

DOKTORI ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

LABANCZ VIKTÓRIA
GÖDÖLLŐ
2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

KÜLÖNBÖZŐ TALAJTULAJDONSÁGOK HATÁSA A TALAJOK MAKRO- ÉS MIKROAGGREGÁTUM- STABILITÁSÁRA

DOI: 10.54598/007100

Labancz Viktória

Gödöllő

2024

A doktori iskola megnevezése: Környezettudományi Doktori Iskola

Tudományága: Környezettudományok

Vezetője: **Csákiné Dr. Michéli Erika**

egyetemi tanár, intézetvezető

Környezettudományi Intézet

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Témavezetők: **Dr. Szegi Tamás András**

egyetemi docens

Talajtani Tanszék

Környezettudományi Intézet

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Dr. Makó András Szabolcs

tudományos tanácsadó

Talajfizikai és Vízgazdálkodási Osztály

HUN-REN ATK Talajtani Intézet

1. A munka előzményei, kitűzött célok

Jelenleg nincs pontos, objektív vagy általánosan alkalmazható módszer a talajszerkezet mérésére és leírására (HILLEL, 1998). Azonban jó közelítéssel jellemezhető az olyan szerkezetállapot leírására alkalmas mutatókkal, mint például az aggregátumok stabilitása. Az aggregátum-stabilitás tájékoztatást ad számunkra arról, hogy a szerkezeti tulajdonságok hogyan változnak az idő függvényében különféle degradációs hatásokra (pl. talajművelő eszközök mechanikai, illetve az eső vagy öntözővíz szétiszapoló hatása), valamint megmutatja egy adott talaj víz- vagy szélerózióra való hajlamát is (AMÉZKETA et al. 1999).

A szakirodalmi közlések összevetése alapján elmondható, hogy a különböző méretű aggregátum frakciókat eltérő mechanizmusok, kötőanyagok stabilizálják (LE BISSONNAIS, 1996; AMÉZKETA, 1999; TOTSCHE et al., 2018). Ezáltal a makro- és mikroaggregátum-stabilitás vizsgálati eljárások típusa is különbözik. A makroaggregátum-stabilitás meghatározási módszerei közül a vizes közegben végzett eljárások, főként a nedves szítás vizsgálatok különböző változatait alkalmazzák széleskörűen. A mikroaggregátumok stabilitását vizsgáló módszerek alapvetően a talaj agyag- és/vagy iszapméretű részecskéinek számszerűsítésén alapulnak. Eloszlásukat többnyire ülepítéses pipettás módszerrel vagy lézerdiffraktometrián (LDM) alapuló - az előzőnél lényegesen gyorsabb - méréssel határozzák meg. Az LDM analízis a talajok mechanikai összetétel (MÖ) meghatározására és ezt felhasználva a mikroaggregátum-stabilitás megállapításához képzett diszperzitási indexek előállítására ma már igen széleskörűen elterjedt vizsgálati módszer (MCCAVE et al., 1986; BLOTT & PYE, 2006; RYZAK & BIEGANOWSKI, 2011; YANG et al., 2015; FISHER et al., 2017), azonban a módszerek egységesítése napjainkban még várat magára.

Napjainkban a mesterséges intelligencia és a gépi tanulási módszerek számos előnyös tulajdonsággal rendelkeznek: többek között képesek olyan rejtett összefüggések feltárására, melyekre a hagyományos statisztikai eljárások nem alkalmasak. Ezek esetleges statisztikai hibájuk mellett is (pl. túlzott illeszkedés) eredményesen használhatók például a víztartó és vízvezető képességet becslő pedotranszfer függvények (PTF-ek) kidolgozásában. Több kutatási eredmény is azt igazolta, hogy a kidolgozott PTF-ek becslési hatékonysága nő, amennyiben bemeneti adatként megadjuk a talaj szerkezeti állapotát jellemző mutatókat is (RAWLS & PACHEPSKY, 2002; MAKÓ et al., 2010). Ezeket a talajszerkezeti jellemzőket azonban csak néhány speciális talajfizikai adatbázis tartalmazza, a legtöbb esetben a szerkezeti állapotra csak a talajtípusból vagy az egyéb mért talajtulajdonságokból következtethetünk. Felmerül tehát a kérdés: egy hazai talajszerkezeti adatbázis (HunSSD: Hungarian Soil Structural Database) létrehozásával, mely a sok egyszerűen mérhető talajparaméter mellett tartalmazza a talajok szerkezetére vonatkozó információkat is, kidolgozhatóak-e olyan összefüggések, szabályok, PTF-ek, melyekkel megbízhatóbban jellemezhetjük talajaink szerkezeti tulajdonságait és egy későbbi lépésben majd felhasználhatjuk-

e ezeket a becsült szerkezeti jellemzőket a hidrofizikai talajtulajdonságokat becslő PTF-ek pontosításához?

Az aggregátum-stabilitási mutatók becsléséhez (majd később az így kapott szerkezetre vonatkozó információnak a hidrofizikai PTF-ekbe történő beépítéséhez) meg kell ismernünk, hogy mely abiotikus és biotikus tényezők (talajtulajdonságok, külső és esetleg közvetett hatások) határozzák meg leginkább az adott méretkategóriába sorolható szerkezeti elemek stabilitását. E tényezők hatása egymástól sokszor nehezen elkülöníthető, azonban a gépi tanulási módszerekkel – a hidrofizikai PTF-ekhez hasonlóan – a befolyásoló tényezők hatásának sorrendje, erőssége és iránya jól tanulmányozható.

Kutatómunkám során az alábbi kérdésekre kerestem választ:

Módszertan fejlesztés LDM (előkísérlet)

- Mennyiben befolyásolja az általam használt lézerdiffraktometriás módszerrel kapott mechanikai összetétel mérési eredményeket - a különféle diszpergáló eljárások egyedi vagy együttes alkalmazása során - a talaj szuszpenziót alkotó **vizes közeg minősége**?

Aggregátum-stabilitás vizsgálatok

- Mennyire alkalmazható a **Random Forest** analízis, mint egyfajta gépi tanulási módszer a hazai talajadatbázisokat (AIIR, MARTHA) reprezentáló HunSSD mintáin a talajok makro-, illetve mikroaggregátum-stabilitás becslésére?
- A **Random Forest analízis** alapján mely talajtulajdonság-kombinációk határozzák meg leginkább a hazai talajaink **makroaggregátum-stabilitását**?
- A **Random Forest analízis** alapján mely talajtulajdonság-kombinációk határozzák meg leginkább a hazai talajaink **mikroaggregátum-stabilitását**?
- A Random Forest becslő modellek pontatlanságát látva és a szakirodalmi előzmények feldolgozása alapján mely (talaj- és környezeti) tulajdonságokat lenne célszerű bevonni a jövőben a befolyásoló tényezők vizsgálatába?

2. Anyag és módszer

2.1. Az LDM vizsgálatokba bevont talajok jellemzése

A vizsgálataim során kétféle talajadatbázissal dolgoztam. A lézerdiffraktometriás előkísérletekhez használt 8 talajmintát a TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KONV-2010-0003 számú kutatás talajfelvételezése szolgáltatta („KESZTHELY” adatbázis) (1. táblázat). A minták fizikai, kémiai és ásványtani tulajdonságaikban különböztek, és jól reprezentálták a legfontosabb hazai talajtípusok egyes genetikai szintjeit.

1. táblázat. A vizsgálatba bevont talajok fontosabb fizikai és kémiai jellemzői

Minta kódja	Talajtípus besorolása, származási hely	A genetikai szint jele, mélysége (cm)	Agyag + Fe- oxidhidrátok (%) (<0.002 mm)	por (%) (0.002 - 0.05 mm)	homok (%) (>0.05 mm)	humusz (%)	CaCO ₃ (%)	CEC (mge/100 g)	Kicsérélhető Na ⁺ (mge/100 g)	MaAS (%)
			Mechanikai összetétel (ISO 11277:2009(E))							
M1	Réti szolonyec, Karcag	B 5-30	51,09	45,90	0,88	2,00	0,13	40.85	20,63	20,84
M2	Ramann-féle barna erdőtálat, Keszthely	A 0-30	21,09	33,13	44,28	1,45	0,05	11.84	0,14	53,40
M3	Ramann-féle barna erdőtálat, Keszthely	B 30-50	22,90	33,87	42,29	0,93	0,00	12.38	0,13	38,47
M4	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj, Várvölgy	A 0-20	15,27	29,35	54,05	1,33	0,00	10.36	0,12	87,57
M5	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj, Várvölgy	B 20-50	22,30	26,56	50,49	0,65	0,00	12.78	0,15	38,38
M6	Pszudoglejes barna erdőtálat, Magyarszombatfa	B 20-50	38,96	25,93	34,61	0,49	0,00	16.78	0,17	44,41
M7	Mészlepedékes csernozjom, Kápolnásnyék	A 0-30	27,60	51,68	7,50	3,70	9,52	30,25	0,25	64,56
M8	Nem karbonátos réti talaj, Kisújszállás	A 0-30	53,88	41,19	1,05	3,89	0,00	35.69	0,29	59,14

2.2. Az aggregátum stabilitási vizsgálatokba bevont talajok jellemzése

Az aggregátum-stabilitás vizsgálatok alapja egy új hazai talajszerkezeti adatbázis, a HunSSD (Hungarian Soil Structure Database) volt, mely a K119475 számú NKFIH pályázathoz kapcsolódó talajfelvételezések vizsgált mintáinak adatait tartalmazza. A vizsgálatokba bevont minták a pályázat támogatásával megalakult kutatócsoport által közösen feltárt 55 talajszelvényből (2. táblázat) származtak. A mintavételezési helyszínek kiválasztásánál fő szempont volt, hogy a nagyobb

talajadatbázisokban (AIIR, MARTHA) szereplő főtípusok részarányuknak megfelelő létszámban legyenek feltárva.

