

**Talajszuszpenziók reológiai vizsgálata**

**Czibulya Zsuzsanna**

Témavezető: Dr. Tombácz Etelka  
egyetemi tanár, MTA doktora

## Előzmények és célkitűzések

A talaj a kőzetburok legkülső termékeny rétege, mely a külső hatásokkal szemben egyensúly kialakítására törekszik. Számos fontos funkcióval rendelkezik, ezek közül a legfontosabb, hogy a növényeket tápanyaggal és vízzel látja el. Szerkezete igen összetett, és természetes körülmények közt képes regenerálódni a károsító hatások megszűnte után, de ezt a törékeny egyensúlyt az emberi beavatkozás könnyen megbonthatja.

Mivel világszerte fokozódó probléma a talajok degradációja, valamint egyre nagyobb területeken száradnak ki a talajok, és egyre kiterjedtebbek a sivatagok, így a talajdegradációs folyamatok időben való előrejelzése is egyre fontosabbá válik. Számos kutatási projekt tűzte ki azt a célt, hogy megfelelő indikátort találjon a talajok degradációjának előjelzésére; több kevesebb sikerrel bonyolult modelleket alkottak, illetve képesnek bizonyultak számos paraméter meghatározásával, hosszú évek kutatási eredményeiből megjósolni bizonyos talajtani változásokat. Sajnos eddig nem találtak olyan mérhető paramétert, mely a többivel korrelálva önmagában is képes előre jelezni a talajszerkezeti változásokat. További problémát jelent, hogy a már meglévő módszerek alkalmazásához szakemberek, drága műszerek, laboratóriumi körülmények szükségesek, így ezek a módszerek a termelésben dolgozók számára többnyire elérhetetlenek.

A reológia az anyag külső deformáló hatásokkal szemben tanúsított, folyással együtt járó viselkedését írja le. A szuszpenziók reológiája évtizedek óta a figyelem középpontjában áll, főleg ipari (kerámia- és élelmiszeripari) felhasználhatóságuk miatt. E módszer segítségével információt kaphatunk a szuszpenziókban kialakuló részecsketérhálók szerkezetének erősségéről, nyírással szembeni ellenállóképességükről. Reológiai mérésekkel a szerkezetre jellemző, kvantitatív paraméterek nyerhetők. Ezek kapcsolatba vannak a talajmechanikai módszerrel (torziós erő mérésen keresztül) meghatározható (ASTM Standard, D 2573-94) nyírófeszültség értékével. A szuszpenziókban kialakuló szerkezet szilárdságát befolyásolja a térfogategységben levő, dinamikailag viszonylag önálló részecskék száma, a köztük levő kötésponatok száma és erőssége, tehát a részecskék közti adhéziós erők.

A reológia módszerét már korábbi kutatások is alkalmasnak találták tömény szuszpenziók (pl. cement és agyagásványszuszpenziók) nyírási ellenállásának, fizikai térhálójuk erősségének jellemzésére. A releváns irodalmak csak a talaj mikroszerkezetét és az azt érő változásokat kívánták vizsgálni, a mezőgazdasági nagy gépek hatásait például oszcillációs mérésekkel modellezték. Nem találtam viszont közleményeket sem a kialakuló fizikai térháló erősségét jellemző, a talajok nyírási ellenállásának meghatározására kidolgozott mérési eljárásra, sem az ehhez szükséges talajszuszpenziók készítésének leírására. A kutatómunkát egy „Indicators and thresholds for desertification, soil quality, and remediation” című FP6 európai projekt (INDEX - GOCE-CT-2003-505450) keretében folytattam.

Célul tűztem ki a reprodukálható reológiai mérésekhez szükséges talajszuszpenziók készítési eljárásának, valamint a folyásgörbe és nyírási-ellenállási görbék mérési metodikájának kidolgozását.

További célom volt, nem szakértők számára is használható, a talajszerkezetet jellemző módszerek kidolgozása, ezek eredményeinek a meghatározott reológiai paraméterekkel való összevetése, egyszerű talajtani vizsgálati módszerként való alkalmazhatóságuk bizonyítása.

