

A talajok szemcseösszetételének vizsgálata során alkalmazott különböző előkészítési módszerek összehasonlító értékelése

Makó András

Pannon Egyetem Georgikon Kar, 8360. Keszthely, Deák F. u. 16, mako@georgikon.hu

Hernádi Hilda

Pannon Egyetem Mérnöki Kar, 8600. Veszprém, Egyetem u. 10, hhilduci@freemail.hu

ÖSSZEFOGLALÁS: A szemcseösszetétel vagy mechanikai összetétel mérési módszerek összehasonlítása során gyakran felmerülő kérdés, hogy mely mérési, illetve előkészítési módszer tekinthető jónak, elfogadhatónak. A kérdés megválaszolásához hozzásegíthet bennünket, ha a mechanikai összetétel mérési eredményeket összevetjük olyan egyéb, azonos mintaállományon meghatározott talajfizikai paraméterekkel, melyek kapcsolata egyébként a mechanikai összetétel eredményekkel (pl. az agyagtartalom százalékos mennyiségével) tudományosan igazolt. Bemutatandó vizsgálatainkban mechanikai összetétel és vízgőz-adszorpció méréseket végeztünk az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kísérleti helyszínein feltárt jellemző talajszelvények eltérő genetikai szintjeiből származó talajmintákon. Munkánk során - meghatároztuk a FAO szabvány szerinti teljes dezaggregálással (ISO/DIS 11277/1995.), illetve a hazai pirofoszfátos diszpergálással (MSZ-08. 0205-78. MÉM Ágazati Szabvány) előkészített talajminták mechanikai összetételét hagyományos pipettás módszerrel. Mértük továbbá a talajminták gőzadszorpcióját eltérő relatív páratartalmú légterekben. Statisztikai módszerekkel vizsgáltuk a mechanikai összetétel adatok és a talajok vízgőz-adszorpciójának összefüggését. A két előkészítési módot összehasonlítva azt tapasztaltuk, hogy a FAO (teljes előkészítéses) módszerrel meghatározott agyagtartalmak és az adszorbeálódott vízgőz mennyiségek közt – minden göztenzió mellett – szorosabb a kapcsolat, mint az MSZ módszer esetében. Az eredményekből arra következtethetünk, hogy az aggregátumok teljes roncsolásával feltárt és így meghatározott agyagtartalmak valósabbak, a talajok tényleges kolloidtartalmát (ezzel összefüggésben fajlagos felületét) jobban jellemzik, mint a hazai szabvány szerint meghatározott agyagtartalmak.

Kulcsszavak: szemcseösszetétel, mechanikai összetétel, előkészítési módszerek, vízgőzadszorpció

1 BEVEZETÉS

A szemcseösszetétel vagy mechanikai összetétel vizsgálatok során a talajokat alkotó elemi szemcsék méret szerinti megoszlását határozzuk meg. A mérések legfontosabb szakaszai: a talajaggregátumok roncsolása elemi alkotóelemekké, az elemi szemcsék tartós diszpergálása és a diszpergált részek méret szerinti elkülönítése. Az így nyert vizsgálati adatok széles körben felhasználhatóak. A mechanikai összetétel vizsgálati eredményeket a geomorfológiai kutatások az üledék-képződési és hordalékszállítási folyamatok értelmezéséhez, a mérnöki talajtan pl. az útépítések és épület-alapozások során alkalmazhatja. A hidrológiában, illetve a talajfizikában gyakran használják a talajok vízviszatartó-, illetve vízvezető-képességének becslésére az ún. „pedotranszfer függvények” megalkotása során (pl. Bouma, 1989; Rajkai, 1988, 1996). A talajokat szennyező apoláros szerves folyadékok (pl. kőolajszármazékok) önálló fázisú vagy a szennyező komponensek többfázisú terjedésének modellezésénél a talaj szerves folyadék vízszatartó és szerves folyadék vezető képességét is sok esetben a mechanikai összetétel adatok

alapján becslik a kárelhárítással foglalkozó szakemberek (Makó & Elek, 2006). Talajtani szempontból a mechanikai összetétel vizsgálatok eredményeinek legfőbb felhasználási területe a talajok fizikai féleségének meghatározása, illetve a talajklasszifikáció esetében a szemcseméret-frakciók százalékos mennyiségének figyelembevétele a megfelelő rendszertani kategóriába soroláshoz.