A talajminták alapvizsgálatait a hazai szabványos talajvizsgálati módszertan szerint végeztük el (MSZ-08.0206-2-78; BUZÁS, 1988; 1993). A báziscsere vizsgálatok a velencei NÉBIH ÉLI Növény- és Talajvédelmi Nemzeti Referencia Laboratóriumban történtek. A humuszminőség vizsgálatokat HARGITAI módszere (1988) alapján végeztük. A minták C/N arányának meghatározását a Pannon Egyetem Georgikon Kar Növénytermesztési és Földhasználati Tanszékén végezték, Keszthelyen (jelenleg MATE). A talajok mechanikai összetételét lézerdiffraktometriás módszerrel határoztam meg (BIEGANOWSKI et al., 2018).

2. táblázat. A vizsgálatok céljára kiválasztott HunSSD adatbázis talajainak főbb jellemzői

	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum
pH (H ₂ O)	7,52	1,19	4,15	9,88
CaCO ₃ (%) átlag	7,51	11,16	0,00	53,10
EC (μS) átlag	326,35	502,88	22,00	5160,00
Humusz (%)	2,06	2,25	0,10	21,80
Szervesanyag vizsgálatok eredményei				
Hargitai Q	20,53	33,51	0,13	177,25
Hargitai K	7,57	11,46	0,05	64,39
C/N	9,12	1,80	5,26	20,06
Báziscsere vizsgálatok eredményei				
Kicserélhető Ca (mmol*100g ⁻¹)	19,81	10,50	0,50	57,50
Kicserélhető Mg (mmol*100g ⁻¹)	4,19	2,56	0,05	12,85
Kicserélhető Na (mmol*100g ⁻¹)	0,79	2,03	0,05	11,60
Kicserélhető K (mmol*100g ⁻¹)	0,55	0,56	0,05	2,62
S-érték (mmol*100g ⁻¹)	25,31	11,71	0,65	66,51
T-érték (mmol*100g ⁻¹)	27,96	10,94	3,08	73,10
T-S érték (mmol*100g ⁻¹)	2,73	2,54	0,00	17,34
Na (S%)	5,77	16,08	0,11	86,50
Ca (S%)	74,06	17,77	12,90	96,87
Mg (S%)	18,42	11,88	0,33	82,80
K (S%)	2,56	2,83	0,14	15,70

Mechanikai összetétel vizsgálatok eredményei

	Átlag	Szórás	Minimum	Maximum
agyag (%) (LDM)	30,30	8,68	3,40	47,89
por (%) (LDM)	49,71	6,36	19,36	61,61
homok% (LDM)	20,00	11,30	3,92	71,62

2.3. Vizsgálati módszerek

2.2.1. Az MÖ mérések vizsgálati módszerei

A pipettás mechanikai összetétel mérési módszere ISO 11277:2009 szabvány szerint

Az ISO 11277:2009 (továbbiakban ISO) szabvány esetében a 2 mm-nél nagyobb elemek eltávolítása után a következő lépés az aggregátumokat összeragasztó humuszanyagok, karbonátok és a vas(oxi)hidroxidok eltávolítása volt. A szabvány alkalmazása értelmében a humuszanyagok eltávolítása 30 %-os hidrogén-peroxid oldattal, a karbonátok eltávolítására 0,1 M sósavval történt. A vas-(oxi)hidroxidok eltávolítására Na-ditionitot alkalmaztunk, Na-citrát–Na-bikarbonát puffer közegben. A jobb összehasonlíthatóság kedvéért a teljes mintaanyagon elvégeztük mindhárom ragasztóanyag eltávolítását a javasolt módszertan szerint. Az alkalmazott reagensek mennyiségét minden kezelés esetén – az ISO szabványnak megfelelően – a humusz-, a mész- és a vas-(oxi)hidroxid tartalomhoz igazítottuk. Az ISO módszer értelmében a 0,05 mm feletti teljes homokfrakciót szitálással választottuk le. A pipettázási mélység megállapításához az ISO szerint a talajok átlagsűrűségét ($2,65 \text{ g cm}^{-3}$) vettük alapul. A vizsgált talajok agyag-, por- és homoktartalmát a diszpergált (humuszt és meszet már nem tartalmazó) talaj százaléklában fejeztük ki.

A kísérletekhez alkalmazott lézerdiffraktometriás mechanikai összetétel vizsgálati módszer

A lézerdiffraktometriás MÖ vizsgálatokat Malvern Mastersizer 3000 típusú készülékkel végeztem. Mind az előkísérletek, mind a szerkezetes adatbázis vizsgálata során azonos mérési módszert alkalmaztam. A készülékhez Hydro LV típusú automata nedves előkészítő egységet csatlakoztattunk. A keverési sebesség a 2750 rpm volt (Bieganowski, 2018). Az ultrahang teljesítménye 40W maximum (frekvencia: 40 kHz (névleges)), mely 100 % teljesítménnyel üzemelt; 240 sec időtartamban történt az ultrahangozás.

A diszpergáló egységbe adagolt talajminták tömege 0,5–1 g közt változott a talaj fizikai félesége szerint. A fénygyengítési mutató (“obscuration”) a mérések során 5-20 % között mozgott a beállítási javaslatoknak megfelelően. A mérések esetén a vizsgált légszáraz mintákhoz diszpergálószerként 2 cm³ Calgon-oldatot (ISO 11277:2009(E) szabvány szerint készített 33 g Na-hexametafoszfát és 7 g vízmentes Na-karbonát keveréke L⁻¹) csepegtettem, majd üvegbottal óráüvegen finoman elkevertem, ezt követően az előkészítő egységbe további 25 cm³ Calgon oldatot adagoltam. Minden mérés 5 percig 5 rekord felvételével, minimálisan 3 új bemérésből származó ismétlésben zajlott. A lézerfény intenzitás adatokat a Mie elmélet alapján konvertáltam MÖ eredményekké, az alábbi beállításokkal: AI = 0,1; RI_{talaj} = 1,52 és RI_{víz} = 1,33. Az agyag- (<7 µm), por- (7-50 µm), homokfrakció (>50 µm) mérethatára a hazai talajokon végzett korábbi kutatások eredményei alapján (MAKÓ et al., 2019) került megállapításra.

Előkísérletek a különböző vizes közegek hatásának tanulmányozására

Az LDM előkísérletek kapcsán a KESZTHELY adatbázis nyolc, különböző tulajdonságú talajmintáját vizsgálva tanulmányoztam a vizes közegek hatását a mért szemeloszlási görbék, a számított agyagtartalom, valamint az MÖ-ből megállapított fizikai féleség kategóriák (USDA 12 kategóriás háromszögdiagram) összehasonlítása alapján. A Mastersizer 3000 Hydro LV előkészítő egységébe töltött vizes mérési közegek a következők voltak: desztillált víz (DV), nagy tisztaságú, kereskedelmi forgalomban kapható ioncserélt víz (IV), csapvíz (CSV) (3. táblázat). Az LDM MÖ méréseket különböző kombinációkban (egyfajta mátrix szerint) végeztem MAKÓ et al. (2017) és POLAKOWSKI et al. (2021) tanulmányai alapján, három leggyakoribb fő változó bevonásával: vizes közeg típusa, fizikai és/vagy kémiai diszperzió (előkezelésként). Négy kezelési típussal dolgoztam: kezelés nélkül K1; csak Calgon K2, csak ultrahang K3, kombinált kezelés K4. A talajminták előkészítése hagyományos módon történt: légszáraz, darált, 2 mm-es szitán átrostált, makroszkopikus növényi maradványoktól mentesítve.