## Kísérleti anyagok és módszerek

Kísérleteimhez különböző ásványi összetételű és minőségű talajmintákat használtam, melyek Európa különböző területeiről (Magyarország, Németország, Olaszország, Spanyolország) származtak. A német Puch melletti kísérleti területeken különböző mértékű romboló hatással bíró gazdálkodás, az olasz Basilicata és Tuscany területén hagyományos és bio gazdálkodás folyik, míg a spanyol El Aguilucho területén különböző talajművelés (teraszos művelés, újraerdősítés, mikorrhiza és/vagy szervesanyag adagolása, és ezek kombinációi), a szintén spanyol Tres Caminos és Abanilla területén pedig talajjavítási kísérletek folynak (szervesanyag adagolása, mikorrhiza bekeverése a talajba, komposzt-, humoenzim-, szennyvíziszapadagolás), illetve vizsgálják a területek eróziójának (magyar minták, Gödöllő) vagy növényi borítottságának hatását (Santomera katéna) a talajok szerkezetére. Munkám során 9 mintázási helyről származó, két egymásutáni évben mintázott talajokat vizsgáltam, 2004-ben 48 és 2005-ben pedig 43-féle talajból készült szuszpenzió mérésére került sor. A szuszpenziókat desztillált vízzel készítettem. A szuszpenziókészítéshez a talajok 1 mm-nél kisebb szitafrakcióját használtam. Az eredményekből a disszertáció korlátozott terjedelme miatt csak néhányat tudok bemutatni.

Kémcsőkísérletek segítségével meghatároztam a szuszpenziók összehasonlítható állapotban jellemző víztartalmát (WCSSinCS). A szuszpenziókészítés menete a következő volt: 10 ml-es kalibrált kémcsőbe bemértem  $4 \pm 0,01$  g ( $m_s$ ) talajt (<1 mm-es szitafrakciót) és 10 ml desztillált vizet adagoltam hozzá. Kb. egy percre üvegbot segítségével homogenizáltam a szuszpenziót, majd 10 másodpercre ultrahangos kádba helyeztem azt. A keverési folyamatot egy órán belül, még kétszer megismételtem. A kémcsövet ezután néhányszor óvatosan átforgattam, hogy a levegő buborékok távozzanak, majd vízszintezett állványba állítottam, és egy hétig szobahőmérsékleten állni hagytam. Az üledék térfogatból ( $V_{sed}$ ), valamint a bemért talajok tömegéből ( $m_s$ ) a következő képlet segítségével határoztam meg a WCSSinCS értékét.

$$WCSSinCS = 100 (V_{sed} - m_s f / \rho_s) / (V_{sed} - m_s f / \rho_s + m_s f)$$

Ahol a víz sűrűsége  $\rho_w \sim 1$ , a talaj sűrűsége  $\rho_s = 2,6-2,65$  g/cm<sup>3</sup> közötti érték, az f faktor pedig a talajok eltérő nedvességtartalmát veszi figyelembe ( $f = (100 - \text{nedvesség } \%) / 100$ ).

Annak a ténynek az alátámasztásául, hogy a WCSSinCS, mely a talajok vízmegtartóképességével jól korrelál, jellemzi a talajminőséget, meghatároztam néhány minta esetén a hazánkban használatos Arany-féle kötöttségi számot ( $K_A$ , cm<sup>3</sup>/100g) a szokásosnál kisebb mennyiségekkel. 15 g talajmintát dörzsmozsárban elporítottam, és desztillált vizet adagoltam hozzá, míg csomómentesen képlékeny pépet nem kaptam. Ezután a minta kis mennyisége miatt, cseppenként adagoltam az desztillált vizet, míg el nem értem a képlékenységi felső határát, amit a fonalpróbát elvégezve határoztam meg. A kapott értékeket átszámoltam a MSZ-08 0205:1978 szabványban megszabott, 100 g mennyiségű talajmintára. A meghatározott értékeket összevettem a WCSSinCS értékekkel.

A reológiai méréseket HAAKE RS 150 reométerrel végeztem, HAAKE DC 30/K20 termosztát által biztosított  $25 \pm 0,1$  °C hőmérsékleten. A nyírási-ellenállási görbéket Vane módszerrel, FL20 mérőfejjel, a folyásgörbéket pedig lap-lap geometriájú PP20Ti mérőfejjel sebesség kontrollált üzemmódban határoztam meg. A mérési eredményeket a RheoWin Data Manager programmal értékeltem.