A szemcseösszetétel vagy mechanikai összetétel vizsgálatok során alkalmazott különféle mérettartományok határértékeit a gyakorlati tapasztalatok alapján alakították ki, mégis országonként, sőt szakterületenként eltérő határértékeket alkalmaznak az egyes frakciók elkülönítésére. A szakterületenként alkalmazott mérési módszerek is különbözőek lehetnek. A különböző módszerekkel meghatározott vizsgálati eredmények azonban eltérhetnek egymástól, attól függően, hogy pl. milyen az előkészítési módot és/vagy a frakciók elkülönítéséhez milyen mérőeszközt alkalmazunk. Mivel a talajok mechanikai összetételének meghatározása – a fentiek alapján – több szakterület egyik leggyakrabban elvégzett rutin vizsgálata, egyre inkább szükségessé válik olyan mérési módszer szabványosítása, amely az egyes szakterületek számára elfogadható, a mérések egyszerűen elvégezhetőek és minél inkább automatizálhatóak. Fontos feladat lenne továbbá a már meglévő, a különféle szemcseméret-osztályozási rendszerek, mérési módszerek stb. alapján meghatározott mechanikai összetétel adatok egységes adatbázisba szervezése és összehasonlíthatóságuk megteremtése (Nemes et al., 1999).

A talaj mechanikai összetételének meghatározásakor leggyakrabban alkalmazott (pipettás, hidrométeres) eljárásokkal a talajszuszpenzióban ülepedő különböző méretű szemcsék mennyiségét határozzuk meg (Gee & Boudier, 1986). A két módszerrel mért eredmények nagyjából hasonlóak, azonos előkészítési módot alkalmazva (Liu et al., 1996). Mindkét módszernél a gömbszerűnek idealizált talajszemcsék ún. „ekvivalens átmérője” alapján számoljuk az ülepedési sebességet (Várallyay, 1993). A talajban található szemcsék azonban többnyire szabálytalan formájúak, így azonos átlagos átmérőjűnek tartott talajszemcsék ülepedési ideje is eltérő lehet. Befolyásolhatja az ülepedési sebességet a szemcsék eltérő sűrűsége is (Mathews, 1991). E módszerek további hátránya, hogy relatív nagy mintatömeget igényelnek és időigényesek (különösen a 2 µm-nél kisebb méretű frakció esetében) (Loveland & Whalley, 2001).

További lehetőség a talaj mechanikai összetételének meghatározására az Atterberg-féle iszapolás, Andreasen-pipettás eljárás, a szedimentációs mérleges és a szívócsöves meghatározás is. Ezek azonban a gyakorlatban nem terjedtek el. Újra és újra felmerül a különböző ipari anyagok szemcseeloszlás-meghatározására (adalekanyagok vizsgálata) használt műszeres mérési módszerek talajtani alkalmazhatóságának lehetősége. Ezek közül az eljárások közül a lézer diffrakción alapuló módszert jó eredményességgel adaptálták már különböző üledékek vizsgálatára (Konert & Vandenberghe, 1997; Ramaswami & Rao, 2004; Kenkilä, 2005), illetve egyes szerzők szerint alkalmas lehet a talaj szemcseösszetételének meghatározására is (Beuselinck et al., 1998). A mérési módszer pontosságát meghatározza a részecskék alakja, a szuszpenzió színe (Eshel, 2004). A fény szóródását befolyásolhatják a különböző ásványi anyag tartalmú részecskék eltérő optikai tulajdonságai (törésmutató, fényelnyelés stb.). A módszer előnye, hogy a mért értékeket százalékos értékben számítja. A számítás során egy folytonos függvényt képez, így az eredmények könnyebben összevethetők különböző szemcseméret osztályozási rendszerek mechanikai összetétel adataival. Emellett gyors, pontos, az eredmények jól reprodukálhatók és a mérés automatizált. Hátránya viszont, hogy nem áll rendelkezésünkre kellő mennyiségű tapasztalat a különböző módszerekkel kapott eredmények összehasonlíthatóságáról. Az eddigi kutatások során eltérő eredményekre jutottak, amelyek leginkább az agyagtartalom értékekben különböznek (Konert & Vandenberghe, 1997; Ramaswami & Rao, 2004; Liu et al., 1996; Arriaga et al., 2006; Hernádi et al., 2007).