3. táblázat. Az LDM mérés során használt különböző vizes közegek tulajdonságai

Vizes közeg	pH	EC ($\mu\text{S/cm}$)	Na ⁺ ppm	K ⁺ ppm	Ca ²⁺ ppm	Mg ²⁺ ppm	Összes keménység mg/l CaO
DV	6.4	2.2	0	0	0	0	0
IV	6.1	1.5	0	0	0	0	0
CSV	7.7	530	26	2,6	67	17	136

A szemeloszlási görbék illeszkedésének vizsgálatából következtetni lehet az ismétlések közötti szórás mértékére, a kémiai csapadékok, esetleges műtermékek, buborékok képződésére. Ehhez a Malvern Mastersizer 3000 készülék saját elemző szoftverét használtam (v4.10).

Az MÖ eredmények összehasonlításához először egy GLM egyváltozós elemzést (UNIANOVA) végeztünk a vizsgált tényezők (vizes közeg minősége, előkezelések, talajváltozók) együttes hatásának tesztelésére az LDM-mel mért agyag-, iszap- és homoktartalomra. Az adatcsoportok agyag-, por-, homoktartalmának összehasonlítására One-Way ANOVA-t (Duncan-teszt vagy Tamhane-teszt a variancia homogenitásától függően) és Boxplot-analízist végeztünk (IBM SPSS Statistics 20 szoftver).

A különböző vizes közegekben meghatározott MÖ eredményeket az USDA 12 kategóriás textúra-háromszögdiagramokon megjelenítve a fizikai féleség besorolásokat összehasonlítottam egymással, valamint az ISO 11277:2009 szabvány szerinti pipettás módszerrel meghatározott MÖ eredményekkel is. A háromszög diagramok az OriginPro Version 2021. OriginLab statisztikai szoftverrel készültek.

2.2.2. Az aggregátum-stabilitási vizsgálatok módszerei

Makroaggregátum-stabilitás meghatározása nedves szítás készülékkel

A nedves szítálos vizsgálatokhoz Eijkelkamp egyszítás készüléket alkalmaztunk (Wet sieving method set, gyártmánykód: 08.13). A készülék 8 db szitát tartalmaz, 250 μm -es lyukátmérővel.

A vizsgálat légszáraz állapotú, darált, növényi maradványoktól mentesített, 2 mm-es szitán átrostál talajmintákkal történt. Ezt követte KEMPER & ROSENAU (1986) módszere alapján, az átrostált minták 1-2 mm közötti méretre szitálása. A szitákra minden esetben 4 g minta került bemérésre. A méréseket minden esetben

nyolc ismételtsben végeztük. Az előnedvesítés az eredeti módszer ajánlásától eltérően kapilláris úton, lassan történt (BARNA et al., 2017).

A talajmintákat tartalmazó szitácskákat a készülékbe helyeztük, belemerítettük a készülék desztillált vizet tartalmazó edényeibe majd a készülék a bekapcsolás után 3 percig, percenként 34-szer, 1,3 cm-es emelési magassággal fel-le emelgette a szitákat a folyadékban. A 3 perc eltelte és rövid lecsepegési idő után a minták alatt kicseréltük az edénykéket. Az új edényekbe Na-pirofoszfát diszpergáló oldatot öntöttünk (koncentrációja: 2 g L⁻¹), belemerítettük a mintákat tartalmazó szitácskákat, majd folytattuk a minták szétiszapolását az előzőekben ismertetettek szerint, ezúttal 8 percig. Mind a desztillált vizet, mind pedig a diszpergáló oldatot tartalmazó gyűjtőedény tartalmát főzőpohárba mostuk át maradékmentesen, majd elektromos főzőlapon bepároltuk, 105 °C-on szárítószekrényben kiszárítottuk, majd megmértük a tömegüket. A talajminták stabil makroaggregátumainak arányát (MaAS (%)) az alábbi egyenlet alapján számítottuk ki:

$$MaAs (\%) = \frac{fd}{fnd + fd} * 100 \quad (1)$$

ahol: *fnd* a desztillált vizet tartalmazó edény (vízben nem stabil aggregátumok), *fd* pedig a diszpergáló oldatot tartalmazó edény (vízben stabil aggregátumok) bepárlási maradéka

Mikroaggregátum-stabilitási értékek meghatározása LDM készülékkel

A talajok mikroaggregátum-stabilitását (MiAS (%)) – a szakirodalomból ismert, pipettás mérésekre alapozott – Vageler-féle struktúrfaktor (VAGELER, 1932) mintájára számoltuk, a diszpergált és nem diszpergált minták lézerdiffraktometriás készülékkel meghatározott agyagfrakcióinak arányából.

$$MiAS (\%) = \frac{cd - cnd}{cd} * 100 \quad (2)$$

ahol: *cd* a diszpergált agyag frakció, *cnd* a nem diszpergált agyagfrakció.

A MiAS (%) meghatározásához szükséges mérések (hasonlóan a MÖ vizsgálatokhoz) Mastersizer 3000, Hydro LV LDM készülékkel történtek. Az előkészítő egységbe ioncserélt vizet töltöttünk (pH: 7,9; EC (μS/cm): 564). Megegyezően a LDM MÖ vizsgálatokkal, a detektorba érkező adatokat a Mie-

elmélet alkalmazásával konvertáltam MÖ eredményekké. Az előkezelések és beállítások maradéktalanul megegyeztek az MÖ méréseknél használtakkal.

A *diszpergált frakció* MÖ meghatározását a Mastersizer 3000, Hydro LV lézerdiffraktometriás készüléken korábban már ismertetett mechanikai összetétel meghatározási módszerrel (BIEGANOWSKI et al., 2018) végeztem, ultrahang és Calgon-oldat diszpergálószer adagolása mellett. A *nem diszpergált frakció* MÖ meghatározását ultrahang használata, valamint Calgon-oldat adagolása nélkül végeztem. A mérés időtartama a nem diszpergált frakció MÖ analízise során 30 perc volt ismétlésenként, ezalatt 30 rekord (szemcseméret eloszlási görbe) felvétele történt. A számításhoz a diszpergált MÖ görbékkel való jobb összehasonlíthatóság miatt, a diszpergálás nélkül kapott MÖ görbék közül a 240 másodperchez legközelebb eső időpontban mért adatokat használtam.

Az aggregátum-stabilitást becslő modellek kidolgozásának fázisai

A vizsgálatba vont talajok vízzel szembeni aggregátum-stabilitását potenciálisan befolyásoló különböző talajtulajdonságokat és a makro- (MaAS (%)), valamint mikroaggregátum-stabilitás (MiAS (%)) eredményeket, az adatok rendezése, szűrése, leválogatása után (Excel és SPSS szoftverek használatával) adatbázisba rendeztem.

Korrelációs mátrix elemzés

A becslő modellek kidolgozását megelőzte egy Pearson-féle korreláción alapuló elemzés. Ez feltárta a változópárok közötti kapcsolatot - a HUN-SSD adatbázis MaAS(%)-, MiAS(%) eredményei és különböző talajtulajdonságokat leíró változók között. Minden változó között kiszámításra került a lineáris korrelációs együttható értéke, amiket mátrixba rendezve korrelációs mátrixként jelenítettem meg. Egyúttal elvégzésre került a korrelációs együtthatók szignifikanciájának vizsgálata is. Két változó közötti kapcsolat erősségének megítélése egyszerűsített módon Guilford (1950) módszere szerint történt.

A Random Forest becslő modellek számítása

A becslő modellek megalkotásához Random Forest („véletlen erdő”) statisztikai módszert használtam (WRIGHT & ZIEGLER, 2017), R szoftver (R Core Team, 2021) segítségével. Az elemzés során az algoritmus segítségével megállapítottam, hogy milyen összefüggés van a mért (valós), illetve a becsült MaAS (%), illetve MiAS (%) eredmények között attól függően, hogy bemeneti adatként milyen talajtulajdonságokat (független változók) vesz alapul a modell számítása. Ugyanígy megállapításra került, hogy egy adott becslő modell esetében mely talajtulajdonságok (független változók) azok, melyek meghatározóak a stabilitás kialakítása szempontjából.

A Random Forest vizsgálatokat a hazai talajtulajdonságokat reprezentáló 55 feltárt talajszelvény 258 mintázott genetikai szintből mintázott talajminta

vizsgálatából álló adatbázis attribútum halmazain végeztem el. Minden modell illesztésekor 500 döntési fa készült, a modellek megbízhatósága szempontjából becsült értékek ezen döntési fák átlagaiból képződtek.

Az egyes modellek létrehozása során indokolt esetekben egy rekurzív jellemző kiválasztást (recursive feature selection) is végeztem, melyet megelőzően a nem normál eloszlású adatsorokat (Na-(S%), EC, CaCO₃ %, humusz %, Hargitai humuszminőség Q és K értékei) normalizáltam (ln log transzformáció). Ez a szelekciós módszer számos esetben javította a modellek becslési pontosságát.