A folyásgörbék meghatározásánál a szuszpenziók tixotróp jellegét, érintésre való érzékenységüket figyelembe véve a mérőfej megközelítését alacsony sebességre (1,25 mm/perc-re) állítottam, hogy a szuszpenzióban kialakult szerkezet mérés előtt ne sérüljön. A mért szuszpenzióréteg (kb. 5 g) vastagsága 4 mm volt. A folyásgörbe méréseket 0,01-10 1/s

sebességgradiens ( $d\gamma/dt$ ) értékek közt végeztem, 60 másodpercig növelve, majd 60 másodpercig csökkentve a forgási sebesség értékét. A folyásgörbékből meghatároztam a kezdeti maximum ( $\tau_{i\max}$ , Pa), a tixotróp hurok nagysága ( $\Delta t_{i\max}$ , Pa/s), valamint a Bingham-féle egyenlet segítségével,  $\tau = \tau_B + \eta_{pl}(d\gamma/dt)$  a Bingham-féle folyáshatár ( $\tau_B$ , Pa) és a plasztikus viszkozitás ( $\eta_{pl}$ , Pas) értékét.

Az abszolút folyáshatárt ( $\tau_0$ , Pa), mely a részecskék közti kötőerőket jellemzi, és a kötések elszakadásához szükséges nyírófeszültséget adja meg; nyírási ellenállási görbék mérésével határoztam meg. A vane mérőfejet a talajszuszpenzió közepébe helyezve, konstans (nagyon alacsony, 0,1 1/s sebességgradiensnek megfelelő) szögsebességet beállítva, általában 120 másodpercig mértem, 5 mm-es tálca-mérőfej távolság beállítással. A maximális nyírófeszültség értéket a RheoWin szoftverrel határoztam meg.

A meghatározott reológiai paraméterek változását összevettem az INDEX projekt más kutatócsoportjai által meghatározott, a talaj szervesanyag-tartalmát jellemző Chum, TOC és OM értékek változásával. (Ahol Chum, ppm a humuszanyagból származó széntartalom, amelyet 1:20 (szilárd: folyadék arányú) nátriumpirofoszfát extraktum (pH 9.8) szűrése ill. centrifugálása után Shimadzu TOC5050A TOC készülékkel; a TOC, g/100g a teljes szerves széntartalom melyet savas közegben végzett  $K_2CrO_7$  oxidációval, a felesleges dikromátot  $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$  mérőoldattal visszatitrálva határoztak meg, az OM pedig a TOC, g/100g értékéből (1,72-szeres TOC) számolt szervesanyag-tartalom.)

Az egyensúlyi üledék tömörségére jellemző rediszpergálhatóság vizsgálatát kémcsőkísérletként végeztem. Minden egyes talajmintából 2 g-ot kémcsőbe mértem, és 4 g desztillált vizet adtam hozzá (így biztosan mindegyik esetben azonos mértékű feleslegben volt a desztillált víz), majd homogenizáltam a szuszpenziókat, üvegbotos keverés és ultrahangozás segítségével. A szuszpenziókat egy hétig, szobahőmérsékleten állni hagytam, hogy beálljon az egyensúly. A kémcső alján kialakult az egyensúlyi üledék, fölötte pedig megjelent a vízfelesleg; majd határozott mozdulatokkal, addig forgattam a kémcsövet, míg a kémcső alján kialakult egyensúlyi üledék rediszpergálódott. A szükséges forgatások mennyiségét a WCSSinCS értékekkel összevettem.

