványi őrlemény mintával (továbbiakban: talajmintával) vizes és nem-vizes (szerves modellfolyadék: Dunasol 180/220) rendszerekben a minták szerkezet-stabilitásának jellemzésére. A talajok makroaggregátum-stabilitás méréséhez egy megbízható előnedvesítési módszert kerestünk, majd összehasonlítottuk a desztillált vízben és szerves modellfolyadékban mérhető makroaggregátum-stabilitási mutatókat. A lézerdiffrakciós mechanikai összetétel (LDM MÖ) mérésekre adaptáltuk a hagyományosan szítás-pipettás (SPM MÖ) vizsgálatokkal végzett mikroaggregátum-stabilitási (agyag diszperzió alapuló) módszertant. A mérést néhány talajmintán ez esetben is

elvégeztük a szerves modellfolyadékkal. Lézeres szemcseanalizátorral meghatároztuk továbbá a talajok vizes közegben történő szétiszapolódásának időbeni változását (FIELD & MINASNY, 1999; MASON et al., 2011; 2016).

- 4. A talajok szerkezet-stabilitásának jellemzésére vizes és szerves folyadékot tartalmazó rendszerekben egyaránt sikerrel alkalmaztuk a lézerdiffrakciós mérés technikát, bevezettünk új szerkezet-stabilitási mutatókat. Az apoláros szerves modellfolyadékkal szemben a talajok lényegesen nagyobb aggregátum-stabilitást mutattak, mint a poláros (vizes) közegben. Ennek módszertani jelentősége a mechanikai hatásokra bekövetkező dezaggregációs folyamatok különválasztása a diszperziós hatásoktól. Vizsgálatainkkal igazoltuk a különböző minőségű folyadékfázisokat tartalmazó talajokban lejátszódó, eltérő – a talajok dezaggregációjával kapcsolatos – folyadék fázis/szilárd fázis kölcsönhatásokat. (BARNA et al., 2017; HERNÁDI et al., 2017c; MAKÓ et al., 2017d)**
- 5. A lézeres szemcseanalizátoros mérés technikán alapuló új típusú, „dinamikus” aggregátum-stabilitási mérésekkel meghatároztuk a talajok vizes közegben történő szétiszapolódásának sebességét, a dezaggregációs folyamatok k_1 (aggregátumok szétesése) és a k_2 (diszpergálódás) sebességi állandóit. (MAKÓ et al., 2017d)**

A hazai talajfizikai kutatások háttér alapadat igényeinek kielégítésére, a megbízhatóbb talajfizikai becsülő módszerek kifejlesztésének segítése céljából a 2000-es évek elején megkezdtük a Magyarországon elérhető talajfizikai és vízgazdálkodási adatok összegyűjtését és összehangolását. Az így összegyűjtött adatállomány magába foglalja a hazánkban már korábban összeállított kisebb talajfizikai adatbázisokat: az MTA ATK TAKI adatbázist, az ebből tovább bővített HUNSODA (Unsaturated Soil Hydraulic Database of

Hungary) adatbázist (NEMES, 2002) és a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM) (VÁRALLYAY et al., 2009a) talajszelvényfeltárási adatait. Az összegyűjtött adatok maradék 2/3-a a megyei MGSZH Növény- és Talajvédelmi Igazgatóságok különböző célú (öntözési, meliorációs, hígtrágya elhelyezési stb.) talajtani szakvéleményeiből származnak.

6. Létrehoztuk a Magyarországi Részletes Talajfizikai és Hidrológiai adatbázist (MARTHA), mely jelenleg 3937 db talajszelvény 15005 db talajrétegének talajfizikai, talajkémiai és vízgazdálkodási adatait tartalmazza. Az adatbázis adattartalmát tekintve Európa egyik legrészletesebb országos reprezentativitású talajfizikai adatbázisa. (MAKÓ et al., 2010)

A talajszerkezet és a víztartó képesség kapcsolatának vizsgálatához a MARTHA adatbázis 830 db talajszelvényének 2178 genetikai szintjéből származó talajminta mérési eredményeit használtuk fel. Azokat a talajszelvényeket választottuk ki, melyekről földhasználati és – a helyszíni talajfelvételezési jegyzőkönyveken alapuló – morfológiai talajszerkezeti információkkal is rendelkezünk. Az adatbázis adataira illesztett víztartó képesség görbékből (pF-görbékből) normalizált pórusméret-eloszlás görbéket származtattunk (REYNOLDS et al., 2009; GHIBERTO et al., 2015), majd vizsgáltuk a különböző talajcsoportok (fizikai féleség kategóriák, morfológiai és becsült aggregátumstabilitási kategóriák, humusztartalom és földhasználati csoportok) pórusméret-eloszlását.