Az aggregátum stabilitást becslő modellek statisztikai pontosságát a *determinációs koefficiens négyzete* (R²) és az *átlagos négyzetes hiba gyöke* (RMSE) alapján hasonlítottam össze.

A Random Forest becslő modellek felépítése

Mind a makroaggregátum-stabilitás (MaAS (%)), mind a mikroaggregátum-stabilitás (MiAS (%)) Random Forest becslő modelljeinek háttéradatbázisa alapvetően két csoportra osztható (4-5. táblázatok). Az 1-es jelölésű modellek alapja egy humuszminőség mérési adatokat nem tartalmazó nagyobb, (MaAS (%) - 177N; MiAS (%) – N224) különböző genetikai szintből származó és vizsgált talajmintából felépülő adatbázis. A 2-es jelölésű modellek alapja pedig az 1-es modell adatbázisából leszűkített kisebb, de humuszminőség adatokat is tartalmazó adatbázis (MaAS (%) - N118; MiAS (%) - N133).

A modellek felépítése hierarchikusan bővítve történt. Az 1-es és 2-es modellcsoportok esetében az adatok típusának bővítési sorrendje azonos. A becslő modellek kidolgozása során fő szempont volt, hogy tanulmányozzam, a talajvizsgálati adatok körének bővítésével miként változik a becslés pontossága, valamint, hogy mely tulajdonságok befolyásolják leginkább a talajok különböző típusú aggregátum stabilitását (MaAs (%), MiAS (%)).

4. táblázat. A makroaggregátum-stabilitást becslő Random Forest modellek, humuszminőség változók nélküli adatbázisból

Aggregátum stabilitás	Modell száma	Adatbázis típusa	Input adatok csoportja	N
MaAS (%)	1/A	humuszmin. vált. nélküli	alapvizsgálati adatok	177
MaAS (%)	1/B ₁	humuszmin. vált. nélküli	alapvizsgálati adatok+ feltalaj/altalaj	177
MaAS (%)	1/B ₂	humuszmin. vált. nélküli	alapvizsgálati adatok+ középmező	177
MaAS (%)	1/B ₃	humuszmin. vált. nélküli	alapvizsgálati adatok+ földhasználat	177
MaAS (%)	1/B ₄	humuszmin. vált. nélküli	alapvizsgálati adatok+ feltalaj/altalaj+ középmező+ földhasználat	177
MaAS (%)	1/C ₁	humuszmin. vált. nélküli	alapvizsgálati adatok+ báziscsere vizsgálatok	177
MaAS (%)	1/C ₂	humuszmin. vált. nélküli	alapvizsgálati adatok+ báziscsere vizsgálatok+ feltalaj/altalaj	177
MaAS (%)	1/C ₃	humuszmin. vált. nélküli	alapvizsgálati adatok+ báziscsere vizsgálatok+ középmező	177

Aggregátum stabilitás	Modell száma	Adatbázis típusa	Input adatok csoportja	N
MaAS (%)	1/C ₄	humuszmin. vált. nélküli	alapvizsgálati adatok+ báziscsere vizsgálatok+ földhasználat	177
MaAS (%)	1/C _{4f}	humuszmin. vált. nélküli	alapvizsgálati adatok+ báziscsere vizsgálatok+ földhasználat + feature selection	177
MaAS (%)	1/C ₅	humuszmin. vált. nélküli	alapvizsgálati adatok+ báziscsere vizsgálatok+ feltalaj/altalaj+ középmedység + földhasználat	177

5. táblázat: A mikroaggregátum-stabilitást becsló Random Forest modellek, humuszminőség változókat is tartalmazó adatbázisból

Aggregátum stabilitás	Modell száma	Adatbázis típusa	Input adatok csoportja	N
MaAS (%)	2/A	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok	118
MaAS (%)	2/B1	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok +feltalaj/altalaj	118
MaAS (%)	2/B2	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok +középmedység	118
MaAS (%)	2/B3	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok+ földhasználat	118
MaAS (%)	2/B4	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok +feltalaj/altalaj+ középmedység + földhasználat	118
MaAS (%)	2/C1	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok+ báziscsere vizsgálatok	118
MaAS (%)	2/C2	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok+ báziscsere vizsgálatok+ feltalaj/altalaj	118
MaAS (%)	2/C3	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok+ báziscsere vizsgálatok+ középmedység	118
MaAS (%)	2/C4	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok+ báziscsere vizsgálatok+ földhasználat	118
MaAS (%)	2/C5	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok+ báziscsere vizsgálatok+ feltalaj/altalaj+ középmedység + földhasználat	118
MaAS (%)	2/D1	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok+ humuszminőség	118
MaAS (%)	2/D2	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok +humuszminőség+ báziscsere vizsgálatok	118
MaAS (%)	2/D3	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok +humuszminőség+ báziscsere vizsgálatok +feltalaj/altalaj	118
MaAS (%)	2/D4	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok +humuszminőség+ báziscsere vizsgálatok +középmedység	118
MaAS (%)	2/D5	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok +humuszminőség+ báziscsere vizsgálatok +földhasználat	118
MaAS (%)	2/D6	humuszmin. változókkal	alapvizsgálatok +humuszminőség+ báziscsere vizsgálatok +feltalaj/altalaj+ középmedység + földhasználat	118

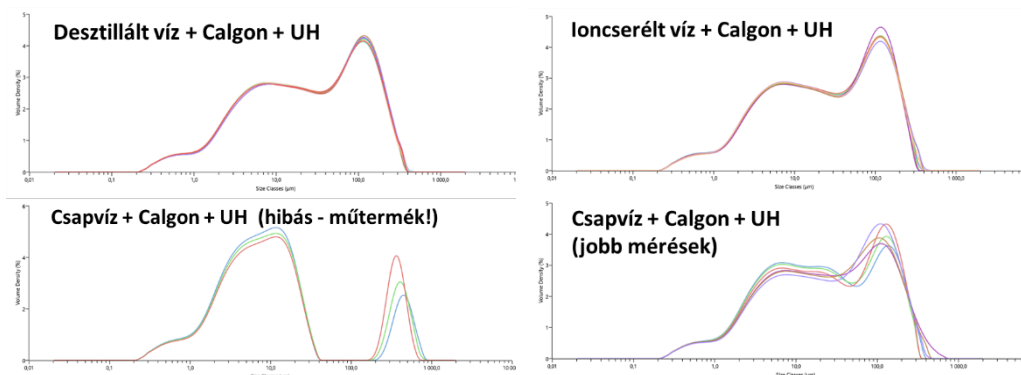
3. Eredmények és azok értékelése

3.1. Az MÖ mérésével kapcsolatos előkísérletek vizsgálati eredményei

A különböző vizes közegek hatásának eredményei

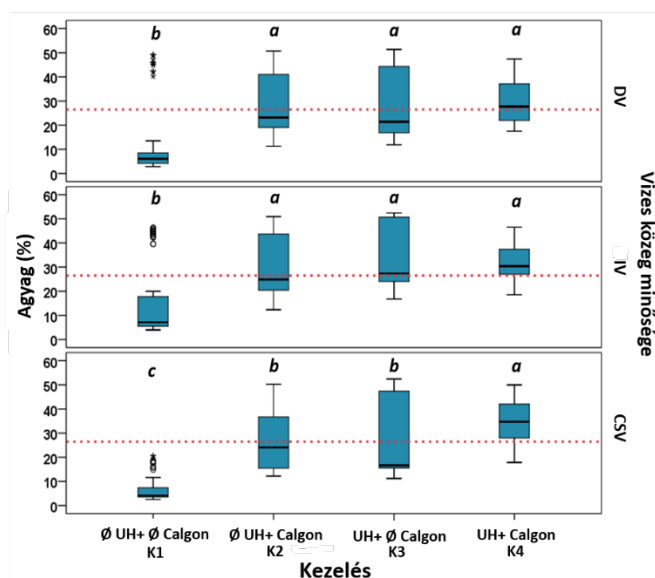
Az eredmények azt mutatják, hogy a különböző vizek használatának a mérési eredményekre van hatásuk, holott a Malvern Mastersizer, Fritsch -, Beckman Coulter gyártmányú készülékek tájékoztatói és a számos publikáció nem tesz említést a vizes közeg típusának, minőségének megválasztásával, annak fontosságával kapcsolatban (pl. BIEGANOWSKI et al., 2010).