A méréseknél általában kulcsfontosságú a minták előkészítése (roncsolása és diszpergálása) a talajok aggregáltsága miatt. A talajok kötőanyagként általában szerves anyagokat, vasoxidokat és karbonátokat tartalmaznak. A kémiai előkezeléseknek a célja az, hogy ezeket a ragasztóanyagokat eltávolítsuk, ugyanakkor a tapasztalatok azt mutatják, hogy a kémiai előkezelésekkel bizonyos talajásványokat elrontcsolhatunk, illetve kioldhatunk a talajból (Makó et al., 2002). Nagy mintasorokon elvégzett összehasonlító vizsgálatok eredményei alapján megállapítható, hogy azonos mérési módszer alkalmazása mellett is eltérő eredményeket kaphatunk, ha a különböző előkészítésmódot alkalmazunk (László et al., 2004; Hernádi et al., 2008).

Egyre több esetben felmerül az a kérdés, hogy mely mérési, illetve előkészítési módszer tekinthető jónak, elfogadhatónak. A kérdés megválaszolásához hozzásegíthet bennünket, ha a mechanikai összetétel mérési eredményeket összevetjük olyan egyéb, azonos mintaállományon meghatározott talajfizikai paraméterekkel, melyek kapcsolata egyébként a mechanikai összetétel eredményekkel (pl. az agyagtartalom százalékos mennyiségével) tudományosan igazolt. Ilyen talajparaméterek lehetnek pl. a talajminták fajlagos felülete, adszorpciós képessége, képlékenységi mutatói stb. (Makó et al., 2002).

A fizikai-kémiai gőzadszorpciós kutatások szerint kisebb gőznyomás mellett az adszorbensek felülete monomolekuláris rétegben telítődik az adszorptívummal. A nyomás növelésével azután újabb és újabb, az előzőnél gyengébb erővel kötődő adszorpciós rétegek kialakulására van lehetőség. Telített páratérben, nagy gőznyomású folyadékok esetében a kisméretű talajkapillárisokban a gőzök nemcsak adszorbeálódhatnak, hanem cseppfolyósodnak is (kapillárkondenzáció) (Erdey-Grúz, 1972). A vízgőzadszorpció vagy higroszkóposág, mint hártárfelületi jelenség a talaj fajlagos felületével, illetve a környező légtér relatív páratartalmával áll szoros összefüggésben. A talajtani gyakorlatban a jól definiált gőztenziójú térben, állandó hőmérsékleten mért higroszkóposági értékek alapján következtetnek a talaj fizikai féleségére, felhasználva, hogy a fajlagos felület elsősorban az agyagtartalom függvénye. Adott relatív páratartalmú légtereket különböző sók, illetve különféle töménységű savas oldatok feletti zárt térben állítanak elő (Baver, 1956; Várallyay, 1993). A vízgőzadszorpció mértékét az agyagtartalmon túl befolyásolja az agyagásványok minősége, a szervesanyag-tartalom, a talajaggregátumok nagysága. Módosíthatja az eredményeket a talajminták előzetes kiszárítása is (Baver, 1956; Di Gléria et al., 1957).

Bemutatásra kerülő vizsgálatainkban összehasonlító mechanikai összetétel méréseket végeztünk szélsőséges fizikai féleségű és agyagásvány összetételű talajminta sorozaton két módszer - a szabványos hazai (MSZ-08. 0205-78. MÉM Ágazati Szabvány) és a FAO által javasolt (ISO/DIS 11277/1995.) - szerint. A két módszer közötti alapvető különbség a kémiai előkezelések különbözősége. A mérési eredmények összehasonlítása, illetve értelmezése során vizsgáltuk a mechanikai összetétel adatok és a talajok vízgőz-adszorpciójának összefüggését.

2 ANYAG ÉS MÓDSZER

A mechanikai összetétel és gőzadszorpció méréseket az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kísérleti helyszínein feltárt jellemző talajszelvények eltérő genetikai szintjeiből származó talajmintákon (42 db) végeztük. A talajtípusokat és a genetikai szinteket, illetve a mért legfontosabb talajparamétereket Várallyay et al.(2008) mutatja be.