7. Megállapítottuk, hogy a víztartó képesség görbékből származtatott normalizált pórusméret-eloszlás görbék a szerkezeti tulajdonságoktól függően változtak meg. Tapasztalataink segíthetik a talajszerkezeti információkat is figyelembe vevő, megbízhatóbb víztartó képességet becsülő

pedotranszfer függvények kidolgozását. (RAJKAI et al., 2015; BARNA et al., 2016c; 2016d)

Mivel a különböző minőségű talajok szerves folyadékokra vonatkozó folyadék-visszatartási és folyadékvezető képességéről nagyon kevés laboratóriumi vizsgálati adat áll rendelkezésre a nemzetközi és hazai szakirodalomban is (a modell vizsgálatok túlnyomó része homok fizikai féleségű talajokon történt), célul tűztük ki egy „szerves folyadék – talaj” talajfizikai adatbázis létrehozását. Ennek első lépéseként viszont kerestünk egy olyan egyszerűen kivitelezhető, rutin mérési módszertant, mellyel nagy mintaszámban mérhető a különféle talajokból származó minták szerves folyadék-visszatartó és folyadékvezető képessége. A szerves folyadék-visszatartó képesség mérésekre adaptáltuk és továbbfejlesztettük a „porózus kerámialapos extraktoros” vagy „Richards-féle” módszert (KLUTE, 1986). A szerves folyadékvezető képesség mérésekre átalakítottuk az ún. „csökkenő folyadéknyomásos” laboratóriumi módszert (KLUTE & DIRKSEN, 1986) olajálló mérőeszközt készítettünk és műgyanta bevonattal láttuk el az eredeti szerkezetű talajmintákat.

8. A talajok szerves folyadék-visszatartó és folyadékvezető képességének mérésére új rutinvizsgálati módszereket dolgoztunk ki. Továbbfejlesztett mérőeszközünkkel lehetőségünk nyílt a talajok szerves folyadék-visszatartó képességének hőmérséklet függését is tanulmányozni („extrakciós izotermák”). (MAKÓ, 2002; 2005; ELEK & MAKÓ, 2006; MAKÓ & ELEK, 2006; HERNÁDI et al., 2012a; MAKÓ & HERNÁDI, 2012; 2016)

Az új mérési módszerek segítségével a különféle kutatási munkák során begyűjtött nagyszámú talajmintán – az alapvizsgálati talajjellemzőkön, és a vizes fázisú hidrofizikai jellemzőkön túl – meghatároztuk a szerves folyadék-visszatartó képesség görbék pontjait

és a (telítettségi) szerves folyadékvezető képesség értékeit. A vizsgálatokhoz szerves modellfolyadékként a Dunasol 180/220 fantázianevű hazai, aromás komponensektől mentesített lepárlási terméket (lakkbenzint) használtuk. A mérési adatok alapján megkezdtuk egy „szerves folyadék – talaj” talajfizikai adatbázis kialakítását. Az új adatbázis a vizsgált talajok heterogenitása tekintetében egyedülálló lehetőséget kínál új becslési módszerek kidolgozására. Statisztikai módszerekkel vizsgáltuk a hagyományos „átskálázásos” szerves folyadék-visszatartó és folyadékvezető képesség becslési módszerek (LEVERETT, 1941; KOZENY, 1927; CARMAN, 1956) leváltásának lehetőségét pedotranszfer függvény alapú becslési módszerekkel. (Jelen dolgozatban – terjedelmi okokból – csak az első vizsgálati eredményeinket mutattam be.)