A terepi méréseket kohéziómérővel végeztem (Pocket Vane Tester, Eijkelkamp, Agrisearch Equipment), ami a talaj felső rétegének nyírással szembeni ellenállásának (kohéziójának) mérésére használható. A talajkohézió a talaj szerkezetét, annak erősségét jellemzi. A megfelelően előkészített terepen, 50\*50 cm-es parcellákon (sima felület, vízzel telítve, megfelelő állási idő után) a műszer mérőfejét, a csillagrotort a vízzel telített talajrétegbe nyomva a kohéziómérő felső rugós erőmérő részét addig csavarjuk állandó sebességgel ill. erővel, míg a talajrétegbe merülő mérőfej el nem fordul. Az így meghatározott értékeket egy táblázat segítségével átváltottam Pa-ra, majd összehasonlítottam az azonos hőmérsékleten és víztartalom mellett, a laboratóriumban az ugyanolyan összetételű szuszpenziókra meghatározott abszolút folyáshatár értékekkel.

## Új tudományos eredmények

1. Kidolgoztam a szélsőségesen eltérő ásványi és szemcseméret összetételű talajmintákból a reprodukálható reológiai mérésekre alkalmas, összehasonlítható állapotú vizes szuszpenziók készítésének módját.

1.1. A homogén szuszpenzió készítéséhez csak az 1 mm-nél kisebb szemcséket tartalmazó talajfrakciót lehet használni. Megállapítottam, hogy a mérhető koncentráció tartomány (melynek végpontjai: a legkisebb víztartalom érték, amely éppen átnedvesíti a szemcséket és a legnagyobb, amelyet az egyensúlyi üledékben még meg tud tartani a szemcsehálózat) nagyon eltérő a vizsgált talajmintákra. Az egyensúlyi üledékek víztartalma (a szilárd és vizes fázis egyensúlyi aránya) a talaj szilárd fázisának határfelületi és kolloid állapotával egyértelműen változik, így a talajok szerkezetképzésére jellemző; a jelentősen különböző talajmintából készült, de az egyensúlyi üledéknek megfelelő víztartalmú talajszuszpenziók összehasonlítható állapotban vannak.

1.2. Megállapítottam, hogy a talajszuszpenziók összehasonlítható állapotban meghatározott víztartalma (water content of soil suspensions in corresponding state - WCSSinCS) korrelál az ismert talajminőséget jellemző vízmegtartóképességgel (water holding capacity - WHC), így a talajok minősítésre használható.

1.3. Megállapítottam továbbá, hogy az általam vizsgált talajokra a meghatározott WCSSinCS értékek egyenes arányosan változnak, a magyar talajtani gyakorlatban használatos Arany-féle kötöttségi ( $K_A$ ) szám értékével. A WCSSinCS és a  $K_A$  értékek összevetéséből származó eredmények alátámasztják, hogy a WCSSinCS értékek alapján minősíthetjük a talajokat.

1.4. Feltételeztem, hogy a talajszuszpenziók egyensúlyi üledékeinek rediszpergálhatósága jellemezni a talajok kötöttségét, hiszen minél kötöttebb a talaj, annál kevesebb vizet képes felvenni és annál nehezebben diszpergálhatók a szemcsék. A mérések azonban azt bizonyították, hogy ez a módszer nem megfelelő sem a talajminták kötöttségének, sem szerkezeti erősségüknek jellemzésére, mivel az eredmények nem mutattak releváns különbséget és szisztematikus sorrendet.

1.5. Megállapítottam, hogy különféle talajokból azonos koncentrációjú szuszpenziók csak korlátozottan készíthetőek, hiszen a talajminták vízmegtartóképessége igen különböző. Az összes talajmintát így nem lehet összehasonlítani, csak bizonyos esetekben lehet néhány minta azonos koncentrációjú szuszpenzióját egymáshoz viszonyítani.

1.6. A reológiai mérések reprodukálható kivitelezése érdekében kidolgoztam a talajszuszpenziók készítésének és kezelésének módját a talajszemcsék homogenizálása, az egyensúly kialakulásához szükséges állás ideje, hőmérséklete és a szuszpenzióban megjelenő, zavaró harmadik fázis (légbuborékok) eltávolítása tekintetében. A talajminták <1 mm szitafrakcióinak vízzel való homogenizálását (üvegbottal és ultrahangozással) a mérés hőmérsékletén ( $25 \pm 1^\circ\text{C}$ ) kell elvégezni, a légbuborékokat kocogtatással kell eltávolítani és a szuszpenziókat legalább 1 napon át ezen a hőmérsékleten kell tárolni.