A minták egy részét a hazai (MSZ-08. 0205-78 MÉM) szabványban rögzített ún. pirofoszfátos módszerrel, másik részét FAO (ISO/DIS 11277/1995.) szabvány szerint (van Reeuwijk, 1995.) készítettük elő. Az MSZ szabvány szerinti előkészítésnél a talajhoz diszpergálószerként Na-pirofoszfátot adtunk. A 0,25mm-nél nagyobb részecskéket tartalmazó homok frakciót nedves szitálással választottuk el. A különböző mérettartományba eső 0,25mm-nél kisebb részecskék mennyiségét pipettázással határoztuk meg. A FAO módszertan szerinti előkészítési eljárásnál eltávolítottuk a talajmintából az aggregátum-képzésében jelentős szerepet betöltő talajalkotó ragasztóanyagokat. *Talajklasszifikációs* célú talajvizsgálatoknál az ISRIC (International Soil Reference and Information Centre, Wageningen) laboratóriumok rutinszerűen elvégzik a humusz és mésztartalmát minden talajmintából, a szeszkvioxidok eltávolítása opcionális. Mi az előkészítések során elvégeztük mindhárom kötőanyag kivonását. A talajminták humusztartalmát hidrogén-peroxiddal roncsoltuk el, mésztartalmát híg sósavval oldottuk ki, vastartalmát pedig Na-ditionittal redukáltuk, vittük oldatba és távolítottuk el. A talajmintákhoz ezután diszpergálószer (4 %-os Na-hexametafoszfát és 1 %-os Na-karbonát oldat keveréke) adtunk. A homok frakciót (> 50 μ m) szitával különítettük el, majd száraz szitálással határoztuk meg a különböző (>1000 μ m, 500-1000 μ m, 100-500 μ m, 50-100 μ m) frakciók százalékos mennyiségét. A további frakciókat (20-50 μ m, 2-20 μ m és 2 μ m-nél kisebb) ülepítéssel választottuk szét: adott idő elteltével meghatározott mélységből kipipettázott szuszpenzió-mennyiségek

bepárlási maradékából számoltuk ki a talaj durva por, finom por és agyag frakciójának százalékos arányát.

A talajok vízgőz-adszorpcióját – előzőleg 105 °C-on kiszárított talajmintákon – Várallyay (1993) szerint mértük, különböző relatív páratartalmú légterek beállításával. Az adszorpció mérések során a légterek beállításához alkalmazott sók és vizes oldatok bemutatását az 1. táblázat tartalmazza.

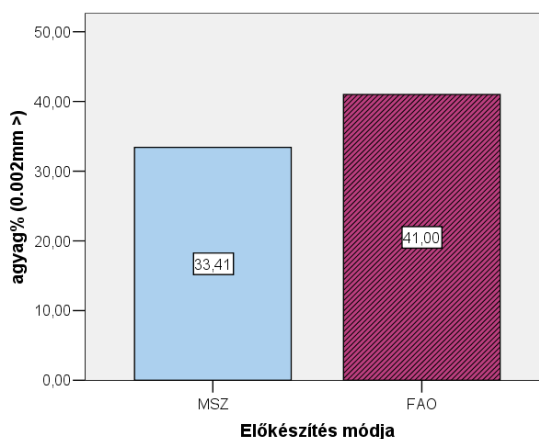
1. táblázat. A vízgőz-adszorpció mérésekhez alkalmazott különböző sók és oldatok feletti légtér relatív páratartalma (Várallyay, 1993)

Exszikkátor töltete	Hőmérséklet (°C)	Relatív páratartalom (H%)
ZnCl ₂ · 1 ½ H ₂ O	20	10
CaCl ₂ · 6H ₂ O	20	32,3
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	20	90
10 %-os H ₂ SO ₄ oldat	20	95,6