9. A talajok szerves folyadék-visszatartó és folyadékvezető képességének becslésére vonatkozóan megállapítottuk, hogy mind a szerves folyadék-visszatartó, mind pedig a szerves folyadékvezető képesség becslése esetében javasolható az egyszerűen mérhető talajtulajdonságokat figyelembevevő, nagyobb pontosságú és megbízhatóbb eredményeket adó pedotranszfer függvények használata a hagyományos „átskálázási” módszerek helyett. (MAKÓ, 2002; 2005; MAKÓ & ELEK, 2006; MAKÓ et al., 2009; HERNÁDI et al., 2012b; MAKÓ et al., 2012; BARNA et al., 2013; HERNÁDI et al., 2013; HERNÁDI & MAKÓ, 2014A; 2014b; 2014c; MAKÓ & HERNÁDI, 2016; HERNÁDI et al., 2017a; 2017b)

A kármentesítési eljárások során gyakori igény, hogy – eredeti szerkezetű talajminták begyűjtése és laboratóriumi vizsgálata helyett – helyszíni mérési módszerekkel jellemezzék a talajok hidrofizikai tulajdonságait, így pl. a telítettségi vízvezető vagy szerves folyadékvezető képességet. Ugyanakkor a szerves folyadékvezető képesség helyszíni meghatározása módszertanilag és környezetvédelmi

szempontból is nehezen kivitelezhető. Új módszertani megoldásnak kínálkozott, hogy a folyadék fázis/szilárd fázis kölcsönhatások szempontjából egymáshoz hasonlóan viselkedő szerves folyadék és levegő fázisra (a talajok telítésekor mindegyik fázis megközelítően változatlanul hagyja a talajok pórusrendszerét) végezzük el a vezetőképesség értékek „átskálázását”. Amennyiben igazoljuk ennek a becslési módszernek a használhatóságát, úgy a helyszíni légáteresztő képesség mérések adataiból következtethetünk az apoláros szerves szennyezők beszivárgási sebességére. Első lépésként a légáteresztő képesség adatokból történő szerves folyadékvezető képesség becslés alkalmazhatóságát laboratóriumi körülmények közt, mesterséges talajoszlopokon vizsgáltuk, melyeket az OMTK (Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek) kísérleti helyszínein feltárt jellemző talajszelvények (VÁRALLYAY et al., 2009b) eltérő genetikai szintjeiből származó talajmintákból készítettünk. A légáteresztő képesség méréseket UGT (Umwelt-Geräte-Technik GmbH Müncheberg) által kifejlesztett PL-300 típusú készülékkel végeztük, a homogén légáramlást biztosító mérőcella alkalmazásával.

10. A szerves folyadékvezető képesség becslésére – mesterséges talajoszlopokon, laboratóriumi körülmények közt elvégzett mérések alapján – a pedotranszfer függvényeknél is megbízhatóbb módszernek mutatkozott a talajok légáteresztő képességének mérésén alapuló becslő módszer. A mérő és becslő módszer szabadföldi vizsgálatokra történő adaptáció után része lehet a terepi mérési módszertani eszköztárnak. (MAKÓ et al., 2009; 2012)