2. Standardizáltam a talajszuszpenziók reológiai méréseinek körülményeit. A viszkoplasztikus talajszuszpenziók folyásgörbéit az úgynevezett kis nyírás (low shear) tartományában kell mérni, mert a talajokat érő természetes (pl. lejtőn csúszás) és mesterséges (pl. művelés) nyíró hatások is feltehetően ebben a tartományban mozognak. A folyásgörbékkel meghatározható paraméterek közül a folyásgörbe kezdeti maximuma és a tixotróp hurok nagysága az időben lassan kialakuló (tixotróp), egyensúlyi részecske térháló deformálhatóságára jellemző. A talajszuszpenziók nyírási-ellenállási görbéiből meghatározott abszolút folyáshatár, mely a részecskék közti kötőerőket jellemző, a kötések elszakadásához szükséges nyírófeszültség, arányos a kohezív talajok ASTM Standard (D 2573-94) szerint mért nyírófeszültséggel.

3. A 2 éven keresztül, 9 európai helyről, a mezőgazdaság hatásait modellező kísérleti területről, illetve talajjavítási kísérletekből származó talajmintákból készített összehasonlítható állapotban lévő szuszpenziók reológiai vizsgálata alapján megállapítottam, hogy a folyás típusa viszkoplasztikus, néhány esettől eltekintve a közepes adhéziójú részecsketérhálókra jellemző (nagy kezdeti maximum után lecsengő) tixotróp hurokkal; a mérések reprodukálhatósága mintától függően változik, a paraméterek átlagtól való eltérése néhány extrém rosszul mérhető minta kivételével, 1-33 százalék közötti. Megállapítottam továbbá, hogy a reológiai paraméterek egymással párhuzamosan változnak, így elegendő egyféle paramétert megmérni. Javaslom az abszolút folyáshatár meghatározását, ami a talajok nyírással szembeni ellenállásával arányos és e paraméterrel releváns terepen a kohéziós erő mérés (ASTM Standard Test Method for Field Vane Shear Test), ami a talaj szerkezetét és annak erősségét jellemzi.

4. Az ugyanazon talajszuszpenziókra, azonos körülmények (azonos víztartalom, hőmérséklet, állási idő) között párhuzamosan végzett terepi kohéziómérés és laboratóriumi körülmények közötti abszolút folyáshatár meghatározás alapján megállapítottam, hogy a kohéziós erők jól korrelálnak az abszolút folyáshatár értékekkel. A terepi kohéziómérő alkalmas lehet adott területek szerkezeti stabilitásának időbeli monitorozására.

5. A talajszuszpenziók jellemző víztartalmainak és a reológiai paramétereinek összehasonlítása alapján megállapítottam, hogy általában minél nagyobb a víztartalom, annál kisebb a szuszpenziók nyírással szembeni ellenállása, azaz annál folyékonyabbak, de az összes vizsgált talajminta szuszpenziójának reológiai eredményei érdemben nem összehasonlíthatók. Csak az azonos ásványi összetételű, a hasonló gazdálkodásnak vagy talajjavítási kísérletnek alávetett területekről származó szuszpenziók reológiai mérései adnak összehasonlítható eredményeket.

6. A nagyszámú talajminta sokféle paramétere között összefüggést keresve arra a következtetésre jutottam, hogy katénák, illetve remediációs kísérletek mintáin belül az általam meghatározott víztartalom (WCSSinCS) és abszolút folyáshatár értékeket érdemes összehasonlítani az INDEX projekt adatbázisában lévő, a talajok szervesanyag-tartalmát jellemző paraméterekkel (Chum, TOC, OM). Ennek alapján az alábbiak állapíthatók meg:

6.1. Az extrém művelési kísérlet (német Puch) hatására a mintákban csökkenő szervesanyag-tartalommal a talajok vízmeztartóképessége is csökken. Ezzel párhuzamosan a szerkezeti romlást nyilvánvalóan jelzi az abszolút folyáshatár értékeinek graduális csökkenése.