A mért KESZTHELY adatbázis nyolc talajmintájának szemeloszlási görbéit vizsgálva általánosan elmondható, hogy a MÖ mérések párhuzamos ismétlései csapvízes közegben mutatták a legnagyobb szórást. A csapvízes mérések esetében bizonyos mintáknál egyértelműen műtermék (valószínűleg kalcium-foszfát) okozta másodlagos csúcsok megjelenését tapasztaltuk (1.ábra)



1. ábra. Az M2 jelzésű, Ramann-féle erdőtalaj minta MÖ vizsgálata desztillált vízben, ioncserélt vízben és csapvízben - Calgon-oldat és ultrahang együttes alkalmazása mellett

A GLM Egyváltozós Analízis (UNIANOVA) igazolta a tényezők (előkezelések, vizes közeg minősége, talajváltozók) és ezek kombinációinak ($P < 0,001$ minden esetben) szignifikáns hatását a mért agyag-, iszap- és homoktartalomra. Összehasonlítva az egyes részecskefrakciók mennyiségét (a közös csoportnak tekintett összes talajmintán mért eredményeket) előkezelésenként és folyadékonként elmondható, hogy a One-way ANOVA tesztekkel végzett összehasonlítások azt mutatták, hogy mindhárom vizes közeg esetében a K1 eredményezte a szignifikánsan legalacsonyabb agyagtartalmat az összes talajmintában. (a felszabadítható agyagtartalom jelzi tapasztalataink szerint leginkább a diszpergálás sikerességét).



2. ábra. Az LDM agyagtartalom változása különböző kezelésekben és vizes közegekben (az összes talajmintát együtt tekintve). Az azonos a betűvel jelölt átlagok nem különböztek szignifikánsan $p < 0,05$ -nél (One-way ANOVA). A szaggatott piros vonalak a minták ISO MÖ eredményeinek medián értékeit jelzik.

DV és IV használta mellett, az agyagtartalom nem különbözött szignifikánsan K2 (csak Calgon-oldat használata) és K4 (ultrahang+ Calgon-oldat együttes alkalmazása) között, míg a CSV esetében K4 eredményezte szignifikánsan a legmagasabb agyagtartalmat (2. ábra).

A 12 kategóriás USDA háromszögdiagramokon bemutatott eredmények (3-4. ábra) alapján megállapítható, hogy a vizes közeg megválasztásában és az előkezelésekben mutatkozó különbségek eltéréseket eredményeztek a talajminták textúra besorolásában.

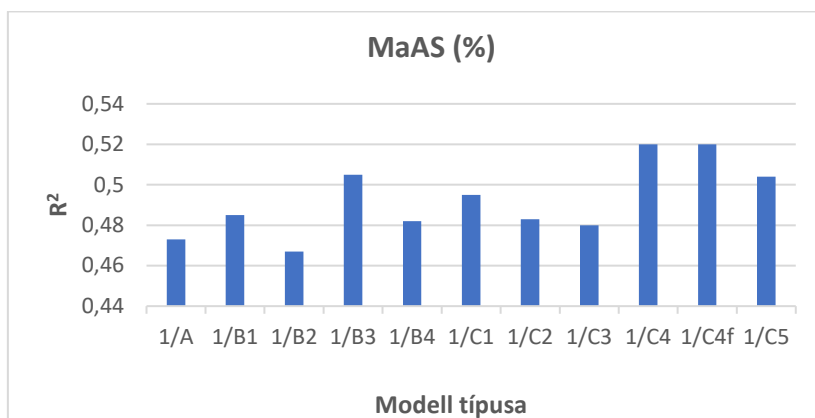
A K1(ultrahang és Calgon-oldat használata nélkül) esetében az LDM MÖ mérések a durvább részecskefrakciók túlsúlyát mutatták ki minden vizes közeg alkalmazása esetén (DV- desztillált víz, IV- ioncserélt víz, CSV- csapvíz).(3.ábra)

iránya minden esetben negatív volt, tehát a változók értékének növekedésével párhuzamosan csökkent a makroaggregátum-stabilitás értéke is. Az elemzésbe vont egyéb változók (talajtulajdonságok) és a makroaggregátum-stabilitás között gyenge, elhanyagolható kapcsolat volt tapasztalható.

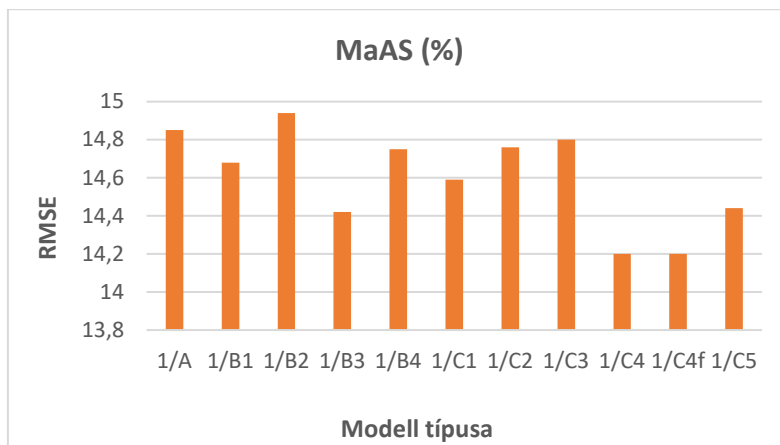
A korrelációs elemzés alapján elmondható, hogy bizonyos talajváltozók eloszlása (Na (S%); EC ($\mu\text{S}/\text{cm}$); CaCO_3 (%); humusz (%)) eltért a normál eloszlástól, ezért a Random Forest becslések előtt ezeket a változókat logaritmikus transzformációval normalizáltuk.

A humuszminőség változókat nem tartalmazó, nagyobb adatbázisból felállított 1-es típusú MaAS (%) becselő modellek ($N=177$) megmutatják, hogy a humuszminőség szerepét nem vizsgálva, mely talajtulajdonságok befolyásolják leginkább a talajok makroaggregátum stabilitását.

Az 1-es típusú MaAS% becselő a modellek többségének becslési pontossága igen gyengének bizonyult ($R^2 < 0,5$). Elfogadható becslési pontosságot mindössze 4 modell mutatott: az $1/B_3$, $1/C_4$, $1/C_{4f}$ és $1/C_5$ (5. ábra). Ugyanezeknél a modelleknél volt a legkisebb az RMSE érték is (6. ábra). Mind a négy esetben elmondható, hogy közös bemeneti adatként *földhasználatra* vonatkozó információkat tartalmaztak, míg a gyengébb becslési pontosságú modellek egyike sem alkalmazott földhasználati adatokat.



5. ábra. A makroaggregátum-stabilitást becselő 1-es típusú, humuszminőség változókat nem tartalmazó modellek statisztikai becselő pontossága (R^2)



6. ábra. A makroaggregátum-stabilitást becsülő 1-es típusú, humuszminőség változókat nem tartalmazó modellek hibája (RMSE)

A humuszminőség változókat is tartalmazó MaAS (%) adatbázis

A 2-es típusú modelleszort makroaggregátum-stabilitást becsülő modelljei a humuszminőség változókat is tartalmazó, szűkebb adatbázisból készültek (N=118), tehát csak azon minták vizsgálati eredményei kerültek a 2-es modellek alapját adó adatbázisba, ahol a humusztartalom meghaladta a 0,5%-ot, mivel kizárólag ezen minták esetében történt humuszminőség vizsgálat is.

A korrelációs mátrix elemzés egyetlen esetben sem mutatott közepes, vagy annál erősebb kapcsolatot. Biztos, de gyenge szignifikáns (***) kapcsolatot azonban több esetben is feltárt. A por (%) ($r = -0,210$), Mg (S%) ($r = -0,239$) és a pH (H₂O) ($r = -0,265$) esetében a kapcsolat negatív irányt mutatott, míg a humusz (%) ($r = +0,396$) és a C/N ($r = +0,216$) talajváltozóknál pozitív irányú kapcsolatot állapítottunk meg. Egyéb változók tekintetében korrelációs kapcsolat nem mutatkozott.