Az eredményeket SPSS for Windows 13.0 statisztikai programmal értékeltük. A témával foglalkozó szakirodalom (Konert & Vandenberghe, 1997; Liu et al., 1996; Arriaga et al., 2006) szerint a különböző előkészítési módszerek eredményei között leginkább az agyagfrakció százalékos mennyiségében tapasztalható jelentősebb különbség, ezért – a kutatómunka jelenlegi szakaszában – a vizsgálatba vont talajminták agyagtartalom értékeit hasonlítottuk össze egymással, illetve a gőzadszorpció eredményekkel. Lineáris regresszió módszerével vizsgáltuk a különböző szabványok által javasolt előkészítések után mért agyagtartalom értékek egymás közti kapcsolatát, majd összehasonlítottuk az agyagtartalom értékek és a gőzadszorpció értékek kapcsolatának szorosságát.

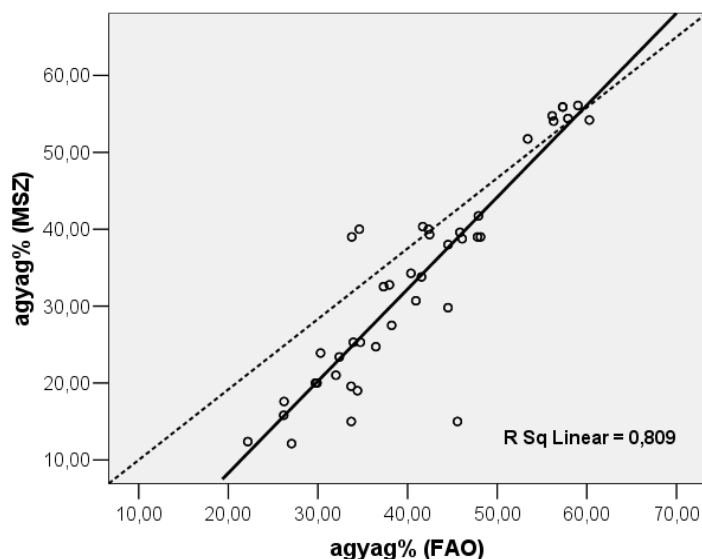
3 EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

A különböző előkészítési eljárásokkal mért agyagtartalmakat varianciaanalízissel összehasonlítottuk, majd diagramon ábrázoltuk a kétféle módszerrel mért átlagos értékeket (1. ábra). A varianciaanalízis szignifikáns különbségeket mutatott az egyes előkészítési módszerekkel mért agyagtartalmak között. Az ábrán jól látható, hogy a FAO módszerrel előkészített minták agyagtartalma minden esetben magasabb volt, mint a pirofoszfátos előkészítés utáni értékek. A FAO módszertan szerinti előkészítési eljárást alkalmazva – a mikroaggregátumok kötőanyagának roncsolásával – az elemi szemcsékre diszpergált talaj agyagtartalma teljesen feltáródik, míg a hazai (MSZ) szabvány az agyagtartalom egy részét a mikroaggregátumokhoz kötött a nagyobb frakciókhoz méri.



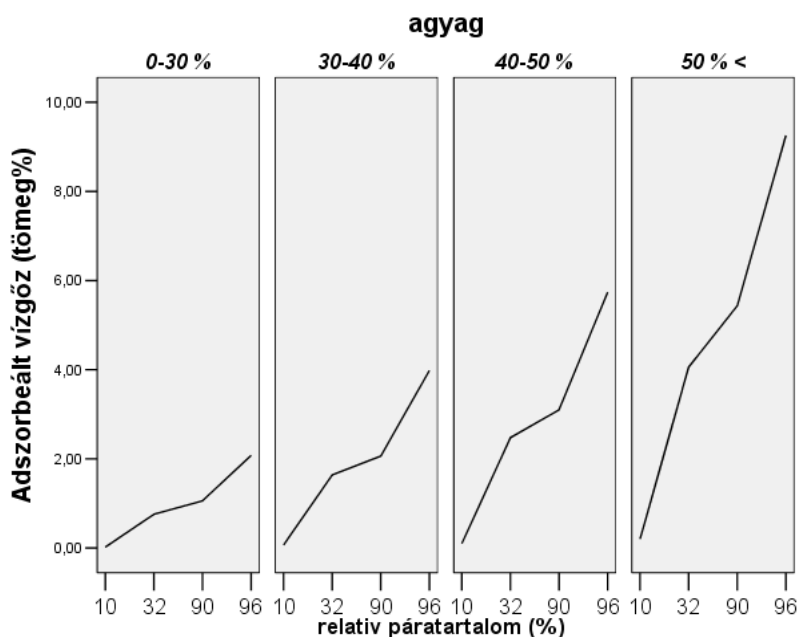
1. ábra. A különböző előkészítési eljárások alkalmazásával mért agyagtartalmak összehasonlítása