6.2. A bio és a hagyományos gazdálkodási terület (olasz Basilicata, Tuscany) mintái közül a hagyományos művelésből származók – valószínűleg a magas só-tartalmuk miatt – lényegesen nagyobb vízmennyiség megtartására képesek, mint a bio gazdálkodásból származóak. A magas vízmeztartó képesség, magasabb TOC értékekkel, de gyengébb talajszerkezettel, a nagy víztartalmú szuszpenziók kisebb nyírási ellenállásával párosul.

6.3. A növényi borítottság növekedése a spanyol Santomera katéna mintái esetén egyértelműen erősíti a talajszerkezetet, talaj megkötése mellett, hosszú távon növeli a szervesanyag mennyiségét is. A növényi borítottság növekedésének hatására a talajszuszpenziók nyírási ellenállása a növekedő vízmeztartóképesség ellenére nő.

6.4. A spanyol Tres Caminos-i talajjavítási kísérlet sikerrel járt, ami a kontroll mintához viszonyított vízmeztartóképesség növekedésben, és a szerkezet növekvő nyírási

ellenállásában is megnyilvánul, de ez a két változás nem egy irányba mutat. Más sorrend állítható fel a víztartalmak növekedése és más a nyírási ellenállás növekedése alapján, ezért mutathat az előbbi mintázási helyekhez képest ellentétes változást (és egy harmadik sorrendet) az abszolút folyáshatár-szervesanyagtartalom görbe.

6.5. A spanyol Abanilla területén folytatott hosszútávú szennyvíziszap-adagolós kísérlet talajszerkezet javító hatása a szervesanyagtartalommal növekedő abszolút folyáshatár értékben (és az ezzel párhuzamosan változó összes reológiai paraméter növekedő értékében) nyilvánul meg. Aminek oka, hogy a humuszanyagok mennyiségüktől függően diszpergáló vagy aggregáló hatással bírnak. Amennyiben megfelelő mennyiségű szerkezetépítő kation van jelen az aggregáló hatás mutatkozik meg. A talajösszetételi adatok (<http://www.soil-index.com/>) alapján ezek a talajok hozzáférhető karbonáttartalma 50% körüli (15-30 meq  $\text{Ca}^{2+}$ /100g), ami a 1,5 százalékos szervesanyagtartalomhoz még elegendő, de 2% szervesanyagtartalom esetén kevésnek bizonyult, így ez esetben megfigyelhető a hozzáférhető kalcium ionok mennyiségéhez viszonyítva túlzott szervesanyag adagolás elfolyósító hatása is.

6.6. A teraszos kísérletek (spanyol El Aguilucho) eredményeiből arra következtettem, hogy a teraszos művelés önmagában nem javítja a talaj szerkezetét, még a vízmegtartóképesség sem javul minden esetben. Teraszos újraerdősítés és szervesanyag adagolás kombinációjával, illetve a teraszos újraerdősítést kombinálva talajhoz kevert mikorrhiza adagolással viszont jelentős javulás érhető el, ami hosszú távon nemcsak a vízmegtartóképesség növekedésben, de határozott abszolút folyáshatár növekedésben is megnyilvánul.

Összességében elmondható, hogy a reológiai módszer alkalmas a talajok szerkezeti degradációjának előrejelzésére. Adott mintasorozatnál, azonos talajféleség összehasonlítása esetén a katenát alkotó talajminták (melyek például azonos növénytakaróval, de különböző növényi borítottsággal rendelkeznek), a különbözőképpen művelt talajok, illetve az egy adott területen végzett talajjavítási kísérlet mintáinak reológiai paraméterei általában a szuszpenzió víztartalmának növekedésével csökkennek; a szervesanyagtartalom növekedésével viszont csak akkor növekednek, ha a szerkezetépítő kationok (pl.  $\text{Ca}^{2+}$ ) is hozzáférhetőek, optimális szervesanyagtartalom:  $\text{Ca}^{2+}$  arány esetén alakul ki nyírásnak ellenálló aggregált szerkezet.

### **Gyakorlati alkalmazási lehetőségek**

1. Egyszerű kémcsőkísérletek alapján meghatározható a talajokra összehasonlítható állapotban jellemző víztartalom értéke, a WCSSinCS, mely értékkel a talajok vízmegtartóképessége, és a növényeket tápanyaggal való ellátásának mértéke jellemezhető. Így a talajdegradáció egy nagyon egyszerű kísérlettel követhető.