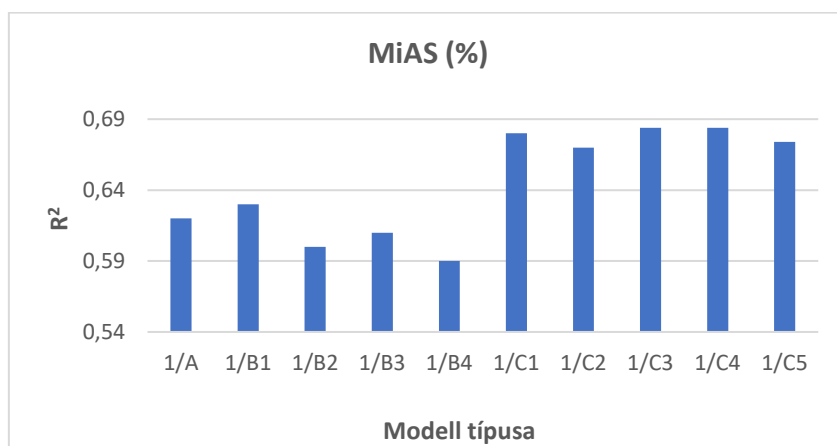
A 2-es típusú makroaggregátum-stabilitást becsülő modellek értékelése alapján elmondható, hogy egyik modell determinációs együtthatója (R^2) sem érte el a 0,5 értéket, tehát a becslések pontossága nem tartható elfogadhatónak. Az RMSE értékek az R^2 értékek növekedésével párhuzamosan csökkentek. Megállapítható, hogy hasonlóan az 1-es típusú modellekhez, a 2-es modellek esetében is meghatározó szerepe volt a makroaggregátum-stabilitás kialakításában a kémhatásnak, illetve a humusztartalomnak. A legjobbnak bizonyuló 2-es típusú MaAS (%) -t becsülő modell (2/D_{5f}) inputként alapvizsgálat+ humuszminőség+ báziscsere vizsgálatok + földhasználati adatokat tartalmazott. A modell teljesítménymutatóinak javítása érdekében előzetes rekurzív szelekció történt. A makroaggregátum-stabilitást kialakító talajtulajdonságok teljes fontossági sorrendje 2/D_{5f} modell esetében a következő volt: pH (H₂O) > Hargitai K-érték > humusz (%) > földhasználat > Hargitai Q-érték > Mg (S%) > agyag (%) > Na (S%) > EC (μS/cm) > Ca (S%).

3.3. Mikroaggregátum-stabilitás eredmények (HunSSD adatbázis)

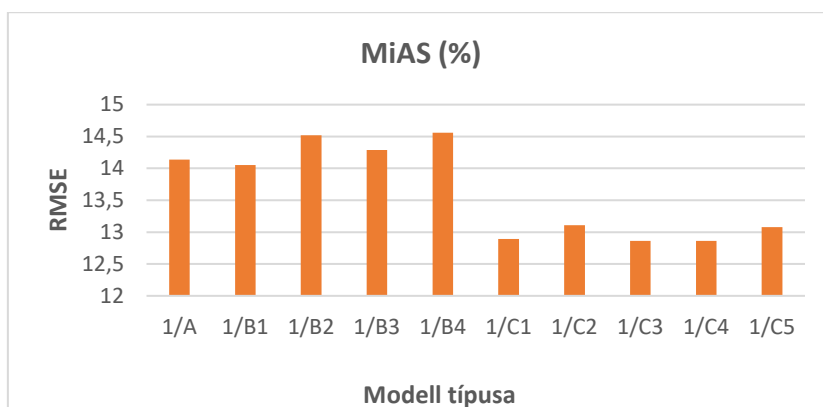
A humuszminőség változókat nem tartalmazó MiAS (%) adatbázis

Korrelációs mátrix elemzés a mikroaggregátum-stabilitás és a humuszminőség változókat nem tartalmazó talajtulajdonságok között három esetben mutatott ki szignifikáns (***) közepes korrelációt vagy jelentős kapcsolatot. Ezek a következők voltak: humusztartalom ($r=0,454$), Ca (S%) ($r=0,405$), valamint negatív irányú korreláció mutatkozott a Na (S%) esetében ($r=-0,629$). Biztos, szignifikáns kapcsolat a három változón kívül egyetlen esetben volt kimutatható, a Mg (S%) kapcsán, melynek iránya negatívnak bizonyult ($r=-0,254$). A MiAS (%) és más talajváltozók között a lineáris korreláció elemzés alapján elhanyagolható volt a kapcsolat.

Az 1-es típusú modellek RMSE értéke (a becslés hibája) minden esetben a statisztikai becslő pontossággal összefüggően alakult (az R^2 növekedésével párhuzamosan csökkent) (7-8. ábra).



7. ábra: A mikroaggregátum-stabilitást becsülő 1-es típusú, humuszminőség változókat nem tartalmazó modellek statisztikai becslő pontossága (R^2)



8. ábra: A mikroaggregátum-stabilitást becslő 1-es típusú, humuszminőség változókat nem tartalmazó modellek hibája (RMSE)

A humuszminőség változókat is tartalmazó MiAS (%) adatbázis

A lineáris kapcsolatvizsgálás két esetben mutatott ki szignifikáns (***) közepes korrelációt, tehát jelentős kapcsolatot; a Na (S%) esetében negatív ($r=-0,620$), a Ca (S%) esetében ez pozitív ($r=0,472$) volt. A korrelációs mátrix elemzés szignifikáns (***) gyenge, de biztos kapcsolatot tárt fel további négy esetben. A humusztartalom ($r=0,240$), Hargitai-féle (Q)-érték ($r=0,289$), valamint a Hargitai-féle (K)-érték ($r=0,231$) esetében pozitív irányú, míg a Mg (S%) ($r=-0,313$) negatív irányú kapcsolat mutatkozott. A MiAS (%) és egyéb talajváltozók között a lineáris korrelációs elemzés kapcsolatot nem tárt fel.

A Random Forest analízis során a 2/D modell típusok közül 2/D₅ modell bizonyult a legkedvezőbb becslő modellnek, így az előzetes rekurzív szelekció alkalmazásával megvizsgáltam a további javíthatóságát; ez a modell a 2/D_{5f} jelzést kapta. A földhasználatra vonatkozó információkat bemeneti adatként az algoritmus nem javasolta megtartani, mivel az elemzés szerint nem bizonyul fontosnak a mikroaggregátum-stabilitás kialakítása szempontjából.

4. Következtetések és a javaslatok

A lézerdiffraktometriás előkísérletek

A talajok MÖ meghatározására használt LDM mérések szakirodalmi közléseinek nagy százaléka desztillált víz, vagy ionmentesített víz használatáról számol be. A lézerdiffraktometriás készülékek gyártói változatos ajánlásokat fogalmaznak meg a víz típusának kiválasztása kapcsán. Talajminták vizsgálatára vonatkozó vízhasználat esetére egyetlen gyártó sem fogalmaz meg külön ajánlást. A szemeloszlási görbék, agyag-, por-, homok-tartalmak vizsgálata alapján elmondható, hogy az általános, módszertani fejezetben ismertetett MÖ meghatározási eljárás (Calgon-oldat+ ultrahangozás) csapvízzel (CSV) történő alkalmazása esetén jelentős szórásokat eredményezett, szemben a desztillált (DV)-, vagy ioncserélt víz (IV) használatával.

Ha vizsgáltuk az egyes vizes közegekben (DV, IV, CSV) végzett különböző kezelések (K1, K2, K3, K4) hatását, nehezen magyarázható a különböző tulajdonságú talajminták esetében kapott eltérő diszperziós sorrend. Feltehetően a párhuzamosan ható folyamatpárok (oldódás-kicsapódás, adszorpció-deszorpció, diszperzió-flokkuláció, aggregáció-dezaggregáció) egyensúlyi állapotai határozták meg az aggregátumokból felszabaduló agyag mennyiségét, por- és homoktartalmát egy megválasztott vizes közeg és kezelés esetén. Csak csekély számú publikáció található az érintett folyamatok együttes hatásairól, sokkal inkább az egyes részfolyamatok hatásairól külön-külön.

Az előkísérleti vizsgálatok tapasztalatai alapján elmondható, hogy a vizes közeg kémiai tulajdonságai (iontartalma és oldható sótartalma) befolyásolhatja a talajminták szétesésének mértékét, a diszperziót és flokkulációt, az ioncsere folyamatokat és a mesterséges termékek képződését. A teljesebb dezaggregációhoz optimális vizes közeg a *talaj tulajdonságaitól* és az alkalmazott *diszperziós módszerektől* függően is változhat.

Az aggregátum-stabilitást becsülő Random Forest modellek

A makroaggregátum-stabilitás esetében közepes korreláció kizárólag a humusztartalomnál volt tapasztalható, melynek iránya pozitív volt. Ezen lineáris kapcsolatot számos hazai és nemzetközi szakirodalmi közlés is alátámasztja (pl. BALLENEGGER, 1933; TISDALL & OADES, 1982; CHENU, 2000;).

A korrelációs elemzések alapján a HunSSD adatbázis talajainak mikroaggregátum-stabilitása legjelentősebben a Na (S%) -tól függött, de a kapcsolat iránya negatív volt, tehát magas nátrium-tartalom mellett, alacsony mikroaggregátum-stabilitás volt tapasztalható. Ez megegyezik témában íródott valamennyi szakirodalmi közlésben foglaltakkal (TOTSCHÉ et al. 2018).