3. Irodalomjegyzék

- CARMAN, P.C., 1956. Flow of gases through porous media. Academic Press. New York.
- FIELD, D.J. & MINASNY, B., 1999. A description of aggregate liberation and dispersion in A horizons of Australian Vertisols by ultrasonic agitation. *Geoderma*. **91**. 11–26.
- GHIBERTO P. J., IMHOFF S., LIBARDI P.L., DA SILVA Á.P., TORMENA C.A. & PILATTI M.Á., 2015. Soil physical quality of Mollisols quantified by a global index. *Sci. Agric.* **72**. 167–174.
- ISO 11277: 2009 (E). Soil quality – Determination of particle size distribution in mineral soil material – Method by sieving and sedimentation. International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- ISO/DIS 11277:1994. Soil quality; determination of particle size distribution in mineral soil material; method by sieving and sedimentation following removal of soluble salts, organic matter and carbonates.
- KLUTE, A., 1986. Water retention: laboratory methods. In: Klute, A. (ed): *Methods of Soil Analysis. Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. 2nd. Edition. American Society of Agronomy. Madison. Wisconsin. 635–662.
- KLUTE, A. & DIRKSEN, C., 1986. Hydraulic conductivity and diffusivity: Laboratory methods. In: Klute, A. *Methods of soil analysis. Part 1. Physical and mineralogical methods*. 2nd edition. Agronomy Monograph. 9. ASA and SSSA. Madison, WI. 687–734.
- KOZENY, J., 1927. Über kapillare Leitung des Wassers im Boden. *Wiener Akademie Wissenschaft*. 136. 271.
- LEVERETT, M. C., 1941. Capillary behavior in porous solids. *T Soc Petrol En AIME*. **142**. 152–169.
- Malvern Operators Guide, 1999. Malvern Press, Malvern, UK.
- MASON, J. A., GREENE, R. S. & JOECKEL, R. M., 2011. Laser diffraction analysis of the disintegration of aeolian sedimentary aggregates in water. *Catena*. **87**. 107–118.
- MASON, J., KASMERCHAK, C. & LIANG, M., 2016. Monitoring aggregate disintegration with laser diffraction: A tool for studying soils as sediments. *Geophys Res Abstracts*. **18**. EGU2016-5279.
- MSZ-08.0205-78. MÉM Ágazati Szabvány 1979. A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata, Budapest.
- NEMES, A., 2002. Unsaturated Soil Hydraulic Database of Hungary: HUNSODA. *Agrokem Talajtan*. **51**. 17–26.
- REYNOLDS, W.D., DRURY, C.F., TAN, C.S., FOX, C.A. & YANG, X.M., 2009. Use of indicators and pore volume-function characteristics to quantify soil physical quality. *Geoderma* **152**. 252–263.

- TÓTH, G., JONES, A. & MONTANARELLA, L., 2013. The LUCAS topsoil database and derived information on the regional variability of cropland topsoil properties in the European Union. *Environ Monit Assess.* **185**. 7409–7425.
- VÁRALLYAY, GY., SZABÓNÉ KELE G., BERÉNYI-ÜVEGES J., MARTH P., KARKALIK A. & THURY I., 2009a. Magyarország talajainak állapota a Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer alapján. Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, Budapest.
- VÁRALLYAY, GY., MAKÓ, A., HERMANN, T., 2009b. Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) helyeinek talajtani jellemzése. In: Debreceni Béláné - Németh Tamás (eds.): Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kutatási eredményei (1967-2001). Akadémiai Kiadó. Budapest. 35-96.

4. A dolgozat témájához kapcsolódó saját publikációk listája

Lektorált szakfolyóiratban teljes cikk (idegen nyelven; impaktfaktoros szakfolyóiratban)

- HERNÁDI, H., MAKÓ, A., KOVÁCS, J. & CSATÁRI, T., 2013. Nonaqueous-phase liquid retention of mineral mixture series containing different clay minerals. *Commun Soil Sci Plan.* **44**. 390–396.
- HERNÁDI, H. & MAKÓ, A., 2014c. Preliminary investigation to estimate soil NAPL retention using parametric pedotransfer functions. *Int Agrophys.* **28**. 435-445.
- MAKÓ, A., 2005. Measuring the two-phase capillary pressure-saturation curves of soil samples saturated with nonpolar liquids. *Commun Soil Sci Plan.* **36**. 439–453.
- MAKÓ, A. & ELEK, B., 2006. Comparison of the soil extraction isotherms of soil samples saturated with nonpolar liquids. *Water Air Soil Poll: Focus.* **6**. 331–342.
- MAKÓ, A., ELEK, B., DUNAI, A. & HERNÁDI, H., 2009. Comparison of the NAPL conductivity and air permeability of different soils. *Commun Soil Sci Plan.* **40**. 787–799.
- MAKÓ, A., TÓTH, G., WEYNANTS, M., RAJKAI, K., HERMANN, T. & TÓTH, B., 2017b. Pedotransfer functions for converting laser diffraction particle-size data to conventional values. *Eur J Soil Sci.* doi: 10.1111/ejss.12456.
- RAJKAI, K., TÓTH, B., BARNA, Gy., HERNÁDI, H., KOCSIS, M. & MAKÓ, A., 2015. Particle-size and organic matter effects on structure and water retention of soils. *Biologia.* **70**. 1456—1461.