Összehasonlítva a különböző előkészítési módszerekkel mért agyagtartalmakat megállapítható, hogy a vizsgálatba vont talajminták FAO módszertan szerinti eredményeivel az MSZ szabvány szerinti értékek szoros kapcsolatot mutatnak. A FAO szabvány szerinti agyagtartalom egy átlagos konverziós faktor ($\sim 1,2$) segítségével jó közelítéssel becsülhető a pirofoszfátos előkészítés után mért agyagtartalom értékekből ($R^2 = 0,809$) (2. ábra).



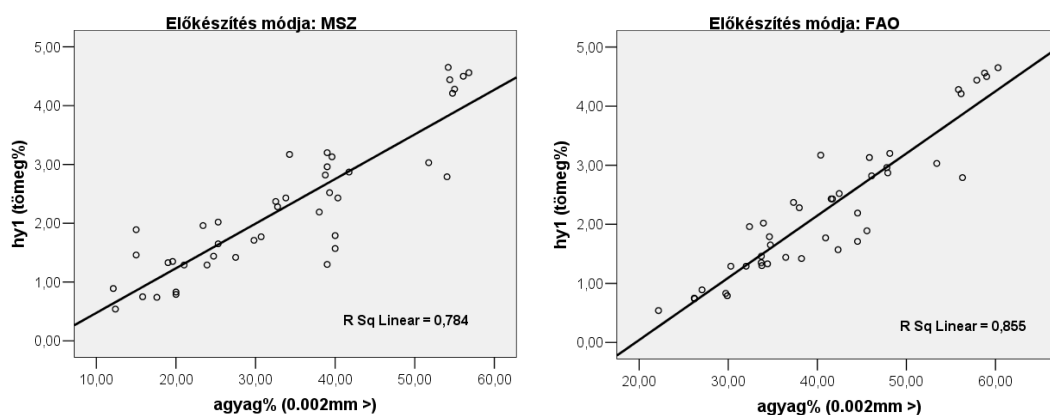
2. ábra. A különböző előkészítési eljárások alkalmazásával mért agyagtartalmak összefüggés- vizsgálata

A különböző relatív páratartalmú légterekből a talajok által adszorbeált vízgőzmennyiségeket a 3. ábrán mutatjuk be. Az ábrán a FAO módszertan alapján meghatározott agyagtartalmak szerint kialakított kategória-csoportok átlagos gőzadszorpciós görbéit hasonlítottuk össze. Általánosságban elmondható, hogy a nagyobb agyagtartalomhoz tartozó nagyobb fajlagos felületen a talajok – minden gőztenzió – nagyobb mennyiségű vízgőz megkötésére képesek. Az adszorpciós görbék lefutása azonban – agyagtartalomtól függetlenül – hasonló.



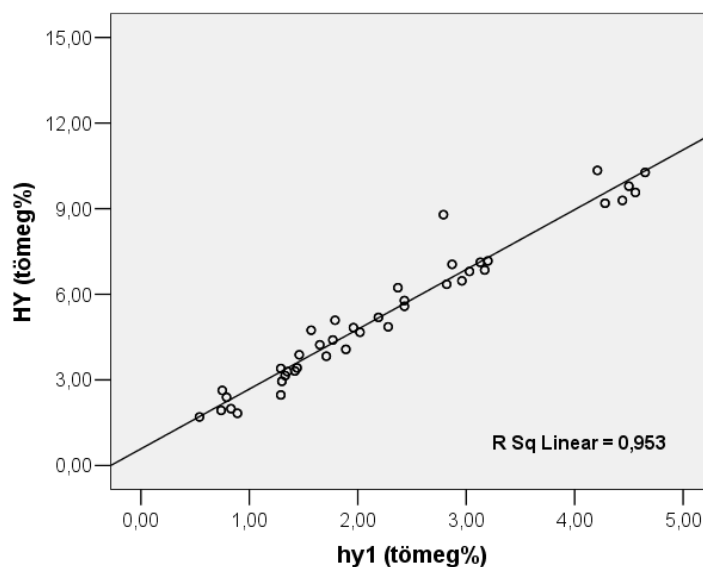
3. ábra. A talajminták – agyagtartalomtól függő – gőzadszorpciós görbéi