A Random Forest analízis algoritmus a MaAS (%)- és MiAS (%) becslések során különböző talajtulajdonságokat, eltérő sorrendben ítélt fontosnak. Ezeket összesítve és fontosságuk mértéke szerint skálázva (6. táblázat) (az analízis

modelljeinek fontossági sorrendjében elfoglalt helyük és a pozíciók gyakoriságának alapján) megállapítható, hogy a vizsgált talajtulajdonságok közül melyek határozzák meg inkább a HunSSD adatbázis hazai talajainak makro- vagy mikroaggregátum-stabilitást. Mindemellett a táblázat megjeleníti a hazai és nemzetközi szakirodalmi közleményekben fellelhető információk összesítéseként az egyes (kizárólag a HunSSD adatbázisban is vizsgált) talajtulajdonságok kapcsolatát a makro-, és mikroaggregátumok-stabilitásával (AMÉZKETA, 1999; TOTSCHÉ et al., 2018).

6. táblázat: A makro-és mikroaggregátum-stabilitás kapcsolata a különböző talajtulajdonságokkal a szakirodalmi közlések összesítése alapján, valamint a HUNSSD adatbázis talajai esetén

Talajtulajdonságok (változók)		Makro-aggregátum stabilitás (>250µm)	HunSSD MaAS% (>250µm)	Mikro-aggregátum-stabilitás (<250 µm)	HunSSD MiAS% (<250 µm)
Elektrolit koncentráció és összetétel	pH (H ₂ O)	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓✓
	EC (µS/cm)	✗	✓✓	✓✓	✓✓
MÖ	agyag (%)	(✓)	✓✓	✓✓	✓✓
	por (%)	✗	✓✓	✗	✓
	homok (%)	✗	✗	✗	✗
Kalcium-karbonát	CaCO ₃ (%)	(✓)	✓	✓✓	✓✓✓
Báziscsere tulajdonságok	Na (S%)	✓	✓	✓✓	✓✓✓
	Ca (S%)	✓✓	✓✓	✓	✓✓✓
	Mg (S%)	✓	✓✓✓	✓✓	✓✓
	K (S%)	✓	✗	✓	✓
	T-S érték (mmol/100 g; savanyító hatású kationok)	(✗)	✓	(✗)	✓
Szervesanyag	Humusz (%)	✓✓✓	✓✓✓	✓✓	✓✓
	Hargitai Q		✓✓		✓✓✓
	Hargitai K		✓✓✓		✓
	C/N	✓	✓	✓	✗
Szelvénybeli elhelyezkedés	Feltalaj/altalaj	✓✓	✓	✓	✓
	Középmélység (cm)		✓✓		✓✓
Földhasználat (szántó, erdő, gye, ültetvény)		✓✓✓	✓✓✓	(✓)	✗

✓✓✓: erős hatás; ✓✓: közepes hatás; ✓: gyenge hatás; ✗: nincs hatás; ()= lehetséges hatás

Az egyéb talajtulajdonságok (pl. vas-tartalom meghatározás, agyagásvány összetétel elemzés stb.) vizsgálata további költségeket emésztene fel és bonyolítaná a jövőben a pedotranszfer becselő függvények alkalmazásának lehetőségét a talajok makro-, vagy mikroaggregátum-stabilitás becslése kapcsán. Azonban számos közvetetten megállapítható talajtulajdonság és információ rejtőzik akár a hazai genetikus, vagy akár a nemzetközi talajosztályozással (pl. WRB) történt talajfelvételezések jegyzőkönyveiben. Ezen értékes adatok megfelelő logikával közvetetten ugyan, de beépíthetők lehetnének a szerkezetstabilitási becslésekbe is.

Új tudományos eredmények

A lézerdiffraktometriás módszertani előkísérletek tézisei:

1. Megállapítottam, hogy a talajok **fizikai, kémiai és ásványtani tulajdonságaitól függően a különböző diszperziós módszerek eltérő LDM mechanikai összetétel eredményeket adtak különböző vizes közegek megválasztása mellett**. A jövőbeni LDM mérések szabványosítási törekvései kapcsán fel kell hívni a figyelmet arra, hogy megoldást kell találni a változatos tulajdonságokkal rendelkező talajminták szemcseméret-eloszlásának pontosabb meghatározására (lehetőség szerint teljes dezaggregációval, az elemi részecskék teljes diszperziójával, a mesterséges termékképződés kiküszöbölésével) a talajminták szemcseméret-eloszlásának pontosabb meghatározása érdekében.
2. Mivel sem a lézerdiffraktométerek gyártói, sem a vonatkozó szakirodalom nem vagy alig foglalkozik a mérőcellákba kerülő talajszuszpenzió vizes fázisának minőségével, nem tesz ajánlásokat annak megválasztására a talajok mechanikai összetételének lézerdiffrakciós módszerrel történő mérése során, módszertani előkísérletekkel, változatos talajminták vizsgálatával igazoltam, hogy **a laboratóriumunkban alkalmazott készülék** (Mastersizer 3000, Hydro LV) **és előkészítési módszertan** (Calgon + UH) **esetében a csapvíz alkalmazása semmiképp sem javasolható**. Helyette **célszerű az ioncserélt víz vagy a desztillált víz használata, melyek esetleges felcserélése** az adott módszertan mellett a mérési eredményekben **nem okoz igazolható különbséget**.

Az aggregátum-stabilitás vizsgálatokhoz kapcsolódó tézisek:

3. A **Random Forest algoritmus** segítségével megállapítottam, hogy a hazai talajadatbázisokat (AIIR, MARTHA) reprezentáló **Magyarországi Talajszerkezeti Adatbázis** (HunSSD) hierarchikus rendszerben épített aggregátum-stabilitást becslő modelljei esetében, a felhasznált bemeneti vizsgálati adatok mellett a talajok MiAS% becslése pontosabbnak bizonyult (modellek teljesítménymutatói alapján) a MaAS% becslésével szemben.
4. Fenti módszerrel vizsgáltam, hogy a különböző részletességű hazai talajadatbázisokból származó információk esetében mely talajtulajdonságok, milyen mértékben teszik lehetővé a makroaggregátum-stabilitás (MaAS (%)) becslését, illetve milyen mértékben fontosak a becslés szempontjából ezek a tulajdonságok. Megállapítottam, hogy **a MaAS (%) modell akkor a legpontosabb, amikor a talajok alapvizsgálati adatain túl rendelkezésünkre**

állnak a báziscsere vizsgálatok eredményei is, illetve információval rendelkezünk a földhasználat típusáról. Ebben az esetben a MaAS (%) szempontjából a legfontosabb talajtulajdonságok sorrendben *a talaj kémhatása, humusztartalma és kicserélhető Mg^{2+} - tartalma* volt.

5. Fenti módszerrel - az előzőekhez hasonlóan - vizsgáltam, hogy a különböző részletességű hazai talajadatbázisokból származó információk esetében mely talajtulajdonságok, milyen mértékben teszik lehetővé a mikroaggregátum-stabilitás (MiAS (%)) becslését, illetve milyen mértékben fontosak a becslés szempontjából ezek a tulajdonságok. Megállapítottam, hogy *a MiAS (%) modell akkor a legpontosabb, amikor a talajok alapvizsgálati adatain túl rendelkezésünkre állnak a báziscsere vizsgálatok eredményei is.* Ebben az esetben a MiAS (%) szempontjából a legfontosabb talajtulajdonságok sorrendben *a talaj kicserélhető Na^+ - tartalma, kémhatása és $CaCO_3$ -tartalma* volt. A földhasználat hatását a mikroaggregátumok stabilitásának szempontjából nem tudtuk igazolni.