2. Laboratóriumi körülmények között meghatározható az azonos módon előkészített, azonos körülmények között tárolt és mért talajszuszpenziók nyírási ellenállására jellemző abszolút folyáshatár értéke, mely a többi reológiai paraméterrel párhuzamosan változik.

3. Terepi kohézió mérések alapján jellemezhető az adott nedvességtartalmú talaj szilárdsága, nyírási-ellenállása, így alkalmas lehet adott területek szerkezeti stabilitásának időbeli monitorozására.

4. A reológiai módszer egyértelműen alkalmas a degradálódott vagy szerkezetnélküli talajok szerkezetjavításának optimalizálására, így a jövőben javasoljuk a használatát a költséges szántóföldi kísérletek előtt.

## **Az értekezés témájában megjelent dolgozatok:**

### **Folyóiratban megjelent közlemények:**

T. Szegi, E. Tombácz, Zs. Czibulya, J. Akagi, A. Zsolnay: Quantitative rheological indicators for soil physical degradation, *Agrokémia és Talajtan* 55. 2006. 1. 69–78. (Új tudományos eredmények: 3., összegzés)

T. Szegi, Zs. Czibulya, M. Makádi, B. Szeder: Szerves – szervesetlen adalékanyagok hatása a nyírségi homoktalajok talajszerkezeti, nedvességgazdálkodási tulajdonságaira és a terméseredményekre, *Talajvédelem, különszám, Talajtani vándorgyűlés Nyíregyháza, 2008. május 28-29., Talajvédelmi Alapítvány, Bessenyei György Könyvkiadó, p.:163-168.* (Új tudományos eredmények: összegzés )

Zs. Czibulya, E. Tombácz, T. Szegi, E. Michéli, Á. Zsolnay, 2008. Rheology of soil suspensions in corresponding state (beküldve 2008.09.03., *Geoderma*, GEODER4630, IF: 1,898) (Új tudományos eredmények 1-5., Gyakorlati alkalmazási lehetőségek: 1-3.)

Zs. Czibulya, E. Tombácz, T. Szegi, E. Michéli, Á. Zsolnay, 2009. Rheology as a new tool indicating structural changes in Soil Catenae (beküldésre előkészítve *European Journal of Soil Science*, IF: 2,73) (Új tudományos eredmények: 6.1., 6.2., 6.3., Gyakorlati alkalmazási lehetőségek 4.)

Zs. Czibulya, E. Tombácz, T. Szegi, E. Michéli, Á. Zsolnay, 2009.: Adaptation of rheological method to monitor the efficiency of soil remediation (beküldésre előkészítve *European Journal of Soil Science*, IF: 2,73) (Új tudományos eredmények 6.4., 6.5, Gyakorlati alkalmazási lehetőségek 4.)

### **Proceeding kötetek:**

Zsuzsanna Czibulya, Junko Akagi, Etelka Tombácz, Ádám Zsolnay, Rheology as a New Tool in Structural Characterization of Soils: the Relationship between Rheological Parameters and the Organic Matter Content, *Proceedings of the 13<sup>th</sup> Meeting of the International Humic Substances Society, July 30-Aug. 4, 2006. Karlsruhe, Germany, Humic Substances – Linking Structure to Functions* (Eds. F.H.Frimmel, G.Abbt-Braun) *Universität Karlsruhe (TH)*, pp. 585-588. (Új tudományos eredmények: 3., 6.1., 6.3., 6.6., Gyakorlati alkalmazási lehetőségek: 2.)

Zsuzsanna Czibulya, Zsuzsanna Benyhe, Etelka Tombácz, Rheological Investigation of Soil Suspensions for Early Indication of Structural Degradation in European Soils, *Proceedings of the 13th Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, 25 September 2006.* (Ed. Z. Galbács), *SZAB, Szeged, Hungary*, pp. 277-280. (Új tudományos eredmények: 1.1., 3., Gyakorlati alkalmazási lehetőségek: 2.)