Lektorált szakfolyóiratban teljes cikk (idegen nyelven; hazai szakfolyóiratban)

- BARNA, Gy., DUNAI, A., MAKÓ, A., TÓTH, Z., BARTON, G. & LAMORSKI, K., 2013. Comparative analysis of the organic liquid conductivity of soil samples treated with cationic surfactant. *Georgikon for Agriculture*. **18**. 41–55.
- HERNÁDI, H. & MAKÓ, A., 2014a. Dataset for creating pedotransfer functions to estimate organic liquid retention of soils. *Journal of Environmental Geography* **7**. 11–22.
- HERNÁDI, H. & MAKÓ, A., 2014b. Predicting soil nonaqueous phase liquid retention with pedotransfer functions. *Agrokem Talajtan*. **63**. 9–18.
- MAKÓ, A., 2002. Measuring and estimating the pressure-saturation curves on undisturbed soil samples using water and NAPL. *Agrokem Talajtan*. **51**. 27–36.
- MAKÓ A., TÓTH B., HERNÁDI H., FARKAS Cs. & MARTH P., 2010. Introduction of the Hungarian Detailed Soil Hydrophysical Database (MARTHA) and its use to test external pedotransfer functions. *Agrokem Talajtan*. **59**. 29–39.

Lektorált szakfolyóiratban teljes cikk (magyar nyelven; hazai szakfolyóiratban)

- ELEK, B. & MAKÓ, A., 2006. Olajvezető képesség (NAPL-vezetőképesség) mérése eredeti szerkezetű talajoszlopokon. *Tudományos Közlemények*. Szent István Egyetem Ybl Miklós Főiskolai Kar.
- HERNÁDI, H., BARNA, GY. & MAKÓ, A., 2017a. Folyadék-visszatartás, folyadékvezetés és porozitás összefüggései vízzel és/vagy szerves folyadékkal telített talajokban I. Folyadék-visszatartó képesség – Szemle. *Agrokem Talajtan*. **66**. 251–282.
- HERNÁDI, H., BARNA, GY. & MAKÓ, A., 2017b. Folyadék-visszatartás, folyadékvezetés és porozitás összefüggései vízzel és/vagy szerves folyadékkal telített talajokban II. Folyadékvezető-képesség – Szemle. *Agrokem Talajtan*. **66**. 419–454.
- MAKÓ, A., HERNÁDI, H., BARNA, GY., BALÁZS, R., MOLNÁR, S., LABAN CZ, V., TÓTH, B. & BAKACSI, Zs., 2017a. A talajok mechanikai összetétel vizsgálata pipettás ülepítési módszerrel: a hazai és a nemzetközi szabvány szerinti eljárások összehasonlítása és konverziója. *Agrokem Talajtan*. **66**. 295–315.
- MAKÓ, A., VARGA, T., HERNÁDI, H., LABAN CZ, V. & BARNA, GY., 2017c. Talajminták lézeres szemcseanalízisének módszertani tapasztalatai. *Agrokem Talajtan*. **66**. 223–250.

Konferenciaközlemény folyóiratban (teljes, idegen nyelven)

- BARNA, GY., BAKACSI, Zs., LABAN CZ, V., HERNÁDI, H. & MAKÓ, A., 2017. Methodological experiences of aggregate stability measurements. 24th

International Poster Day. Transport of Water, Chemicals and Energy in the Soil-Plant-Atmosphere System. Bratislava, 8.11.2017. 29–35.

MAKÓ, A. & HERNÁDI, H., 2016. Comparison the pore size distribution of soils saturated by water and NAPL. 23rd International Poster Day and Institute of Hydrology Open Day. „Transport of water, chemicals and energy in the soil – plant – atmosphere system”. 10th November 2016. Institute of Hydrology, Bratislava. ISBN:978-80-89139-38-5. 108–124.