A szerzőnek az értekezés témaköréhez kapcsolódó publikációi

Külföldi idegen nyelvű lektorált impakt faktoros folyóiratban

Makó, A., Szabó, B., Rajkai, K., Szabó, J., Bakacsi, Zs., **Labancz, V.**, Hernádi, H., Barna, Gy.: Evaluation of soil texture determination using soil fraction data resulted from laser diffraction method. International Agrophysics 11 p. (2018). Q2; IF: 1,242

Hazai idegen nyelvű lektorált folyóiratban

Labancz, V., Hernádi, H., Barna, Gy., Bakacsi, Zs., Szegi, T., Kocsis, M., Makó A. 2024. The effect of different water types used for the measurement of soil particle size distribution with laser diffraction method. Hungarian Geographical Bulletin- 21 p.Q2; IF:1,71. benyújtva

Szecsődi, O., Makó, A., **Labancz, V.**, Barna Gy., Gálos, B., Bidló, A., Horváth, A.: Using Different Approaches of Particle Size Analysis for Estimation of Water Retention Capacity of Soils: Example of Keszthely Mountains (Hungary) Acta Silvatica et Lignaria Hungarica: An International Journal in Forest, Wood and Environmental Sciences 17: 1 pp. 37-50., 14 p. (2021); Q4

Hazai magyar nyelvű lektorált folyóiratban

Labancz V., Barna Gy., Szegi T., Makó A.: A talajok aggregátum-stabilitásának vizsgálati lehetőségei I. Makroaggregátum-stabilitás Agrokémia és Talajtan 70: 1 pp. 87-109., 23 p. (2021); Q4

Makó A., Varga T., Hernádi H., **Labancz V.**, Barna Gy.: Talajminták lézeres szemcseanalízisének módszertani tapasztalatai. Agrokémia és Talajtan, 66(1): 223–250 (2017); Q4

Makó A., Hernádi H., Barna Gy., Balázs R., Molnár S., **Labancz V.**, Tóth B., Bakacsi Zs.: A talajok mechanikai összetétel vizsgálata pipettás ülepítési módszerrel: a hazai és a nemzetközi szabvány szerinti eljárások összehasonlítása és konverziója. Agrokémia és Talajtan, 66(2): 295–315 (2017); Q4

Hazai magyar nyelvű egyéb folyóiratban

Labancz, V., Makó, A., Bakacsi, Zs.: A klímaváltozás hatása a talajok vízgazdálkodására Mezőhír: Országos Agrárinformációs Szaklap 2020: 2 pp. 48-50., 3 p. (2020)

Konferencia kiadványokban, idegen nyelven

Barna, Gy.; Bieganski, A.; **Labancz, V.**; Ryżak, M.; Polakowski, C.; Sochan, A.; Bakacsi, Zs.; Rajkai, K.; Hernádi, H.; Molnár, S. et al. Comparative analysis of aggregate stability indices of typical Hungarian soil types: poster In: 22nd World Congress of Soil Science: poster book of abstracts Glasgow, Egyesült

Királyság / Skócia: International Union of Soil Sciences (IUSS) (2022) Paper: P-525

Makó, A.; **Labancz, V.**; Bakacsi, Zs.; Hernádi, H.; Barna, Gy. Methodological comparison of particle size distribution data on a nationally representative soil database in Hungary In: Artur, Zdunek; Agata, Pacek-Bienek (szerk.) 13th International Conference on Agrophysics: Agriculture in changing climate: Book of abstracts Lublin, Lengyelország : Institute of Agrophysics, Polish Academy of Sciences (2021) 213 p. p. 147 Paper: P68. , 1 p.

Barna, Gy.; Tóth, T.; **Labancz, V.**; Bakacsi, Zs.; Rajkai, K.; Hernádi, H.; Makó, András Some methodological aspects of macro-aggregate stability measurements: poster In: Vaisvalavičius, Rimantas; Povilaitis, Virmantas (szerk.) 5th international symposium of soil physics: book of abstracts Kaunas, Litvánia: Vytauto Didžiojo Universitetas (2022) 105 p. pp. 45-47., 3 p.

Barna Gy., Bakacsi Zs., **Labancz V.**, Hernádi H., Makó A.: Methodological experiences of aggregate stability measurements. In: Celkova A. (szerk): Proceedings of Transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system. 24th International Poster Day and Institute of Hydrology Open Day. Pozsony, Szlovákia, 2017.11.08. 29–35 (2017)

Labancz V., Šinkovičová M., Barna Gy., Szegi T., Tóth J., Kardos A. F., Herczeg E., Földényi R., Makó A.: Particle size distribution analysis of differently dispersed clayey soils measured by laser diffraction method. In: Celkova A (szerk): Proceedings of Transport of water, chemicals and energy in the soil-plant-atmosphere system. 24th International Poster Day and Institute of Hydrology Open Day. Pozsony, Szlovákia, 2017.11.08. 160–166 (2017)

Konferencia kiadványokban, magyar nyelven

Labancz, V.; Sinkovicová, M.; Barna, Gy.; Szegi, T.; Tóth, J.; Kardos, F A.; Herczeg, E.; Földényi, R.; Makó, A. Különbözőképpen diszpergált, nagy agyagtartalmú talajminták lézeres szemcseanalízisének módszertani tapasztalatai In: Fülek, György (szerk.) XIV. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia Gödöllő, Magyarország: MAG Mezőgazdaságért Alapítvány, (2018) pp. 170-174., 5 p.

Irodalomjegyzék

- AMÉZKETA, E., 1999. Soil aggregate stability: a review. *J. Sustain. Agr.* 14 (2–3). 83–151.
- BALLENGER R. & DI GLÉRIA J., 1962. Talaj-és trágyavizsgáló módszerek. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BIEGANOWSKI, A., RYŻAK, M. & WITOKOWSKA-WALCZAK, B., 2010. Determination of soil aggregate disintegration dynamics using laser diffraction. *Clay Min.* 45. 23–34.
- BIEGANOWSKI, A., RYŻAK, M., SOCHAN, A., BARNA, G., HERNÁDI, H., BECZEK, M., POLAKOWSKI, C. & MAKÓ, A. 2018. Laser Diffractometry in the Measurements of Soil and Sediment Particle Size Distribution *Advances in Agronomy* 151 pp. 215-279., 65 p.
- BLOTT S.J. & PYE K., 2006. Particle size distribution analysis of sand-sized particles by laser diffraction: an experimental investigation of instrument sensitivity and the effects of particle shape. *Sedimentology*, 53, 671-685.
- CHENU, C. & STOTZKY, G. 2002. Interactions Between Microorganisms and Soil Particles: An Overview, in Huang, P. M., Bollag, J.-M., Senesi, N. (eds.): *Interactions Between Soil Particles and Microorganisms—Impact on the Terrestrial Ecosystems*. John Wiley and Sons, Chichester, UK, pp. 3-40.
- FISHER, P., AUMANN, C., CHIA, K., HALLORAN, N.O. & CHANDRA, S., 2017. Adequacy of laser diffraction for soil particle size analysis. *PLoS One* 1e20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0176510>
- LE BISSONNAIS, Y., 1996. Aggregate stability and assessment of soil crustability and erodibility: Theory and methodology. *Eur J. Soil Sci.* 47 (4). 425–437.
- MAKÓ, A., SZABÓ, 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. *Agrokémia és Talajtan*. 59. 10.1556/Agrokem.59.2010.1.4.
- MAKÓ A., 2018. Új talajfizikai mérő- és becslőmódszerek kidolgozása vizes és nem-vizes folyadékfázist tartalmazó talajokra. MTA doktori értékezés. Budapest.
- MAKÓ, A., SZABÓ, B., RAJKAI K., SZABÓ, J., BAKACSI, Zs., LABANCZ, V., HERNÁDI, H., & BARNA, Gy., 2019. Evaluation of soil texture determination using soil fraction data resulting from laser diffraction method. *International Agrophysics* 33. 445-45
- MCCAVE, I. N., BRYANT, R. J, COOK, H. F. & COUGHANOWR, C. A., 1986. Evaluation of a laser-diffraction size analyzer for use with natural sediments. *Research Methods Papers*. 561–564.
- POLAKOWSKI, C., RYŻAK, M., SOCHAN, A., BECZEK, M., MAZUR, R. & BIEGANOWSKI, A. 2021 Particle Size Distribution of Various Soil Materials Measured by Laser Diffraction—The Problem of Reproducibility. *Minerals* 11. (5): 465. <https://doi.org/10.3390/min11050465>
- RYŻAK, M. & BIEGANOWSKI, A., 2011. Methodological aspects of determining soil particle-size distribution using the laser diffraction method. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 174, 624e633. <https://doi.org/10.1002/jpln.201000255>.
- TISDALL, J.M. & J.M. OADES. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soil. *J. Soil Sci.* 33:141–163.
- TOTSCHKE, K.U., AMELUNG, W., GERZABEK, M.H., GUGGENBERGER, G., KLUMPP, E., KNIEF, C., LEHNDORFF, E., MIKUTTA, R., PETH, S., PRECHTEL, A., RAY, N. & KÖGEL-KNABNER, I., 2018. Microaggregates in soils. *J. Plant Nutr. Soil Sc.* 181 (1). 104–136.
- VAGELER, P., 1932. *Der Kationen- und Wasserhaushalt des Mineralbodens: Vom Stand-punkt der Physikalischen Chemie und Seine Bedeutung für die Land- und Forstwirtschaftliche Praxis*. Springer, Verlag Berlin Heidelberg.
- WRIGHT, M. N., & ZIEGLER, A. 2017. Ranger: A Fast Implementation of Random Forests for High Dimensional Data in C++ and R. *Journal of Statistical Software*, 77(1), 1-17.
- YANG, X., ZHANG, Q., LI, X., JIA, X., WEI, X. & SHAO, M., 2015. Determination of soil texture by laser diffraction method. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 79, 1556.