Ezután megvizsgáltuk a gőzadszorpciós mérések eredményei és a különböző előkészítési módszerekkel mért agyagtartalom értékek közti lineáris regressziós kapcsolat szorosságát (4. ábra). A 2. táblázat alapján megállapítható, hogy mind a két előkészítési eljárás után mért agyagtartalom értékekkel szoros összefüggést mutatott az adszorbeált vízgőz mennyisége, az adszorpciós görbék minden egyes gőztenzió értékén. A két előkészítési módot összehasonlítva az látható, hogy a FAO (teljes előkészítéses) módszerrel meghatározott agyagtartalmak és az adszorbeált vízgőz mennyiségek közt – minden gőztenzió mellett – szorosabb a kapcsolat (R^2 : 0,76-0,86), mint az MSZ módszer esetében (R^2 : 0,70-0,83). Az eredményekből arra következtethetünk, hogy az aggregátumok teljes roncsolásával feltárt és így meghatározott agyagtartalmak valószínűbbek, a talajok tényleges kolloidtartalmát (ezzel összefüggésben fajlagos felületét) jobban jellemzik, mint a hazai szabvány szerint meghatározott agyagtartalmak. A gőzadszorpciós görbék egyes mérési pontjainak összehasonlításában a 32,3%-os és a 95,6%-os relatív páratartalmú légterekben mért gőzadszorpció mutatja a legszorosabb kapcsolatot az agyagtartalom értékekkel. E két mérési körülményt általánosan alkalmazzák a szabványos talajfizikai módszertanban is (hy1: 32,3 – Sík-féle higroszkóposság; HY: 95,6% - Mitscherlich-féle higroszkóposság) a talajok fizikai féleségének, illetve holtvíztartalmának becslésére.



4. ábra. A talajminták hy_1 értéke (32,3% rel. páratartalom mellett mért gőzadszorpció) és a különböző előkészítési módszerekkel mért agyagtartalma közti kapcsolat

A két higroszkóposági érték di Gléria et al. (1957) közlésével megegyezően szoros kapcsolatot mutat, egymásból viszonylag nagy pontossággal becsülhető ($HY = 2,1 \cdot hy_1 + 0,6$) (5. ábra).



5. ábra. A talajminták higroszkóposági mutatói közti összefüggés

2. táblázat. A talajminták gőzadszorpciója és a különböző előkészítési módszerekkel mért agyagtartalmak közti kapcsolatot jellemző determinációs koeficiensek (R^2) összehasonlítása

Relatív páratartalom (H%)	Előkészítési mód	
	FAO	MSZ
	R^2	R^2
10	0,76	0,70
32,3	0,86	0,78
90	0,84	0,81
95,6	0,86	0,83

4 KÖSZÖNETNYÍLVÁNYÍTÁS

A kutatómunka az OTKA támogatásával valósult meg (MARTA: Magyarországi Részletes Talajfizikai Adatbázis, T048302 sz.)