Könyvfejezet (magyar nyelvű, több szerzős):

HERNÁDI H., MAKÓ A. & CSATÁRI T., 2012a. A talajok olajvisszatartó képességének mérési lehetőségei. In: Makó A., Hernádi H. (szerk.): Kőolajszármazékok a talajban: talajfizikai kutatások. 2. kiadás. Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely. ISBN 978-615-5044-62-5. 93–165.

HERNÁDI H., MAKÓ A. & TÓTH B., 2012b. A talajok olajvisszatartó képességének becslési lehetőségei. In: Makó A., Hernádi H. (szerk.): Kőolajszármazékok a talajban: talajfizikai kutatások. 2. kiadás. Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely. ISBN 978-615-5044-62-5. 166–224.

MAKÓ A. & HERNÁDI, H., 2012. Kőolajszármazékok viselkedése a talajban. In: Makó A., Hernádi H. (szerk.): Kőolajszármazékok a talajban: talajfizikai kutatások. 2. kiadás. Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely. ISBN 978-615-5044-62-5. 13–77.

MAKÓ, A., DUNAI, A. & BARNA, Gy., 2012. A talajok olajvezető képessége. In: Makó A., Hernádi H. (szerk.): Kőolajszármazékok a talajban: talajfizikai kutatások. 2. kiadás. Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely. ISBN 978-615-5044-62-5. 225-260.

Konferencia összefoglalók:

BARNA, GY., SZABÓ, J., RAJKAI, K., BAKACSI, ZS., KOÓS, S., LÁSZLÓ, P., HAUK, G. & MAKÓ, A., 2016a. Adaptability of laser diffraction measurement technique in soil physics methodology. European Geosciences Union General Assembly. Vienna. Austria. 17–22 April 2016. Paper 14327.

BARNA, Gy., BAKACSI, Zs., SZABÓ, J., RAJKAI, K., KOÓS, S., HAUK, G. & MAKÓ, A., 2016b. A hazai szabvány szerinti és a lézerdiffraktométerrel végzett mechanikai összetétel vizsgálatok eredményeinek összehasonlítása. Magyar Talajtani Társaság Talajtani Vándorgyűlés. Debrecen. 2016. szeptember 1–3. Absztrakt kötet. p. 68.

BARNA, Gy., RAJKAI, K., TÓTH, B., KOÓS, S., LÁSZLÓ, P., HERNÁDI, H. & MAKÓ, A., 2016c. Evaluating the impact of soil structure change on the pore size

distribution of variously textured soils. International Conference on Conservation Agriculture and Sustainable Land Use. Budapest. 31.05.2016-02.06.2016. Book of Abstracts, ISBN:978-963-9545-50-2, p.10.

BARNA, Gy., RAJKAI, K., TÓTH, B., KOÓS, S., LÁSZLÓ, P., HERNÁDI, H. & MAKÓ, A., 2016d. A talajszerkezet változásának hatása a pórusok méret szerinti eloszlására különböző textúrájú talajokon. Magyar Talajtani Társaság Talajtani Vándorgyűlés. Debrecen. 2016. szeptember 1–3. Absztrakt kötet. p. 69

MAKÓ, A., TÓTH, B., RAJKAI, K., SZABÓ, J., BAKACSI, ZS. & BARNA, GY., 2016. Particle size distribution measurements by laser diffraction method in practical soil physics. 11th International Conference on Agrophysics. Soil, Plant & Climate. 26-28 September 2016, Lublin, Poland. ISBN:978-83-89969-43-9. p. 148.

Ismeretterjesztő közlemények:

HERNÁDI, H., BARNA, GY. & MAKÓ, A., 2017c. Talajszerkezet és aggregátum-stabilitás. Agrárágazat. Talajélet – különszám, május. 62-65.

Előadások:

MAKÓ, A., BARNA, GY. & LABANCZ, V., 2017d. A talajok aggregátum-stabilitásának vizsgálata nedves szitálásos módszerrel és lézeres szemcseanalizátorral. A PAB Talajerőgazdálkodási és Agrotechnikai Munkabizottságának, a Magyar Talajtani Társaság Talajfizikai Szakosztályának, illetve Talajtermékenység és Tápanyag-gazdálkodási Szakosztályának együttes rendezvénye. Keszthely, 2017. december 11.

Budapest, 2017. december 19.