### **Előadások absztraktjai:**

Zs. Czibulya, E. Tombácz: Mi az INDEX az EU 6. keretprogramjában? XXVII. Kémiai előadónapok, Szeged, Október 25-27. 2004. Absztrakt kivonat 146. o.

### **Absztrakt nélküli előadás:**

Zs. Czibulya, E. Tombácz: Organic matter content and structure of soils: relationships based on the rheological investigation of soil suspensions, IHSS/HCh-4, Budapest, Hungary, 19<sup>th</sup> November, 2005.

Zs. Czibulya, E. Tombácz: A talajszerkezet reológiai jellemzése, IHSS/HCh-6, A humuszanyagok jelenléte és jelentősége vizekben és talajokban, Karcag, 2008. október 30.

### **Posztterek összefoglalói:**

Zs. Czibulya, K. Kovács, E. Tombácz: Is it too late to prevent desertification? What is INDEX in the FP6 call of EC?, 8<sup>th</sup> International Symposium on Interdisciplinary Regional Research, Hungary-Romania-Serbia and Montenegro, Apr 19-21. 2005. Szeged, Hungary, EEP10 presentation on CD of ISIRR8

Zs. Czibulya, K. Kovács, E. Tombácz

Early indicators of desertification, rheological measurements of soil suspensions within a running project of the FP6 of EC, VIII<sup>th</sup> International Symposium "Young People and Multidisciplinary Research", Timișoara 11-12 May 2006, ISBN-10-973-8359-39-2, CD, p. 51-52.

E. Tombácz, A. Majzik, Zs. Czibulya, K. Kovács, Particle network formation soils: is there aggregating or dispersing effect of humic substances?, IAP 2006., IV. International Conference Interfaces Against Pollution, June 4-7, 2006. Granada, Spain, Book of Abstract, p. 36-37.

Zsuzsanna Czibulya, Junko Akagi, Etelka Tombácz, Ádám Zsolnay, Rheology as a New Tool in Structural Characterization of Soils: the Relationship between Rheological Parameters and the Organic Matter Content, 13<sup>th</sup> Meeting of the International Humic Substances Society, July 30-Aug. 4, 2006. Karlsruhe, Germany

Zsuzsanna Czibulya, Etelka Tombácz, Rheological Investigation of Soil Suspensions for Early Indication of Structural Degradation in European Soils, 20th Conference of the European Colloid and Interface Society (ECIS) and 18th European Chemistry at Interfaces Conference (ECIC), Budapest, Hungary, Sept 17-22. 2006. Book of Abstracts p. 411.

Zsuzsanna Czibulya, Zsuzsanna Benyhe, Etelka Tombácz, Rheological Investigation of Soil Suspensions for Early Indication of Structural Degradation in European Soils, The 13<sup>th</sup> Symposium on Analytical and Environmental Problems, Szeged, Hungary Sept 25, 2006.

Zsuzsanna Czibulya, Junko Akagi, Etelka Tombácz, Ádám Zsolnay, Characterization of structural degradation in soils, 9th Conference on Colloid Chemistry, Oct. 3-5. 2007. Siófok, Hungary

**Az értekezés témájához közvetlenül nem kapcsolódó dolgozatok:**

**Folyóiratban megjelent közlemények:**

I.Labádi, Zs. Czibulya, R. Tudose and O. Costisor: Thermal behaviour of complexes of antipyrine derivatives II, , Journal of Thermal Analyses and Calorimetry, Vol. 78 (2004) p. 965-972.

**Előadások absztraktjai:**

Zsuzsanna Czibulya, Imre Labádi, Preparation, Thermoanalytical and IR Study of Cu (II)-and Zn(II)-, Ni (II) and Co(II) Complexes with Imidazole, The VIII<sup>th</sup> International Symposium “Young People and Multidisciplinary Research” Abstracts, Timisoara, 2006., p. 51.

**Poszterek összefoglalói:**

Sándor Puskás, Éva Bazsó, Ádám Juhász, Zsuzsanna Czibulya, Imre Dékány 2008., Structural and rheological properties of o/w and w/o nanoemulsions using nonionic surfactant mixtures, 17<sup>th</sup> International Symposium on Surfactants in Solution, Berlin 17-22. August 2008. cd. P68.