5 IRODALOMJEGYZÉK

- Arriaga F.J., Lowery B., Mays M.D. 2006. A fast method for determining soil particle size distribution using laser instrument. *Soil Sci. Soc.*, **171**, 663-674.
- Baver L.D. 1956. Soil physics. *Wiley & Sons*. New York
- Beuslink L.G., Govers G., Poesen J., Degraer G. 1998. Grain-size analysis laser diffractometry: Comparison with the sieve-pipette method. *Catena*, **32**, 193-208.
- Bouma J. 1989. Using Soil Survey data for qualitative land evaluation. *Adv Soil Sci.*, **9**, 177-213.
- Di Gléria J., Klimes-Szmik A., Dvoracek M. 1957. Talajfizika és talajkolloidika. *Akadémiai Kiadó*. Budapest
- Erdey-Grúz T. 1972. A fizikai kémia alapjai. *Műszaki Könyvkiadó*. Budapest.
- Eshel G., Levy G.J., Mingelgrin U., Singer M. J. 2004. Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution Analysis. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **68**, 736-743.
- Gee G. W., Bauder J. W. 1986. Particle-size analysis. P.383-411. In Klute (ed.). Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. *Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA*. Madison, Wisconsin
- Hernádi H., Makó A., Kucsera S., Szabóné Kele G. 2007. A talajok mechanikai összetételének vizsgálata lézeres szemcseanalizátorral. *Erdei Ferenc IV. Tudományos Konferencia. Kecskemét. 2007. augusztus 27-28.*, 783-786.
- Hernádi H., Makó A., Kucsera S., Szabóné Kele G., Sisák I. 2008. A talaj mechanikai összetételének meghatározása különböző módszerekkel. *Talajvédelem (Különszám)*, 105-114.
- Kenkilä J. 2005. The laser diffraction grain size analysis of late miocene floodplain sediments from lantian, in Shaanxi Province, Northern China. *Master's thesis*. University of Helsinki, Department of Geology Faculty of Mathematics and Natural Sciences, Helsinki
- Konert M., Vandenberghe J. 1997. Comparison of laser grain-size analysis with pipette and sieve analysis: A solution for the underestimation of clay fraction. *Sedimentology*, **44**, 523-535.
- László K., Makó A., Czakkel O., Ulrich J., Subklew G. 2004. Characterization of soils by physico-chemical methods. *Poranal 2004. IX. Szemcseméret-Analitikai, Környezetvédelmi és Portechnológiai Szimpózium.*, Balatonfüred. 2004. szeptember 5-7.
- Liu T.K., Odell R.T., Etter W.C., Thornburn T.H. 1996. Comparison of clay contents determined by hydrometer and pipette methods using reduced major axis analysis. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **30**, 665-669.
- Loveland P.J., Whalley W. R. 2001. Particle size analysis. p.281-314 In Soil and Environmental analysis, physical methods. K. A. Smith and C. E. Mullins (ed.). *Marcel Dekker Inc.* New York

- Makó A., Máté F., Tóth M., László K., Németh T. 2002. A különböző szabványos módszerek szerint mért agyagtartalom és néhány egyéb talajfizikai paraméter összefüggésének vizsgálata. *XVI. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás*. Siófok. 2002. szeptember 11-13.
- Makó A., Elek, B. 2006. Comparison of the soil extraction isotherms of soil samples saturated with nonpolar liquids. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, **6**, 331-342
- Mathews M. D. 1991. The effect of grain shape and density on the size measurement. p.22-33. In *Principles, methods, and applications of particle size analysis*. J. P. M. Syvitski (ed.) *Cambridge Univ. Press*. Cambridge
- MSZ-08. 0205-78. MÉM Ágazati Szabvány 1979. A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata, Budapest
- Nemes A., Wösten J.H.M., Lilly A., Voshaar J.H.O. 1999. Evaluation of different procedures to interpolate particle-size distribution to achieve compatibility within soil databases. *Geoderma*, **90**, 187-202.
- Rajkai K. 1988. A talaj víztartó képessége és különböző talajtulajdonságok összefüggésének vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan*, 36-37, 15-30.
- Rajkai K., Kabos S., van Genuchten M. Th., Jansson P.E. 1996. Estimation of water-retention characteristics from the bulk density and particle-size distribution of Swedish soils. *Soil Sci.*, **161**, 832-845.
- Ramaswamy V., Rao P. S. 2004. Grain size analysis of sediments from the northern Andaman sea: Comparison of Laser diffraction and sieve-pipette techniques. *J. Coastal Res.* 1000-1009.
- van Reeuwijk, L.P. (Ed.) 1995. Particle-size Analysis, In *Procedures for Soil Analysis*, 5th Ed.; *International Soil Reference and Information Centre*. Wageningen
- Várallyay Gy. 1993. A fizikai talajféleség meghatározása. In: Búzás, I. (ed.) *Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv. 1. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata. INDA 4231 Kiadó*. Budapest, 45-57.
- Várallyay Gy., Makó A., Hermann T. 2009. 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.